



Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung

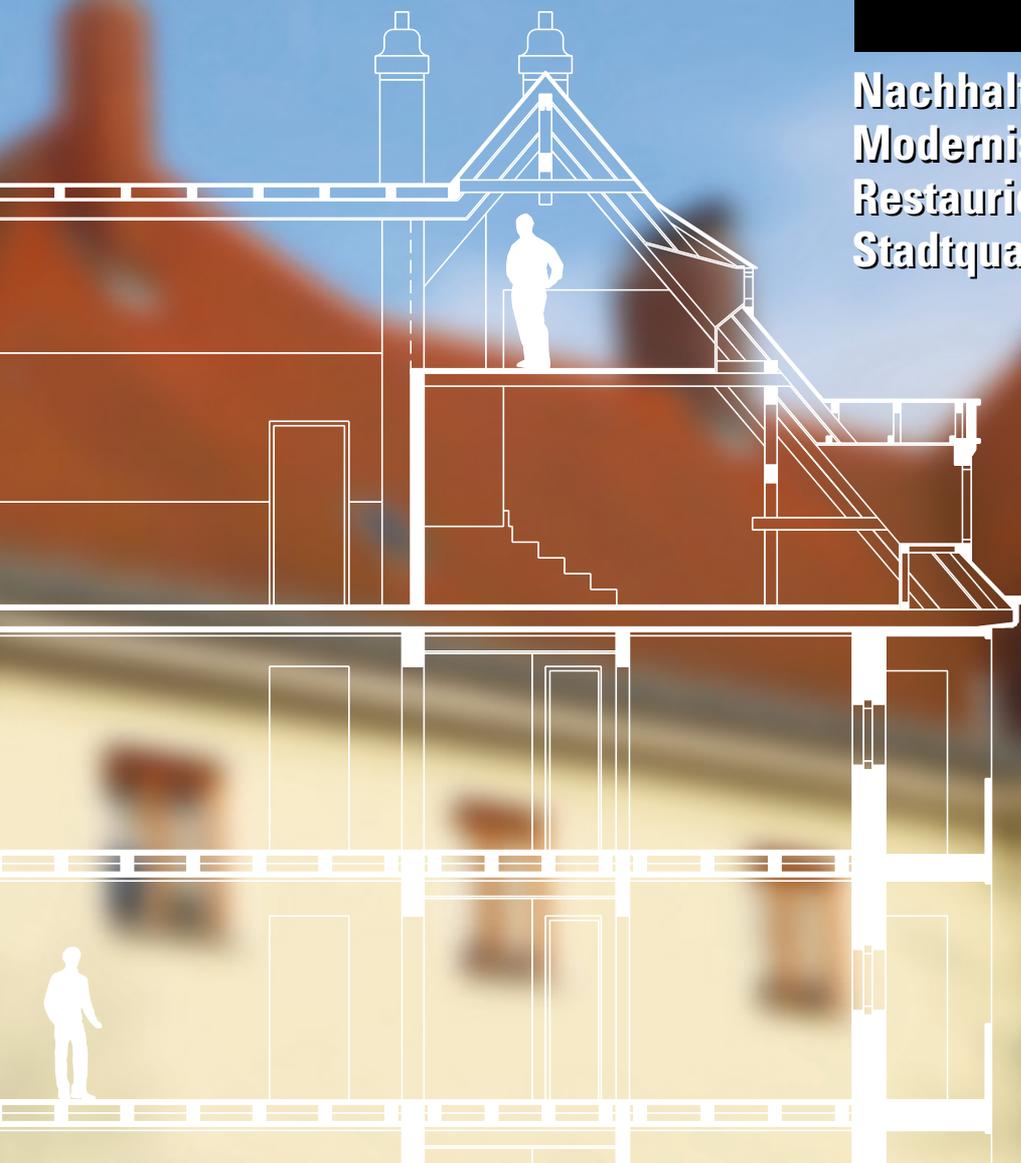


# Zukunft Bauen

Forschung für die Praxis | Band 03

# RENARHIS

**Nachhaltige energetische  
Modernisierung und  
Restaurierung historischer  
Stadtquartiere**



### **Nutzungshinweis/Haftungsausschluss**

Sämtliche Informationen in diesem Leitfaden stellen nur eine Hilfestellung für eine nachhaltige energetische Modernisierung und Restaurierung dar. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, Richtigkeit und Aktualität, stellen keine Planungsunterlagen und auch keine Produktinformation dar und ersetzen keine detaillierte Planung im Einzelfall. Die dargestellten Konstruktionsdetails dienen lediglich als Beispiel zur Veranschaulichung.

Die Verantwortlichkeit für die konkrete Planung und die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik liegt im Einzelfall allein beim Planer. Ein Vertragsverhältnis oder vertragsähnliches Verhältnis wird durch diesen Leitfaden nicht geschlossen.

Dieser Leitfaden wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind die Autoren und der Herausgeber nicht verantwortlich.

### **Genderhinweis**

Diese Broschüre verwendet zur besseren Lesbarkeit und Optik sowie aus Platzgründen lediglich die männliche Form eines Begriffs („Bewohner“, „Mieter“ etc.). Selbstverständlich bezieht sich der jeweilige Begriff auf weibliche und männliche Personen.



Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung



**Schriftenreihe**

Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis, Band 03

**Herausgeber**

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Bonn

# Zukunft Bauen

**Forschung für die Praxis | Band 03**

# RENARHIS

Nachhaltige energetische Modernisierung und  
Restaurierung historischer Stadtquartiere

Prof. Dr. Oliver Steffens (Projektleitung) et al.

Gefördert vom



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit

FORSCHUNGSINITIATIVE  
**ZukunftBAU**

Ein Projekt der Forschungsinitiative Zukunft Bau des  
Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und  
Reaktorsicherheit (BMUB), betreut vom Bundesinstitut für  
Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt  
für Bauwesen und Raumordnung (BBR) mit dem  
Aktenzeichen SWD-10.08.18.7-12.21 sowie II 3-F20-11-038



© Milena Schlösser, Berlin

## Grußwort

Viele Betreiber und Wohnungsgenossenschaften stehen vor der Aufgabe, historische Altbauten energetisch zu ertüchtigen und zugleich die Wohnkosten sozialverträglich zu halten. Wie soll mit der eingeschränkten energetischen Sanierbarkeit umgegangen werden? Wie lässt sich die Eigenart eines Wohnensembles mit einer wirtschaftlich regenerativen Energieversorgung kombinieren? Und wie bleiben nach einer Sanierung die Mieten bezahlbar?

Professor Steffens und sein interdisziplinäres Forschungsteam von der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg fanden schlüssige Antworten am Beispiel der Wohnsiedlung „Plato-Wild-Ensemble“. Im Sinne einer Generalinventur wurden neun Schlüsselbereiche wie Bauphysik, Versorgung, Sozialstudie etc. detailliert untersucht und umfassend in Wort und Bild dargelegt. Für die Siedlung entstand so ein vorbildliches Sanierungskonzept. Darüber hinaus bereiteten die Forschenden die Erkenntnisse und Lösungsansätze für eine nachhaltige Restaurierung und Modernisierung muster-gültig zu einem Leitfaden auf. Er richtet sich an Architekten, Planer, Bauherren und Wohnungseigentümer.

Gefördert wurde das Projekt „RENARHIS – Regenerative Energieversorgung als Schwerpunkt einer nachhaltigen Modernisierung historischer Stadtquartiere“ durch die Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Die Initiative unterstützt erfolgversprechende Forschungsarbeiten der angewandten Bauforschung. Als Projektträger von „Zukunft Bau“ haben wir diese herausragende Forschungsarbeit als dritten Band in unsere Schriftenreihe „Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis“ aufgenommen, um damit den Wissenstransfer in die Baupraxis zu unterstützen.

Ich wünsche Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre!

### **Harald Herrmann**

Direktor und Professor des  
Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung  
(BBSR), Bonn



## Vorwort

Gesetzliche und wirtschaftliche Beweggründe unter der Perspektive eines weltweiten Klimawandels und der Verknappung fossiler Ressourcen bilden den Motor für einen kontinuierlichen Sanierungs- und Modernisierungsprozess im Gebäudebestand in Deutschland, verstärkt durch den Mangel an bezahlbarem Wohnraum. Das gesellschaftliche Interesse an klimafreundlichen und ressourcenschonenden Technologien ist stetig gewachsen.

Andererseits betreffen die Modernisierungsmaßnahmen häufig Gebäude (auch aus der jüngeren Vergangenheit), deren historischer und architektonischer Wert übersehen wird und unter einer modernen Wärmedämmverbundfassade zu verschwinden droht. Verlieren unsere Gebäude ihre Gesichter? Diesen kulturhistorischen Aspekt (der in der Denkmalpflege seinen institutionellen Ausdruck findet) hat der berühmte Mailänder Architekt V. M. Lampugnani in seinem Buch „Die Modernität des Dauerhaften“ so beschrieben: „Häuser und Wohnungen müssen Physiognomien haben, die von ihrer konstruktiven und typologischen Tradition erzählen.“

Infolge einer intensiven bauhistorischen Beschäftigung mit dem genossenschaftlichen Wohnungsbestand der Zwischenkriegszeit in der Stadt Regensburg hat sich an der Ostbayerischen Technischen Hochschule ein interdisziplinäres Team aus Bauforschung, Architektur, Planung, Bauphysik und Gebäudetechnik zusammengefunden, um gemeinsam nachhaltige Lösungskonzepte für die energetische Modernisierung und Restaurierung historischer Quartiere zu erforschen. Dabei galt es, denkmalpflegerische und soziokulturelle Ansprüche mit den ökologischen und ökonomischen Zielen in einem ausgewogenen Verhältnis zu vereinen.

Gefördert von der Forschungsinitiative Zukunft Bau wurde unter dem Titel „RENARHIS – Regenerative Energieversorgung als Schwerpunkt einer nachhaltigen Modernisierung historischer Stadtquartiere“ ein alle genannten Fachdisziplinen umspannendes Projekt aufgesetzt. Die verallgemeinerten und an Beispielen konkretisierten Ergebnisse sollen nun in Gestalt des vorliegenden Leitfadens einem breiteren Publikum zugänglich gemacht werden. Der Leitfaden gliedert sich nach thematischen Fragestellungen und wendet sich in dieser differenzierten Form an Bauhistoriker und Denkmalpfleger, Architekten und Fachplaner, aber auch an Eigentümer und Mieter im genossenschaftlichen Wohnungsbau.

Wir wünschen unseren Lesern eine anregende Lektüre und viele nützliche Hinweise für die Praxis.

**Prof. Dr. Oliver Steffens**

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg

Mitwirkende

## Projektleitung



OSTBAYERISCHE  
TECHNISCHE HOCHSCHULE  
REGENSBURG

KNB

KOMPETENZZENTRUM  
NACHHALTIGES BAUEN

Kompetenzzentrum Nachhaltiges Bauen (KNB)

Prof. Dr. Oliver Steffens

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg

Prüfeninger Str. 58

93049 Regensburg

oliver.steffens@oth-regensburg.de

## Autoren

Anja Bergmann (Kap. E)

Sonja Haug (Kap. C)

Christian Rechenauer (Kap. G, I)

Tobias Saller (Kap. E)

Simon Schaubeck (Kap. F, G, I)

Sonja Schröter (Kap. H)

Oliver Steffens (Kap. D)

Matthias Vernim (Kap. C)

Matthias Wittmann (Kap. A)

Annika Zeitler (Kap. A, B)

## Studentische Mitarbeit

Stefan Brinsteiner

Sandra Cemodanov

Markus Ebert

Stefan Gering

Mario Graupensberger

Jennifer Grill

Daniel Höflich

Maximilian Licha

Richard Martin

Andreas Melzl

David Müller

Simone Puff

Philipp Riedl

Manuel Schaal

Stefan Schmid

Thomas Semmler

Christian Wallner

Ines Wittmann

Thomas Ziegler

Patrick Zimmermann

## Fachliche Betreuung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Bonn,  
vertreten durch Guido Hagel

## Mittelgeber und Kooperationspartner



Gemeinnütziger Bauverein Regensburg e.V.

Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST), OTH Regensburg

Planungsbüro Schröter, Abensberg

Regensburg Center of Energy and Resources (RCER)

# Inhaltsverzeichnis

---

	Einführung	12
<b>A</b>	<b>Baufaufnahme und Dokumentation</b>	<b>22</b>
	1. Einleitung	24
	2. Bestandsaufnahme und Dokumentation	26
	2.1 Baubeschreibung und Fotodokumentation	26
	2.2 Archivarbeit und Bestandspläne	28
	2.3 Bestandsaufmaß und Planerstellung	29
	2.4 Auswertung und Ergebnisse	31
	3. Ausblick	35
<b>B</b>	<b>Nutzungs- und Konservierungskonzept</b>	<b>36</b>
	1. Zielsetzung und Grundlagen	38
	2. Städtebauliche Analyse	39
	3. Gebäudetypologie	40
	3.1 Typologie der Gebäude	40
	3.2 Die „Deutsche Gebäudetypologie“	40
	4. Konzeptstrategie und Maßnahmen	43
	4.1 Grundrissgefüge	43
	4.2 Nachverdichtung	43
	4.3 Betrachtung der Fassaden	44
	4.4 Freiflächen und Balkone	45
	4.5 Ausblick	45
<b>C</b>	<b>Sozialstudie</b>	<b>46</b>
	1. Soziale Aspekte der energetischen Wohnquartiersanierung	48
	1.1 Einleitung	48
	1.2 Gentrification, energetische Gebäudesanierung und Energiekosten	48
	1.3 Planung energetischer Gebäudesanierung und Akzeptanzstudien	49
	2. Geschichte des Kasernenviertels als Wohnquartier	52

2.1	Beginn des 20. Jahrhunderts	52
2.2	Weimarer Republik	52
2.3	Die Zeit des Nationalsozialismus	52
2.4	Nachkriegsjahre	53
2.5	1960er- und 1970er-Jahre	53
2.6	Jüngere Vergangenheit	53
3.	Sozialstruktur des Stadtviertels heute	54
3.1	Das Kasernenviertel und die Blockgruppe Safferlingstraße	54
3.2	Altersverteilung	54
3.3	Migrationshintergrund	55
3.4	Familienstand und Religionsgemeinschaften	56
3.5	Einkommenssituation	56
3.6	Arbeitsmarkt	56
3.7	Soziale Sicherung	57
3.8	Wohnen	57
3.9	Schulbildung	58
3.10	Kulturelle Teilhabe	58
3.11	Clusteranalysen	58
4.	Befragung zur Akzeptanz geplanter Sanierungsmaßnahmen	59
4.1	Befragungsmethode und Inhalte der Befragung	59
4.2	Die befragten Bewohner/-innen	60
4.3	Die Wohnung	61
4.4	Soziale Kontakte und soziale Integration	64
4.5	Sanierungsmaßnahmen	65
5.	Zusammenfassung und Empfehlungen	72



## Bauphysik und Bauschadensanalyse

74

1.	Grundlegendes zur Bauphysik	76
1.1	Bauphysikalische Fragestellungen	76
1.2	Modell Plato-Wild-Ensemble	76

1.3	Wärme- und Feuchteschutz	78
2.	Bestandsanalyse und Bauschäden	88
2.1	Risse und Feuchteschäden	88
2.2	Baustofffeuchtemessungen	102
2.3	Bohrkernanalysen	107
2.4	Parameter für den Wärmeschutz	108
2.5	Schallschutzmessungen	112
3.	Berechnungen und Simulationen	116
3.1	Kritische Anschlussdetails	116
3.2	Glaser-Verfahren (Außenwand)	116
3.3	Thermische Berechnungen	119
3.4	Hygrothermische Simulationen	128
3.5	Alternativen zur Innendämmung	137
4.	Brandschutz	140
4.1	Grundlagen	140
4.2	Plato-Wild-Ensemble	144



## Architektonische Modernisierung

154

1.	Modernisierung Wohnungsgrundrisse	156
1.1	Grundlagen	156
1.2	Entwürfe Grundrisse und Fassade	156
1.3	Entwürfe Nachverdichtung	159
1.4	Entwürfe Innenhofgestaltung	162
2.	Kontrollierte Be- und Entlüftung	165
2.1	Grundlagen	165
2.2	Warum wird belüftet?	165
2.3	Wie wird gelüftet?	165
2.4	Hygiene, Reinigung und Wartung	166
2.5	Schallschutz	166
2.6	Zentrale Lüftungsanlagen	166

2.7	Dezentrale Anlagen	166
2.8	Wärmerückgewinnung	167
2.9	Kanalordnung und -verlegung	167
2.10	Grundsätzliche Lüftungsarten	169
2.11	Behaglichkeit	169
2.12	Projektbeispiele	170
3.	Feuchte in Holzbalken	173
3.1	Grundlagen	173
3.2	Studien zur Problemstellung	173
3.3	Rückschluss aus den Studien	175
4.	Konstruktionsdetails	177
4.1	Grundlagen	177
4.2	Detail Sockel	178
4.3	Detail Fenster	180
4.4	Detail Deckeneinbindung	182
4.5	Detail Traufe	186

## **F** Energetische Potenziale 190

1.	Standortvoraussetzungen	192
1.1	Klimatische Einflüsse	192
1.2	Energiepotenziale	195
1.3	Energieinfrastruktur	201
1.4	Energiebedarf	202

## **G** Versorgungskonzepte 208

1.	Methodik zur Entwicklung eines Energiekonzeptes	210
1.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	210
1.2	Energieeffiziente Wärmeversorgung	210
1.3	Konzeptentwürfe	213
1.4	Entwurf Energieversorgungsmatrix	218

1.5	Primärenergiefaktor	225
2.	Integration einer Energiezentrale	226
2.1	Normen und Richtlinien	226
2.2	Aufstellung von Feuerstätten	226
2.3	Planungsgrundlagen Heizraum	227
2.4	Brennstofflagerung	229
2.5	Abgasanlagen	229
2.6	Architektonische Integration	231
3.	Einsatz eines Nahwärmenetzes	235
3.1	Grundlagen der Wärmeverteilung	235
4.	Einsatz eines Sockelheizungssystems	241
4.1	Sockelheizleisten	241
4.2	Anwendung im Altbau	242
4.3	Fazit	243

## Berechnung für den Nachweis der EnEV 244

1.	Energiebedarf (EnEV-Nachweis)	246
1.1	Grundlagen	246
1.2	Bestandsdaten	246
1.3	Sanierungsvarianten	248
1.4	Bewertung der Berechnungen	250

## Wirtschaftlichkeitsanalyse 254

1.	Ökonomische Bewertung	256
2.	Anwendung der Annuitätenmethode	258
2.1	Annuität der kapitalgebundenen Auszahlungen	259
2.2	Annuität der verbrauchsgebundenen Auszahlungen	259
2.3	Annuität der betriebsgebundenen Auszahlungen	260
2.4	Annuität der sonstigen Auszahlungen	260
2.5	Annuität der Einzahlungen	261

2.6	Gesamtannuität	261
3.	Rentabilität Wärmedämmmaßnahmen	267
3.1	Berechnung Investitionskosten	267
3.2	Vermiedene Wärmemengen	267
3.3	Spezifische Kosten $k_{\text{Spar}}$	267
4.	Allgemeine Fördermaßnahmen	269
4.1	Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW	269
4.2	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)	272
4.3	Energiesteuerrückerstattung	274
4.4	Eigennutzung	275
4.5	Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	276
	Abbildungsverzeichnis	280
	Tabellenverzeichnis	284
	Infoboxverzeichnis	285



1.	Nachhaltige Restaurierung	14
2.	Zielkonflikte	15
3.	Das Projekt RENARHIS	16
4.	Ausgangspunkte	17
5.	Aufbau des Leitfadens	19
6.	Danksagung	20



Einführung  
Nachhaltige energetische Modernisierung und  
Restaurierung historischer Stadtquartiere  
Projektbericht und Leitfaden

# Einführung

Das vorliegende Buch soll als Leitfaden für Architekten, Planer und Bauherren dienen. Der wachsende Modernisierungsdruck, der aus Klimaschutzziele und Energieeinsparungsprogrammen erwächst, konfrontiert uns aktuell mit der Herausforderung, gerade für historische Stadtquartiere mit besonderem architektonischen Wert nachhaltige energetische Modernisierungslösungen zu entwickeln, die auch den denkmalpflegerischen Anspruch berücksichtigen.

Das Material baut auf den Ergebnissen eines Forschungsprojekts an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg auf, das vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Rahmen der Förderinitiative „Zukunft Bau“ (Projekt Nr. II 3-F20-11-1-038/SWD-10.08.18.7-12.21) in den Jahren 2012 bis 2014 gefördert wurde.

Im Projekt RENARHIS („Regenerative Energieversorgung als Schwerpunkt einer nachhaltigen Restaurierung historischer Stadtquartiere“) wurden am Modell eines genossenschaftlichen Wohnquartiers aus den 1920-er Jahren Restaurierungs- und Modernisierungsstrategien erarbeitet. Das „Plato-Wild-Ensemble“ liegt im Regensburger Stadtosten, außerhalb der mittelalterlichen Altstadt. Es steht nicht unter Denkmalschutz, kann aber gleichwohl aus architektonischen und sozialgeschichtlichen Gründen als Beispiel für mustergültigen und schützenswerten genossenschaftlichen Wohnungsbau gelten.

In diesem Leitfaden sollen aus den Erfahrungen und Lösungsansätzen des Projekts allgemeine Handlungs- und Orientierungshilfen geboten werden, die den Horizont des eigentlichen Projekts erweitern auf eine Vielzahl ähnlicher Bestandssituationen.

## 1. Nachhaltige Restaurierung

Eine detaillierte Baudokumentation und architektonische Würdigung des Ensembles und die Entwicklung eines Konservierungs- und Nutzungskonzepts liefert die Basis für architektonische Modernisierungsentwürfe. Diese müssen bauphysikalisch und energetisch bewertet und abgestimmt werden auf die geplante Energieversorgung. Im Gesamtkonzept sollen einerseits der Erhalt des architektonisch wertvollen Bestands in seinem Erscheinungsbild sichergestellt, andererseits sozialverträgliche Wohnkosten und ein geringer Primärenergiebedarf sichergestellt werden.

Eine an den Klimaschutzziele Deutschlands und der

Europäischen Union ausgerichtete Modernisierung solcher Quartiere muss sich daher über die konstruktiv vertretbaren Sanierungs- und Restaurierungsmaßnahmen hinaus vor allem auf eine dezentrale regenerative Energieversorgung fokussieren. Dafür wurden die Synergieeffekte, die sich aus solch einer homogen strukturierten Siedlung ergeben, identifiziert, bewertet und genutzt, um den spezifisch höheren Energiebedarf einer historischen Architektur zu decken.

Wichtig ist dabei die Übertragbarkeit auf andere, vergleichbare historische Bauten und Ensembles. Nach dem Zensus 2011 des Statistischen Bundesamtes wurden rund 26% der Wohngebäude in Deutschland vor 1948 erbaut (Abb. 1).<sup>1</sup> Die Entwicklung von Konservierungs- und Modernisierungskonzepten für diese Gebäudeklasse stellt deshalb einen wirtschaftlich bedeutenden Beitrag dar. Gleichzeitig geht es um die Bewahrung des architektonischen und städtebaulichen Erbes in unserem Land. Insbesondere der Bestand von Wohngebäuden aus der Zwischenkriegszeit beinhaltet vielerorts bauhistorisch wertvolle Stadtquartiere. Nachhaltige Konzepte versuchen, den Konflikt zwischen dem denkmalpflegerischen Ziel, die architektonische Formensprache und Substanz der Gebäude zu erhalten, und der klimapolitischen und wirtschaftlichen Erfordernis einer optimierten Energieeffizienz zu überwinden. Neben dem ressourcenschonenden Umgang mit Rohstoffen und wirt-

1 Statistisches Bundesamt (2013): Zensus 2011 – Gebäude und Wohnungen.

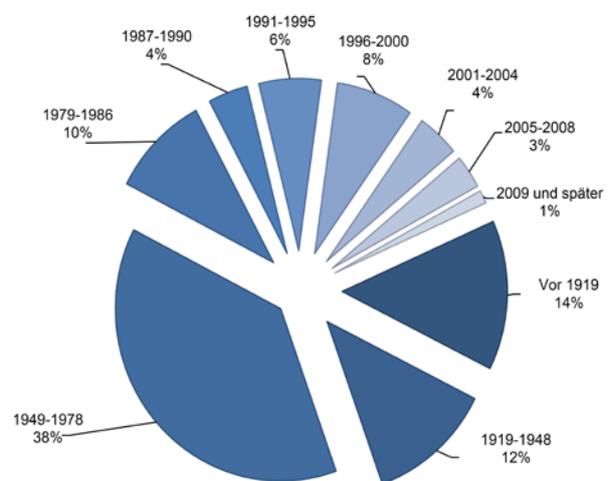


Abb. 1 Wie gehen wir mit den Bauten des frühen 20. Jahrhunderts um, die (noch) nicht unter Denkmalschutz stehen? Anteil der Altersklassen im Wohngebäudebestand (Quelle: Statistisches Bundesamt, Zensus 2011)

schaftlicher Modernisierung ist die Berücksichtigung der kulturellen Traditionen und Formen des Zusammenlebens, also der Bewohnerstruktur mit all ihren Bedürfnissen, wichtig.

In einem Essay von 1994 hat der Stadtforscher Walter Siebel die Frage untersucht: „Was macht eine Stadt urban? Er konstatiert: „Die Städte erleben [...] gegenwärtig einen Schub der Vergesellschaftung. [...] Es wird ganz entscheidend für die künftige urbane Qualität unserer Städte sein, wie mit diesen Resten der industriellen Vergangenheit der Städte umgegangen wird.“<sup>2</sup> Diese industriellen Reminiszenzen werden begleitet vom architektonischen Erbe der Wohn- und Lebensformen der jeweiligen Zeit. Wie Ira Mazzoni in einem Zeitungsartikel 2008 analysiert, erhält Architektur ihre Authentizität nicht vorrangig durch materiell Tradiertes, sondern – nach Aussage des ehemaligen bayerischen Generalkonservators Michael Petzet – ebenso durch Entwurf, Form, Technik, Nutzung und historischen Ort.<sup>3</sup>

Es geht also nicht nur um die Bausubstanz und Form an sich, sondern bei einer nachhaltigen Modernisierung sind auch Anknüpfungen an die ursprüngliche Nutzung, Nutzungsänderungen und Intentionen bei Bau und (Weiter-)Gestaltung zu berücksichtigen – es geht also darum, den „genius loci“<sup>4</sup> zu ergründen und in die Konzepte zu integrieren. Mit den Worten des berühmten Kunsthistorikers Norbert Huse: „(...) der Grundkonflikt zwischen modernen Funktionen und überkommenen Strukturen kann auf die Dauer überhaupt nur dann zu einer plausiblen Erhaltungsbegründung führen, wenn man die baulichen Strukturen in Zusammenhang sieht mit den sozialen“<sup>5</sup>

## 2. Zielkonflikte

Die langfristige Erwärmung unserer Erdatmosphäre infolge der seit der Industrialisierung ansteigenden Emissionen von sogenannten Treibhausgasen (vor

2 Siebel, Walter (1994): Was macht eine Stadt urban? Zur Stadtkultur und Stadtentwicklung. Oldenburger Universitätsreden Bd. 61. Universität Oldenburg, Oldenburg. Bibliotheks- und Informationssystem.

3 Mazzoni, Ira (2008): Bedarf die Architektur narrativer Strategien, um den Orten zu begegnen? In: deutsche bauzeitung (11), S. 22. Online verfügbar unter: <http://www.nextroom.at/article.php?id=29790>, zuletzt geprüft am 13.01.2014.

4 Norberg-Schulz, Christian (1982): Genius Loci. Landschaft, Lebensraum, Baukunst. Stuttgart: Klett-Cotta.

5 Huse, Norbert (1996): Denkmalpflege. Deutsche Texte aus drei Jahrhunderten. 2., durchges. Aufl. München: Beck, S. 213.

allem Kohlendioxid – CO<sub>2</sub> - als Produkt von Verbrennungsprozessen, aber auch wesentlich stärker wirkende Gase wie Methan) gefährdet auf Dauer den Bestand wichtiger Ökosysteme.<sup>6</sup> Dies führt bei ungebremster Entwicklung zu irreversiblen klimatischen Veränderungen, in der Folge zu Artensterben, Dürre, Nahrungsmittelknappheit und dramatischen politischen und gesellschaftlichen Umwälzungen.<sup>7,8,9</sup>

Daher stellt die Reduktion der Treibhausgasemissionen das wichtigste Ziel des Klimaschutzes dar. Dies spiegelt sich auch in der Gesetzgebung wider, die im Zuge der Energiewende verstärkt den Einsatz von erneuerbaren Energien fordert (EU-Energieeffizienz-Richtlinie 2012/27/EU; EEG; EnEV; KWKG; EEWärmeG).

Rund 30 % der Endenergie in Deutschland (die Energiemenge, die den Gebäuden und Einrichtungen vom Versorger übergeben wird) benötigen die privaten Haushalte. Davon entfallen wiederum 75 % auf die Raumwärme.<sup>10</sup> Je nach System ist der Verbrauch an Primärenergie durch Verluste bei Erzeugung, Wandlung und Transport noch viel größer. Entsprechend betrug der Anteil an der CO<sub>2</sub>-Emission durch die deutschen Haushalte 13 % der Gesamtemission von 764 Mio. t.

Die typischen Lösungsansätze sowohl bei Neubauten als auch im Bestand beruhen auf zwei Säulen: zum einen auf einer verbesserten thermischen Hülle des Gebäudes, um Wärmeverluste zu verringern (starke Dämmung von Fassaden, Dach bzw. oberster Geschossdecke und Kellerdecke; Einbau neuer Fenster, z. B. mit moderner Dreifachverglasung); zum anderen

6 Rahmstorf, Stefan; Schellnhuber, Hans-Joachim (2007): Der Klimawandel. Diagnose, Prognose, Therapie. 4. Aufl., Orig.-Ausg. München: Beck (Beck'sche Reihe, 2366: C.H. Beck Wissen).

7 Jouzel, Jean (2008): Die sehr lange Geschichte des Klimawandels. In: Barbara Bauer und Philippe Bovet (Hg.): Atlas der Globalisierung spezial: Klima. Über 100 aktuelle Karten und Schaubilder. Unter Mitarbeit von Le monde diplomatique. Für die dt. Ausg. aktualisiert und erg. Berlin: TAZ-Verl.- und -Vertriebs-GmbH, S. 32–33.

8 Roubardin, Sabine (2008): Der Klimawandel treibt den Klimawandel voran. In: Barbara Bauer und Philippe Bovet (Hg.): Atlas der Globalisierung spezial: Klima. Über 100 aktuelle Karten und Schaubilder. Unter Mitarbeit von Le monde diplomatique. Für die dt. Ausg. aktualisiert und erg. Berlin: TAZ-Verl.- und -Vertriebs-GmbH, S. 30–31.

9 Lehmann, Harry; Müschen, Klaus; Richter, Steffi; Mäder, Claudia (2013): Und sie erwärmt sich doch – Was steckt hinter der Debatte um den Klimawandel? Hg. v. Umweltbundesamt. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

10 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2013): Energie in Deutschland. Trends und Hintergründe zur Energieversorgung. (Siehe auch „Zahlen und Fakten. Energiedaten 2013“). Berlin.

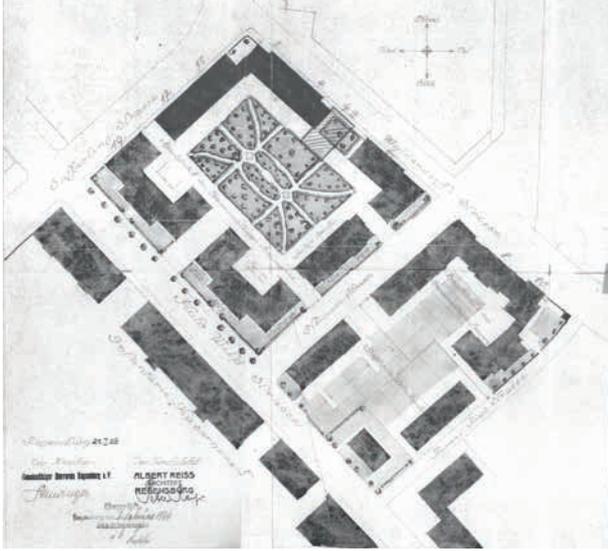


Abb. 2 Links: Original-Lageplan und landschaftsgärtnerisches Konzept des Planungsentwurfs für das Plato-Wild-Ensemble, Regensburg (Gath & Reiß, 1926; Gemeinnütziger Bauverein Regensburg)

Rechts: Aufnahmen von Gebäudefassaden im heutigen Zustand (Fotos: Zeitler)

auf einer modernen Heizungsanlage unter Einbeziehung von erneuerbaren Energien, d.h. Energieträger mit niedrigerem Primärenergieaufwand und geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionen.

In der Folge hat sich die Installation von haustechnischen Anlagen zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft sowie Dachflächenmodulen – Fotovoltaikmodule zur Stromgewinnung und Solarkollektoren zur Wärmeabgewinnung – verbreitet; auch die Installation von Lüftungsanlagen in Neubauten ist mittlerweile üblich geworden.

Demgegenüber sind die zentralen Ziele des Denkmalschutzes die Erhaltung des kulturellen Erbes und der Vielfalt der Baustile und Formsprachen unserer Kulturgeschichte.<sup>11</sup> Hier hat die Erhaltung der Bausubstanz oberste Priorität: Konservierung (Bewahrung) vor Restaurierung (Erneuerung). Die Replikation (Nachbildung) verlorener oder zu ersetzender Elemente wird zu Recht kritisch gesehen und kann nur mit Einschränkung als denkmalpflegerische Maßnahme gelten. Hier ist also insbesondere der Schutz des äußeren Erscheinungsbildes, ggf. im städtebaulichen Kontext, von zentraler Bedeutung.

### 3. Das Projekt RENARHIS

Während sich die Forschung bislang auf energiesparende Neubauten und die Renovierung alter Bausubstanz vor allem unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit konzentriert (etwa durch eine von außen aufgebrachte Wärmedämmverbund-Fassade), liegt der Fokus im Forschungsprojekt RENARHIS auf den zentralen Fragen:<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Hubel, Achim (2006): Denkmalschutz. Geschichte, Themen, Aufgaben; eine Einführung. Stuttgart: Reclam

<sup>12</sup> Steffens, Oliver (2014): „Grünes Denkmal“ - Denkmalschutz und Erneuerbare Energien ergänzen sich. In: Eugen Trapp (Hg.): Vorsicht Baudenkmal! Konfliktfelder Umwelt - Nutzung - Geschichte. Regensburger Herbstsymposium für Kunst, Geschichte und Denkmalschutz 22.-24.11.2013. Regensburg: Dr. Peter Morsbach Verl., S. 9-17.

- Wie löst man die Problematik der eingeschränkten energetischen Sanierbarkeit alter Gebäude, deren besondere Architektur erhalten werden soll? Welche bauphysikalischen und konstruktiven Lösungen sind sinnvoll?

- Wie können die Besonderheiten und der spezifische Energiebedarf einer historischen Ensemblestruktur gezielt verknüpft werden, um eine wirtschaftlich regenerative Energieversorgung zu erreichen?

- Wie erhält man eine dem genossenschaftlichen Gedanken verpflichtete Miethöhe und wodurch lässt sich eine solidarische Wohngemeinschaft stärken?

Die erarbeiteten Lösungsansätze schließen eine Lücke in der bestehenden Forschung und schaffen Perspektiven für die Bauwirtschaft, wie mit den in Deutschland zahlreich vorhandenen Genossenschaftswohnbauten der 1920-er und 1930-er Jahre in Zukunft umgegangen werden könnte.

Nur behutsame Renovierungsmaßnahmen sind akzeptabel, weshalb die Energieeffizienz vor allem auf dem Wege einer geschickten Energiebereitstellung (klimaneutrale Energieträger zur Vermeidung hoher CO<sub>2</sub>-Emission bei geringen Verteilungsverlusten) und durch Nutzung der Ensemblestruktur zu steigern ist.

Der für die genossenschaftlich geprägten Stadtquartiere des frühen 20. Jahrhunderts typische homogene Ensemblecharakter (vgl. Abb. 2) bietet durch eine geeignete Verbindung von dezentraler Energieversorgung und Energieeffizienz auf der Gebäudeseite – z. B. durch Kraft-Wärme-Kopplung oder solare Energiegewinnung – die Chance einer Bewahrung bzw. Restaurierung historisch bedeutender Architektur. Durch eine regenerative (CO<sub>2</sub>-neutrale) Energieversorgung können die klimapolitische und wirtschaftliche Forderung einer umfassenden energetischen Sanierung des Baubestandes abgemildert werden, sodass eine Konservierung im Sinne des Denkmalschutzes erreicht wird.



Da die Gebäude- und Nutzungsstruktur in einem Ensemble Platz und Abnahmevermögen für eine dezentrale, autarke Energieversorgung bietet, kommen auch aufwendigere Lösungen wie Blockheizkraftwerke in Betracht; so kann die bei der Stromerzeugung anfallende Abwärme direkt genutzt werden. Zudem bietet eine ausreichende Stromproduktion im Ensemble die Möglichkeit, zukünftigen Anforderungen der wachsenden Elektromobilität der Bewohner gerecht zu werden.

Andererseits werden auch sozialpolitische, demografische Aspekte thematisiert, wenn ein Nutzungskonzept für das Quartier entwickelt wird, das sich durch eine gemischte, interkulturelle, aber auch generationenübergreifende Wohnstruktur auszeichnet, und gleichzeitig die wirtschaftlichen Kosten sozialverträglich gestaltet werden müssen.

#### 4. Ausgangspunkte

Die Stadtentwicklung und Architektur der 1920er-Jahre in Regensburg wurden intensiv im Rahmen eines Forschungsprojekts der Hochschule Regensburg, der Stadt Regensburg und des Kunst- und Gewerbevereins Regensburg untersucht.<sup>13</sup>

Schulz (2009)<sup>14</sup> hat dabei insbesondere die nicht denkmalgeschützten Bauten, z.B. der alten Arbeiterviertel in der Ganhofer-Siedlung oder dem „Eisbuckel“, gewürdigt und festgestellt, dass die Modernisierungsmaßnahmen selten zur Wahrung des historischen Charakters des Quartiers beitragen. Teilweise verschwinden Naturbruchsteine unter Putz und Wärmedämmung, oder historische Gesimse werden von der Außendämmung verkapselt und bestenfalls als nachgebildetes Schmuckwerk auf der Wärmedämmung angebracht.

<sup>13</sup> Kunst- und Gewerbeverein Regensburg (Hg.) (2009): Die 20er Jahre in Regensburg. Regensburg.

<sup>14</sup> Schulz, Thekla (2009): Architektur der 20er Jahre in Regensburg. In: Kunst- und Gewerbeverein Regensburg (Hg.): Die 20er Jahre in Regensburg. Regensburg.

Konservatorische Maßnahmen zur Erhaltung der Bausubstanz auch ohne Außendämmung wurden insbesondere mit dem Ziel der Entfeuchtung der Wände untersucht, z. B. von Kotterer, Großschmidt et al. (2004).<sup>15</sup> Hier wurde mit dem Lösungsansatz einer Bauteiltemperierung gearbeitet, welche auch an anderen Stellen<sup>16,17</sup> untersucht wird. Von Künzel (2007)<sup>18</sup> wird sie als erprobtes Verfahren zur Feuchteregulierung und als Wandflächenheizung betrachtet. Das Problem der Feuchteschäden in historischen Gebäuden (schwere Bauweise mit hoher Wärmespeicherfähigkeit ohne ausreichende Wärmedämmung) wird auch in Künzel (2009)<sup>19</sup> ausführlich behandelt.

Oswald et al. (2011)<sup>20</sup> haben die energetische Optimierung von Gründerzeithäusern zur Erreichung der Ziele der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) in einem Forschungsbericht dargestellt. Die dabei eingesetzte Innendämmung lässt sich zwar fachgerecht auslegen, jedoch führt die Vermeidung von Wärmebrücken häufig zu kostenintensiven Lösungen. In der Quelle werden Detaillösungen studiert, die weniger aufwändig sind und somit kostengünstigere Alternativen

<sup>15</sup> Kotterer, Michael; Großschmidt, Henning; Boody, F. P.; Kippes, Wolfgang (2004): Klima in Museen und historischen Gebäuden: Die Temperierung/Climate in Museums and Historical Buildings. Wien: Schloß Schönbrunn Kultur- und Betriebsges. m.b.H. [in Kooperation mit Kunstforum Ostdeutsche Galerie Regensburg] (Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn, 9).

<sup>16</sup> Franzen, Christoph; Löther, Thomas; Lukasch, J. (2008): Nutzungsorientierte, optimierte Lokalttemperierung von Kirchen – modellhafte Voruntersuchungen und Konzeptentwicklung. Abschlussbericht Projekt AZ 24824 (Deutsche Bundesstiftung Umwelt). Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt. Dresden.

<sup>17</sup> Dreyer, Jürgen (2006): Verringerung der Feuchtigkeitsbelastung geschädigter Bauteile durch Temperierung. In: Bauphysik 28 (2), S. 111-119.

<sup>18</sup> Künzel, Helmut (2007): Bauphysik und Denkmalpflege – Teil 9. Bauteiltemperierung nach Großschmidt. In: Der Bausachverständige 3 (2), S. 14-17.

<sup>19</sup> Künzel, Helmut (2009): Anmerkungen zur Bauphysik historischer Gebäude. In: Bauphysik 31(6) S. 403-408.

<sup>20</sup> Oswald, Rainer; Zöller, Matthias; Liebert, Géraldine; Sous, Silke (2011): Energetisch optimierte Gründerzeithäuser. Baupraktische Detaillösungen für Innendämmungen unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen der Energieeinsparverordnung von April 2009. Abschlussbericht Forschungsinitiative Zukunft Bau. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart (F 2781).

tiven darstellen. Es wird hier jedoch kein Gebrauch von Synergieeffekten in einem baulichen Ensemble (es handelt sich um Gründerzeitvillen) gemacht. Die Bereitstellung der Heizwärme ist auch kein Thema der zitierten Studie.

Weitere technisch-konstruktive Ansätze zur Altbau- sanierung finden sich in der Literatur,<sup>21, 22</sup> insbesondere zur energieeffizienten Gebäudeplanung.<sup>23</sup> Interessante Lösungen für ein einzelnes denkmalgeschütztes Wohnhaus aus dem Jahre 1711, das zum Passivhaus modernisiert wurde, sind bei Hinz zu finden.<sup>24</sup>

Die energetische Quartiersplanung, d. h. die Erstellung eines Versorgungskonzeptes für eine geschlossene Siedlung, wurde von Erhorn-Kluttig et al. (2011)<sup>25</sup> im Rahmen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungsinitiative „EnEff:Stadt“ untersucht. Neben den kommunalen Energieversorgungskonzepten und Gebäudetechnik wird in dieser Quelle auch die Siedlungstypologie als Planungsgrundlage hervorgehoben. Die aufgeführten Beispiele können Ausgangspunkt für problemangepasste Lösungen für die Genossenschaftssiedlung sein.

Schulze-Darup et al. (2011)<sup>26</sup> haben in Nürnberg für die Wohnungsbaugenossenschaften WBG mit der Sanierung ganzer Quartiere begonnen. Diese stammen aus den 1950er- und 1960er-Jahren. Dabei werden wie bei Oswald et al. (2011)<sup>27</sup> nur die Gebäude, nicht aber die Energiebereitstellung aus regenerativen Quellen betrachtet.

21 Haas-Arndt, Doris (2010): Altbauten sanieren – Energie sparen. Durch Sanierung zum Niedrigenergiehaus. 3., aktualis. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (BINE-Fachbücher).

22 Frössel, Frank (2011): Mauerwerkstrockenlegung und Kellersanierung. Wenn das Haus nasse Füße hat. 3., komplett überarb. und erw. Aufl. Stuttgart [auch Baulino-Verl., Leest/Werder (Havel)]: Fraunhofer IRB Verlag.

23 Krimmling, Jörn (2007): Energieeffiziente Gebäude. 2., aktualisierte Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

24 Hinz, Peter (2011): Sanierung eines denkmalgeschützten Wohnhauses aus dem Jahre 1711 zum Passivhaus. In: Peter Hinz (Hg.): 15. Passivhaus-Konferenz. Innsbruck.

25 Erhorn-Kluttig, Heike; Jank, Reinhard; Schrempf, Ludger; Dütz, Armand; Rumpel, Friedrun; Schrade, Johannes et al. (2011): Energetische Quartiersplanung: Methoden - Technologien – Praxisbeispiele. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

26 Schulze-Darup, Burkhard; Neitzel, Michael (2011): Energieeffizienz mit städtebaulicher Breitenwirkung. In: GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e. V.

27 Oswald, Rainer; Zöller, Matthias; Liebert, Géraldine; Sous, Silke (2011): Energetisch optimierte Gründerzeithäuser. Baupraktische Detaillösungen für Innendämmungen unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen der Energieeinsparverordnung von April 2009. Abschlussbericht Forschungsinitiative Zukunft Bau. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart (F 2781).

Aus der mannigfaltigen Literatur zu den verschiedenen Möglichkeiten der dezentralen Energieversorgung sind einige Standardwerke zu nennen; diese dienen als Planungsgrundlage für die Konzeption verschiedener Varianten. Ein Übersichtslehrbuch für Nahversorgungssysteme wurde von Krimmling (2011)<sup>28</sup> verfasst.

Für Blockheizkraftwerke (BHKW) ist z. B. Sutor (2009)<sup>29</sup> ein geeigneter Ausgangspunkt. BHKWs wurden auch im Rahmen einer Studie zur Evaluation von Energiekonzepten für Bürogebäude untersucht; hier lassen sich Fakten hinsichtlich Gebäudetechnik und Betriebserfahrungen abgreifen.<sup>30</sup> Das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung wird auch in Schaumann (2010)<sup>31</sup> und in anderen Werken<sup>32, 33</sup> grundlegend dargestellt.

Durch den hohen Grad der Primärenergienutzung (indem Strom und Heizwärme in einem Nahversorgungsnetz gleichermaßen zur Verfügung gestellt werden) ist eine CO<sub>2</sub>-neutrale bzw. emissionsreduzierte Energieversorgung möglich, wenn für den Betrieb regenerative Energieträger (Holz in verschiedener Form oder Biogas) zum Einsatz kommen. Die Dimensionierung als Mini-BHKW (mit einer Leistung unter 50 kW) ist in Siedlungen bereits erprobt und Gegenstand einiger Arbeiten<sup>34, 35</sup>, u. a. auch an der Hochschule Regensburg.<sup>36</sup> Die Auslegung als wärmegeführtes BHKW, dessen Stromleistung in der Regel über dem Verbrauch liegt, ermöglicht die Einspeisung über-

28 Krimmling, Jörn (2011): Energieeffiziente Nahwärmesysteme. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

29 Sutor, Wolfgang (2009): Blockheizkraftwerke. Ein Leitfaden für den Anwender. 7., vollst. überarb. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag; Solarpraxis.

30 Plesser, Stefan; Bremer, Carsten; Fisch, M. N. (2004): Auf dem Prüfstand II. EVA – Forschungsprojekt zur Evaluierung von Energiekonzepten. In: Uwe Michael Schreiner (Hg.): Intelligente Architektur. AIT Spezial 44. Leinfelden-Echterdingen: Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH, S. 52–55.

31 Schaumann, Gunter (2010): Kraft-Wärme-Kopplung. VDI-Buch. 4., vollst. bearb. und erw. Aufl. Berlin: Springer

32 Krewitt, Wolfram; Pehnt, Martin; Fishedick, Manfred (2004): Brennstoffzellen in der Kraft-Wärme-Kopplung. Berlin: Erich Schmidt (Beiträge zur Umweltgestaltung, A156).

33 Brickmann, U. (2010): Gebäudetechnik für „Internet der Energie“ vorbereiten. In: HLH (Heizung, Lüftung, Klima, Haustechnik) (11), S. 37–41.

34 Seidel, Michael; Gailfuss, Markus (2003): Blockheizkraftwerke und stationäre Brennstoffzellen. In: BWK (Brennstoff, Wärme, Kraft) Das Energie-Fachmagazin 55 (4), S. 97–102.

35 Ziegler, Christine (2006): Im Feldversuch: Ökologisch wohnen und arbeiten. In: BUNDESBAUBLATT 55 (1), S. 12–15.

36 Ebner, Lena (2011): Energieversorgung der Zukunft im Ein- und Mehrfamilienhaus mit Schwerpunkt Kraft-Wärme-Kopplung. Bachelorarbeit. Hochschule für angewandte Wissenschaften, Regensburg.

schüssiger elektrischer Energie ins Netz. Durch diesen Ansatz können Finanzierungsmöglichkeiten erschlossen werden. Zudem besteht die Option, Wärme für eine ganzjährig betriebene Bauteiltemperierung<sup>37</sup> von feuchtebelasteten Bereichen bereitzustellen.

Die Wärmegewinnung durch Solarthermie (Dachflächenkollektoren) oder alternativ die Erzeugung von elektrischem Strom aus Fotovoltaikanlagen (PV) ist bei modernen Gebäuden üblich, bei schützenswerten historischen Bauten jedoch aus architektonischer Sicht problematisch. Zwar gibt es gute Übersichten über die Möglichkeiten der Integration der Fotovoltaik als Fassaden- oder Dachelement<sup>38</sup>, aber der Einsatz in historischem Bestand muss mit Sorgfalt durchdacht werden.

In Verbindung mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe ist der Einsatz von Solarstrom zur Warmwasserbereitung eine häufig realisierte Lösung neben der klassischen Warmwasser-Kollektortechnologie.

Thermisch betriebene Klimaanlage wurden im Rahmen eines europäischen Forschungsprojektes von Jakob und Eicker (2002)<sup>39</sup> entwickelt. Sie werden indirekt beheizt und lassen sich dadurch mithilfe von Solarenergie betreiben. Für ein klassisches Wohngebäude in schwerer Bauweise ist dieser Aspekt allerdings von nachrangigem Interesse.

In der gleichen Forschungsgruppe wurden auch Energiekonzepte auf Solarenergiebasis für Stadtquartiere erforscht, mit richtungsweisenden Hinweisen für das geplante Projekt (ohne allerdings die Besonderheiten historischer Quartiere zu beleuchten).<sup>40</sup>

Neben BHKW und Solarenergie kommt als regenerative Energiequelle für eine größere Siedlung auch die Nutzung von Erdwärme infrage. Diese lässt sich auch gut mit architektonischen Randbedingungen verbinden. Entscheidend für die Realisierung der Energiever-

sorgung durch oberflächennahe Erdwärme ist dabei die Möglichkeit, die Sonden tief genug (über 100 m) ins Erdreich legen zu können. Im Gebäudebestand ist dies vor allem in den Freiflächen denkbar. Dieses Konzept steht in Konkurrenz zu horizontal verlegten Erdwärmekollektoren.<sup>41, 42</sup>

Die Verknüpfung der Energieversorgung mit den spezifischen Bedürfnissen historischer Gebäude wurde von Drittenpreis et al. (2013)<sup>43</sup> im Rahmen eines Forschungsprojektes untersucht. Gegenstand der Analyse ist allerdings eine heterogene, aus Einzelwohngebäuden bestehende Fachwerksiedlung. Die ganzheitliche Lösung für ein homogenes Wohnensemble, wie etwa Genossenschaftsbauten der 1920er-Jahre, mit eigenen Synergiepotenzialen wird hier somit nicht verfolgt.

## 5. Aufbau des Leitfadens

Am Beginn steht eine detaillierte bauhistorische Untersuchung des Stadtquartiers (Baufaufnahme) mit einer umfassenden Dokumentation und die Entwicklung eines denkmalpflegerischen Konzepts zur Erhaltung der historisch bedeutenden architektonischen Details der Gebäude. Dies wird begleitet von bauphysikalischen Untersuchungen und Bauschadensanalysen. Soziale Belange erfahren eine besondere Berücksichtigung durch eine umfangreiche Sozialstudie und Nutzerverhaltensanalysen.

Im Folgenden werden energetische Sanierungsmaßnahmen entwickelt und der daraus resultierende Wärmebedarf ermittelt. Die Sanierungsmaßnahmen umfassen sowohl konservatorische Lösungen (z. B. Trocknung feuchter Bauteile) als auch Möglichkeiten der Reduzierung des Heizwärmebedarfs (Modernisierung). Eine optimierte, der Situation angepasste Energieversorgung wird durch den Vergleich verschiedener technologischer Lösungsansätze gefunden.

Die Lösungen werden schließlich in einer wirtschaft-

37 Kotterer, Michael; Großschmidt, Henning; Boody, F. P.; Kippes, Wolfgang (2004): Klima in Museen und historischen Gebäuden: Die Temperierung/Climate in Museums and Historical Buildings. Wien: Schloß Schönbrunn Kultur- und Betriebsges. m.b.H. [in Kooperation mit Kunstforum Ostdeutsche Galerie Regensburg] (Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn, 9).

38 Roberts, Simon; Guariento, N. (2009): Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Ein Handbuch: Birkhäuser.

39 Jakob, Uli; Eicker, Ursula (2002): Wenn die Sonne Kühlung spendet. In: Sonne Wind & Wärme 26 (2), S. 22–25.

40 Eicker, Ursula; Strzalk, Aneta; Erhart, Tobias; Perrella, Balestieri; Jose, Antonio (2011): Low Energy City Quarters with High Renewable Fractions: Monitoring Results and Potential for Replication. In: International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development 2 (1), S. 69–80.

41 Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (Hg.) (2010): Erdwärmesonden. Informationsbrochure zur Nutzung oberflächennaher Geothermie. 3. Aufl. Unter Mitarbeit von Karina Hofmann. Dresden. Online verfügbar unter: [www.smul.sachsen.de/lfulg](http://www.smul.sachsen.de/lfulg), zuletzt geprüft am 12.09.2013.

42 Koenigsdorff, Roland (2011): Oberflächennahe Geothermie für Gebäude. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

43 Drittenpreis, Julia; Schmid, Thomas; Zadow, Oliver (2013): Energienutzungsplan unter besonderer Berücksichtigung des Denkmalschutzes am Beispiel der Stadt Iphofen. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Forschungsinitiative Zukunft Bau, F 2836).

lichen Gesamtbetrachtung bewertet, mit dem Ziel, eine starke Erhöhung der Wohnkosten zu vermeiden und eine sozial gemischte, generationenübergreifende Wohnstruktur zu erhalten bzw. zu fördern.

Die Arbeitsschritte im Projekt definieren auch den Aufbau des Leitfadens. Hier werden die prinzipiellen Fragestellungen und Aufgaben in jeder Phase allgemein dargestellt, um diese dann am Beispiel des Plato-Wild-Ensembles praktisch zu verdeutlichen.

Der Leitfaden gliedert sich in folgende Kapitel:

- A.** Bauaufnahme und Dokumentation
- B.** Nutzungs- und Konservierungskonzept
- C.** Sozialstudie
- D.** Bauphysik und Bauschadensanalyse
- E.** Architektonische Modernisierung
- F.** Energetische Potenziale
- G.** Versorgungskonzepte
- H.** Berechnungen für den Nachweis der EnEV
- I.** Wirtschaftlichkeitsanalyse

## 6. Danksagung

Abschließend möchte ich als Projektleiter meinen großen Dank aussprechen für die spannende und fruchtbare Zusammenarbeit. Mein Dank gilt:

- allen Projektbeteiligten an der Ostbayerischen Technischen Hochschule (OTH) Regensburg: Prof. Dr. Thekla Schulz-Brize, Prof. Dr. Christian Rechenauer und Prof. Dr. habil. Sonja Haug sowie den wissenschaftlichen Mitarbeitern Tobias Saller M.Sc., Simon Schaubeck M.Sc., Matthias Vernim M.A., Matthias Wittmann M.A. und Anika Zeitler M.A.;

- den aktiv über ihre Lehrveranstaltungen mitwirkenden Kolleginnen und Kollegen, insbesondere Prof. Anne Beer, Prof. Dr. Cornelia Bieker, Prof. Markus Emde, Prof. Andreas Emminger, Prof. Dr. Peter Morsbach, Prof. Erich Prödl, Prof. Dr. Birgit Scheuerer und vor allem Prof. Joachim Wienbreyer für sein besonderes, entscheidendes Engagement in der Anfangsphase des Projekts;
- den Projektpartnern Sonnenkraft Deutschland GmbH (Regensburg), Luxgreen GbR (Regensburg), und insbesondere dem Planungsbüro Schröter (Abensberg), vertreten durch Sonja Schröter;
- dem Ingenieurbüro Ziegler + Kugler (Kelheim) und Volker Hamann (PURE Brandschutz, Regensburg) für beratende Unterstützung;
- allen Studierenden an der OTH Regensburg in den Studiengängen Architektur, Bauingenieurwesen, Gebäudeklimatik und Regenerative Energien, die mit Projekt- und Abschlussarbeiten sowie als studentische Hilfskräfte aktiv an den Ergebnissen beteiligt waren;
- dem Gemeinnützigen Bauverein Regensburg e.V., vertreten durch seinen Vorsitzenden Hubert Vierthaler, dessen freundliches Team durch die gute Zusammenarbeit und die stete Bereitschaft, mit Informationen und organisatorischer Unterstützung zu helfen, zum Gelingen maßgeblich beigetragen haben.

Dem BBSR danken wir für die Förderung des Projekts im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ und der Möglichkeit, dieses Buch in der Reihe „Zukunft bauen“ veröffentlichen zu können. Hier gebührt unser besonderer Dank Frau Wencke Haferkorn für die großartige Unterstützung bei der Überarbeitung und Buchgestaltung.

Regensburg, im Dezember 2014

Prof. Dr. Oliver Steffens  
Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg



1.	Einleitung	24
2.	Bestandsaufnahme und Dokumentation	26
2.1	Baubeschreibung und Fotodokumentation	26
2.2	Archivarbeit und Bestandspläne	28
2.3	Bestandsaufmaß und Planerstellung	29
2.4	Auswertung und Ergebnisse	31
3.	Ausblick	35



Teil A  
Baufaufnahme und Dokumentation

# 1. Einleitung

Die detaillierte Erfassung komplexer Gebäude und Gebäudestrukturen ist für weitere Planungen und Sanierungsmaßnahmen als grundlegend anzusehen. Sie ist vor allem bei denkmalgeschützten Objekten notwendig und dokumentiert den aktuellen baulichen Zustand.

„Die Bauaufnahme besteht aus der Erfassung eines Bauwerks sowohl mit meßtechnischen, zeichnerischen und verbalen Mitteln als auch aus dem Versuch, das Gebäude selbst und die Bedingungen seiner Entstehung als historisches Phänomen zu begreifen und in die Dokumentation aufzunehmen.“<sup>1</sup>

Somit ist die Bauaufnahme und Baudokumentation als Methode einer Grundlagenermittlung zu verstehen, die dann die Ergebnisse anhand von zeichnerischen Plänen (Grundrissen, Ansichten, Schnitten, Detailzeichnungen), einer schriftlichen Baubeschreibung und einer ausführlichen Fotodokumentation vorlegt.

Besonders im Bereich der Denkmalsanierung ist eine vorausgehende detaillierte Bauuntersuchung mit Bauaufnahme und Baudokumentation oft unumgänglich, da nur dadurch der Erhaltungszustand des Gebäudes erkannt werden kann und eine adäquate, den Denkmalbestand schonende Sanierung durchgeführt werden kann. Denn erst das Wissen um den Bestand ermöglicht eine ressourcenschonende, denkmalgerechte und auch wirtschaftliche Planung.

Wichtige Punkte der Bauaufnahme und Baudokumentation sind:

- Baubeschreibung und Fotodokumentation mit historischem Kontext
- Erlangen von Bestandsplänen und Archivunterlagen
- Bauaufmaß mit Plananfertiigung
- Typologische Einordnung

Laut dem Zensus<sup>2</sup> 2011 entstanden ca. 26% der Wohngebäude der Bundesrepublik Deutschland vor 1948. Der Bestand von Wohngebäuden aus der Zwischenkriegszeit weist häufig bauhistorisch wert-

1 Wangerin, Gerda (1992): Bauaufnahme: Grundlagen, Methoden, Darstellung, 2., verb. und erw. Aufl. Braunschweig/Wiesbaden, S. 8 – 15.

2 Statistische Ämter des Bundes und der Länder: Ergebnisse des Zensus 2011 – Wohngebäude nach Baujahr. Online verfügbar unter: [http://www.statistikportal.de/Statistik-Portal/de\\_jb08\\_z5.asp](http://www.statistikportal.de/Statistik-Portal/de_jb08_z5.asp) [Stand: 08.12.2014].

volle Stadtquartiere auf. Aus diesem Grund muss die fachlich intensive Auseinandersetzung mit diesen Gebäuden als Grundlage für weitere Planungsvorhaben angesehen werden. Denn nur mit dem Bewusstsein für bauhistorisch wertvolle Architektur können architektonisch wertvolle Gebäude erhalten werden. Voraussetzungen sind vor allem die Beschaffung von Bestandsplänen, die bauhistorische Einordnung und Archivarbeit.

## Ausgangssituation Plato-Wild-Ensemble

Anhand der Regensburger Plato-Wild-Siedlung wird im Folgenden das Kapitel der Bauaufnahme und Baudokumentation beispielhaft dargelegt.

Bei der Restaurierung historischer Stadtquartiere wird als Ziel die Suche nach alternativen Sanierungsvorschlägen ausgegeben. Dabei geht es vorrangig um die Erhaltung der architektonischen Formensprache und Energieeffizienz der einzelnen Gebäude. Am Modellobjekt des Plato-Wild-Ensembles werden dabei Lösungsansätze zum Erhalt der Bausubstanz erarbeitet. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der charakteristischen Fassadengestaltung. Um dieses Erscheinungsbild zu schützen, muss ein neuer Ansatz zur energetischen Sanierung gefunden werden, da aus diesem Grund eine Dämmung der Außenflächen keine gestalterisch vertretbare Lösung darstellt. Die typische Architektur, die diese Siedlung der 20er-Jahre in Regensburg prägt, bedarf aus diesem Grund einer besonderen architektonischen Würdigung.

In der Zwischenkriegszeit des 20. Jahrhunderts konzentrierte sich die Bautätigkeit in Regensburg neben öffentlichen Bauten sowie privaten und Industriebauten vorrangig auf den Siedlungsbau der Genossenschaften.<sup>3</sup> Dabei entstand auch die Plato-Wild-Siedlung, welche im Wesentlichen in den Jahren von 1912 bis 1926 errichtet wurde. Als genossenschaftlicher Träger der Wohnanlage konstituierte sich der „Regensburger Bauverein e.V.“<sup>4</sup>, der 1912 auf Initiative von Karl Staudinger gegründet wurde und bis heute existiert.

Der genossenschaftliche Gedanke liegt auch diesem Bauvorhaben zugrunde und prägt die Gestaltung der Gebäude. Bezeichnend für das Erscheinungsbild des Ensembles sind sparsam historisierende Mietshausböcke, die sich um einen grünen Innenhof gruppieren.

3 Schulz-Brize, Thekla (2009): Architektur der 20er Jahre, in: Die 20er Jahre. Regensburg, hrsg. v. Kunst- und Gewerbeverein Regensburg, S. 113.

4 100 Jahre Gemeinnütziger Bauverein Regensburg e. V. (2012).

Der genossenschaftliche Zusammengehörigkeitsgedanke wird dabei im Besonderen auch in den Fassaden wiedergegeben. So fassen der umlaufende Natursteinsockel sowie die horizontalen Gesimsbänder das Quartier und bilden eine architektonische Einheit. Als planende Architekten wurden Gath und Reiß beauftragt, welche die Siedlung in mehreren Bauabschnitten planten.

Das Ensemble wurde nach dem reichsstädtischen Beamten Georg Gottlieb Plato Wild benannt, der schon im 18. Jahrhundert eine Vorliebe für die Regensburger Stadtgeschichte entwickelt hatte und somit auch als „Vater der Regensburger Geschichtsforschung“<sup>5</sup> bezeichnet wurde.

Die Siedlung muss in zwei Baublöcke unterteilt werden. Der Baublock I wird dabei von der Plato-Wild-Straße im Südwesten, der Neumannstraße im Nordwesten und der Walderdorffstraße im Nordosten begrenzt und weist die ältere Baustruktur (Erbauungszeit um 1911/12) auf.

Der Baublock II entstand bis in die 1926er-Jahre an der Plato-Wild-/Safferling-/Walderdorff- und Neumannstraße.

Charakteristisch für das Erscheinungsbild der gesamten Anlage sind die mehrgeschossigen Walmdachhäuser mit Putzfassade und Natursteinsockel. Ein fester Haustyp ist an sich nicht zu erkennen. Trotz der Heterogenität des Ensembles ist der homogene Ausdruck der Gesamtanlage mit rhythmisierenden Eck- und Mittelrisaliten wie auch Zwerchgiebelaufbauten und Lisenenbänderung deutlich zu erkennen. Kernpunkt der Siedlung bilden die Grünanlagen, die von den Häusergruppen gerahmt werden. Die einzelnen Häuser ordnen sich der Gesamtanlage unter, die durch das verbindende Gestaltungsmerkmal des umlaufenden Natursteinsockels geprägt ist.

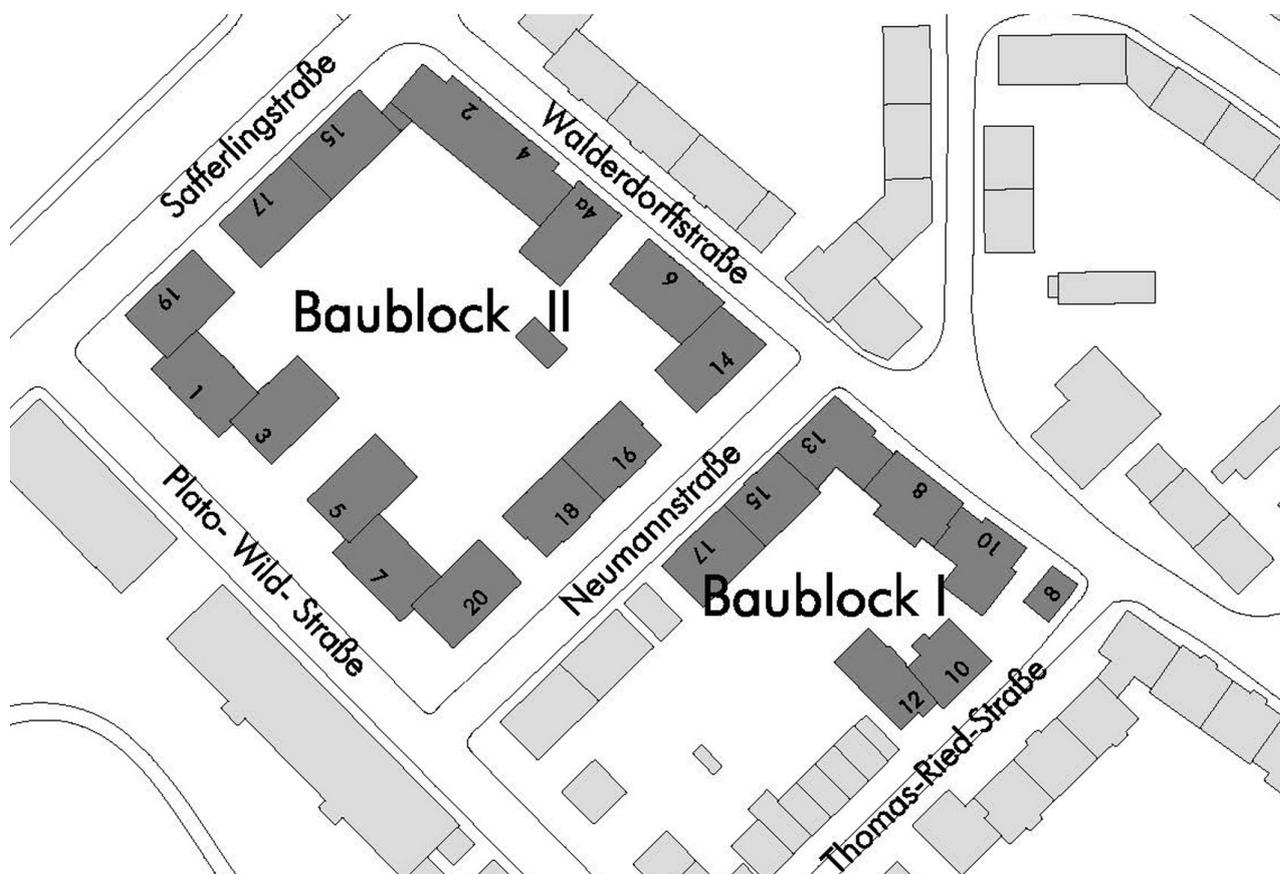


Abb. 3 Lageplan der Plato-Wild-Siedlung, ohne Maßstab (Quelle: CityView Regensburg 2011, Stadt Regensburg, Zeitler)

<sup>5</sup> Bauer, Karl (1997): Regensburg, in: Kunst- und Kultur- und Alltagsgeschichte. Mittelbayerische Druck- & Verlags-Gesellschaft, 5. Auflage, S. 81

## 2. Bestandsaufnahme und Dokumentation

Um ein Ensemble mit seiner architektonischen Struktur, seiner Konstruktion und auch bautechnischen Beschaffenheit richtig einschätzen zu können, müssen Grundlagen des Bestandes ermittelt werden. Hierzu eignet sich eine Zusammenstellung von standortbezogenen Karten, Plänen, Fotos und Daten. Dies kann einerseits über eine rein theoretische Bestandsaufnahme geschehen, d. h. die Ermittlung von Daten aus historischem Bestandsmaterial, und andererseits auf einer praktischen, aktuellen Bestandsaufnahme beruhen.

### 2.1 Baubeschreibung und Fotodokumentation

Die schriftliche Dokumentation dient der Ergänzung und Vervollständigung der Baudokumentation.<sup>6</sup> Da nicht alle wichtigen Überlegungen und Auffälligkeiten eines Gebäudes bei der Anfertigung des Bestandsaufmaßes dargestellt werden können, müssen diese in schriftlicher Form festgehalten werden. Dies erleichtert häufig die weitere Planung im Büro.<sup>7</sup> Wichtig dabei ist, von der groben Darstellung der Gebäudestruktur zu einer detaillierten, den Baukörper charakterisierenden Beschreibung überzugehen. Es empfiehlt sich, die Angaben gegliedert und konsequent anzulegen, da bei größeren baulichen Komplexen eine klare und durchdachte Struktur von Vorteil ist. Hilfreich dabei ist das Anlegen eines entsprechenden Formblatts (siehe Abb. 3 und Abb. 5).

Dabei sollten unbedingt erwähnt werden:

- Gebäudebezeichnung
- Lage
- Nutzung
- Historischer Hintergrund
- Form der Baukörper
- Aussagen zur Bautechnik
- Dachform
- Beschreibung der Fassaden
- Erhaltungszustand und bauliche Qualität

<sup>6</sup> Wangerin, Gerda (1992): Bauaufnahme: Grundlagen, Methoden, Darstellung. 2., verb. und erw. Aufl. Braunschweig/Wiesbaden, S. 12.

<sup>7</sup> Cramer, Johannes (1993): Handbuch der Bauaufnahme 2. überarb. Aufl. Stuttgart, S. 111–115.

### Beispiel: Baubeschreibung und Fotodokumentation am Modell der Fünfhäusergruppe der Plato-Wild-Siedlung

Im Folgenden wird anhand der Fünfhäusergruppe detailliert ein Beispiel aus der laufenden Baudokumentation dargestellt. Zwei ausgewählte Fassaden der Fünfhäusergruppe werden beschrieben und via Fotodokumentiert. Der Vergleich der historischen Pläne mit den Aufmaßplänen von heute zeigt die entstandenen Veränderungen auf. Die Häusergruppe befindet sich an der Ecke Safferlingstraße/Walderdorffstraße und wurde in den 1926er-Jahren erbaut. Es können ihr folgende Hausnummern zugeordnet werden: Safferlingstraße 15, Safferlingstraße 17, Walderdorffstraße 2, Walderdorffstraße 4, Walderdorffstraße 4a.

Die L-förmige Häusergruppe mit sich verschneidenden Walmdächern wurde als dreigeschossiges Wohnhaus konzipiert. Als größter zusammenhängender Baukörper schließt dieser die Ecke Safferlingstraße/Walderdorffstraße ab. Ein öffentlicher Durchgang im Erdgeschossbereich ermöglicht den Zugang zum Innenhof aus nordwestlicher Ecke. Das Erdgeschoss ist wie bei allen Häusern des Wohnblocks II als Hochparterre über der Sockelzone angelegt. Charakteristisch ist der umlaufende Natursteinsockel.

Die Nordwestfassade der Fünfhäusergruppe ist zu gliedern in die Fassadenfläche des Gebäudes der Walderdorffstraße 2 und die Fassadenfläche der Safferlingstraße 15 und 17.

In der Fassade der Walderdorffstraße 2 befindet sich der Durchgang zum Innenhof. Der Durchgang wird durch seine mehrfach abgekantete Bogenform cha-



Abb. 4 Nordwestfassade der Fünfhäusergruppe, Walderdorffstraße 15 und 17 (Foto: Zeitler)

rakterisiert. Der Fassadenbereich des Durchgangs weist eine Fensterachse auf. Eine weiße Lisene, die neben dem Durchgang verläuft, grenzt diesen Bereich von der übrigen Fassadenfläche ab. Diese ist in

Erstellt von:

Annika Zeitler | Matthias Wittmann

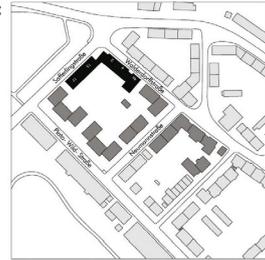
Datum:

24.01.2013

Ort / Adresse:

Plato-Wild-Siedlung  
Baublock II  
93053 Regensburg

Lage:



Baublock | Häusergruppe | Gebäude | Fassade

Baublock II | E\_Fünfhäusergruppe I Safferlingstraße 15, 17 Walderdorffstraße 2, 4, 4a |  
Beschreibung der Fünfhäusergruppe**Beschreibung:**

Die Fünfhäusergruppe an der Safferling-/Walderdorffstraße (erbaut 1926) besteht aus fünf einzelnen Häusern. Folgende Hausnummern werden der Fünfhäusergruppe zugeordnet:

Safferlingstraße 15  
Safferlingstraße 17  
Walderdorffstraße 2  
Walderdorffstraße 4  
Walderdorffstraße 4 a

Die L-förmige Häusergruppe mit sich verschneidenden Walmdächern wurde als dreigeschossiges Wohnhaus konzipiert. Als größter zusammenhängender Baukörper schließt dieser die Ecke Safferling-/Walderdorffstraße ab. Ein öffentlicher Durchgang im Erdgeschossbereich ermöglicht den Zugang zum Innenhof aus nordwestlicher Ecke.

Das EG ist wie bei allen Häusern des Wohnblocks II als Hochparterre über der Sockelzone angelegt. Charakteristisch ist weiterhin der umlaufende Natursteinsockel.

Abb. 5 Formblatt Baubeschreibung am Beispiel der Fassaden (Quelle: Zeitler)

drei Fensterachsen gegliedert und wird durch eine weitere Ecklisenen begrenzt. Die Fenster weisen hier bis auf Keller- und Dachfenster nur ein Format auf. In der Dachfläche der Walderdorffstraße 2 befinden sich drei Dachfenster. Ein Fensterbankgesims trennt das Erdgeschoss von den übrigen Geschossen. Dieses verläuft wie das Traufgesims auch über die komplette Fassade und verkröpft sich an den Ecklisenen, die sich an den Gebäudeecken befinden und die dadurch pilasterähnliche Wirkung erlangen.

Das Walmdach der Nordwestfassade der Safferlingstraße 15 und 17 ist traufständig mit Dachüberstand und seitlich abgestuftem Zwerchgiebel ausgebildet und mit 14 Fensterachsen axialsymmetrisch aufgebaut. Dabei wurden bis auf zwei kleine fünfeckige Fenster im Zwerchgiebel und die Keller- und Dachfenster drei Fensterformate verwendet.

Die Gruppierung in der Safferlingerstraße 15 und 17 wird durch zwei über Treppen zu erschließende Eingänge definiert. Sie sind in der Fassade zurückge-



Abb. 6 Nordostfassade der Fünfhäusergruppe, Walderdorffstraße 2, 4, 4a; (Fotos: Zeitler)

sprungen und weisen die gleiche abgekantete Bogenform auf wie der Durchgang zum Innenhof. Die Eingangssituationen werden besonders hervorgehoben durch abgekantete Kolossalpilaster, die oberhalb der Eingangsöffnung auf einem konsolähnlichen Gesims beginnen, bis unter die Traufe fortlaufen und mit dem Traufgesims verkröpft abschließen. Die Pilaster liegen auf Konsolen auf, die wiederum durch ein spitzgezahntes Gesims verbunden sind. Die Pilaster werden auch im Zwerchgiebel fortgeführt, hier sind sie allerdings flach ausgeführt. Der abgestufte Zwerchgiebel weist ein Giebelgesims und ein anschließendes horizontales Gesims auf. Die Sockelzone ist bei der gesamten Nordwestfassade der Fünfhäusergruppe durchgängig mit Naturstein verkleidet.

Bei der Nordostfassade der Fünfhäusergruppe (siehe Abb. 6) muss die Fassadenfläche in die Flächen der Walderdorffstraße 2 und 4 und die der Walderdorffstraße 4a unterteilt werden. Die Fassade der Walderdorffstraße 2 und 4 ist axialsymmetrisch aufgebaut und weist 16 Fensterachsen auf. Zwei Risalite, die mit abgestuften Zwerchgiebeln ihren oberen Abschluss finden, prägen das Bild der Fassade.

Der nördliche und südliche Bereich der Fassade liegt zurückgesprungen. Die Eingangssituationen befinden sich jeweils an den Seiten der Risalite und sind eingeschnitten. Diese werden außerdem durch einen mehrfach gekantete Bogen und einen nach unten sich verjüngenden Pfeiler definiert. Oberhalb des umlaufenden Fensterbankgesimses sind die Risalite in drei Felder aufgeteilt. Die jeweils äußeren Flächen liegen überhöht zur Mittelfläche, diese wiederum geht in den abgestuften Zwerchgiebel über. Das umlaufende Traufgesims wird dabei unterbrochen. Der Zwerchgiebel weist ein Giebelgesims und ein daran anschließendes horizontales Gesims auf. In der Giebelfläche befindet sich ein kleines sechseckiges Fenster. Die Fensterachsen 7 und 10 zeigen in allen Geschossen vermauerte Blindfenster. Der Traufbereich des Walmdaches ist mit einer Verblechung versehen. Auf der gesamten Dachfläche befinden sich mehrere Dachflächenfenster. Die Sockelzone ist durchgängig mit Naturstein verkleidet

## 2.2 Archivarbeit und Bestandspläne

Als Vorbereitung für weitere Planungen dient das Einholen von Bestandsplänen. Diese und weitere Informationen, wie Flurkarten, Flächennutzungspläne, Bebauungspläne, können bei der Stadt bzw. Gemeinde eingesehen werden.

Weitere Dokumente zu den Bauakten können auch in Stadt- und Staatsarchiven, bei Denkmälern in den Archiven der Landesdenkmalämter eingesehen werden. Häufig kann auch schon ein Gespräch mit dem Eigentümer weiterhelfen.

Die Aufarbeitung der Archivalien und Bestandspläne ist nicht nur für die historische Dokumentation des Gebäudes wichtig, sondern gibt auch Aufschluss über bauliche Veränderungen im Laufe der Zeit.

### Beispiel: Archivarbeit und Bestandspläne am Modell der Plato-Wild-Siedlung in Regensburg

Die bauhistorischen Betrachtungen am Plato-Wild-Ensemble beinhalteten – über die Beschaffung der historischen Pläne hinaus – eingehende Recherchearbeiten im Archiv des Bauvereins Regensburg e.V. Es konnten Bauakten über Sanierungen der Wohnungen und Fassadenerneuerungen eingesehen werden, die Aufschluss auf den heutigen Zustand gaben und sich als wichtige Dokumente für die Sanierungsgeschichte des Ensembles herausstellten.

Bestandspläne siehe Abb. 9 bis Abb. 12.

Mithilfe der Unterlagen aus dem privaten Archiv des Regensburger Bauvereins konnten unter anderem folgende gebäudetechnischen Maßnahmen der letzten Jahrzehnte nachvollzogen werden. Umgreifende Sanierungen fanden in den 1965/66er-Jahren statt. Dabei wurden die alten Fassadenputze erneuert und neue Fenster eingebaut. Im Jahr 1982 wurde im Rahmen der „Modernisierung der Wohnungseinheiten“ der Zuschnitt der Wohnungen geändert und ihre Energieversorgung saniert.<sup>8</sup> Der Einbau neuer Fenster verbesserte außerdem den Schallschutz. In die Wohnungen wurden neue Sanitärbereiche eingebracht, die das Wohnniveau auf neue Standards anpassten. Ferner kann anhand der Bauakten und Rechnungen auf eine Sanierung der Dächer geschlossen werden.

## 2.3 Bestandsaufmaß und Planerstellung

Das Aufmaß der aktuellen Bestandssituation muss in einem nächsten Schritt durchgeführt werden. Dafür sollte ein Bauaufnahme-konzept, das immer abhängig vom vorliegenden Objekt zu sehen ist, entwickelt

<sup>8</sup> Quelle: Private Archivunterlagen des Bauvereins Regensburg e.V.



Abb. 7 Plato-Wild-Siedlung, historische Aufnahme, Fünfhäusergruppe (Quelle: Gemeinnütziger Bauverein Regensburg e.V.)



Abb. 8 Plato-Wild-Siedlung, historische Aufnahme, Fünfhäusergruppe Innenhof (Quelle: Gemeinnütziger Bauverein Regensburg e.V.)

werden, denn je nach Zielsetzung sind die Detaillierungsstufen der Bauaufnahme unterschiedlich zu wählen. Beim Bestandsaufmaß wird das Gebäude zeichnerisch erfasst und als zweidimensionaler Plan wiedergegeben. Dabei entstehen Grundrisse, Schnitte, Ansichten und auch Detailzeichnungen. Diese Methode dokumentiert den aktuellen Bestand und ist damit Grundlage für weitere Planungen.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, die Bestandsaufnahme durchzuführen. Hierbei muss man sich klar darüber werden, welchem Zweck diese dienen soll, um dann zu entscheiden, in welchem Detaillierungsgrad die Zeichnungen vorliegen müssen.

Zu unterscheiden sind vier Genauigkeitsstufen<sup>9</sup>:

- Genauigkeitsstufe I als schematisches Aufmaß im Maßstab 1:100. Es handelt sich um eine einfache Dokumentation des Gebäudetyps in

<sup>9</sup> Eckstein Günther: Empfehlungen für die Baudokumentation; Landesdenkmalamt Baden-Württemberg; Arbeitsheft 7.

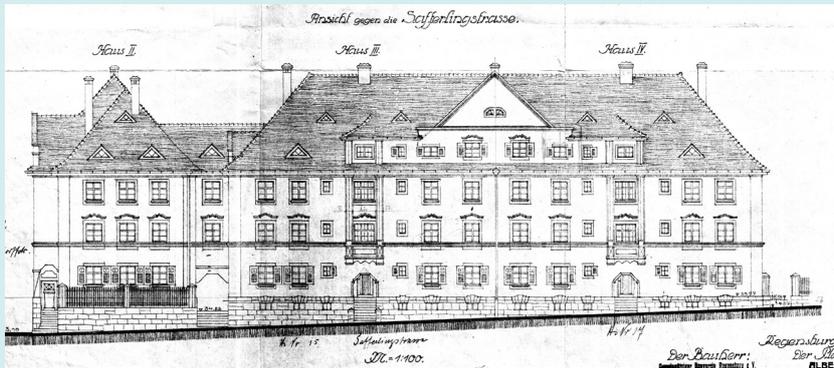


Abb. 9 Safferlingstraße 15, 17, NW, historischer Plan  
(Quelle: Gemeinnütziger Bauverein Regensburg e. V.)

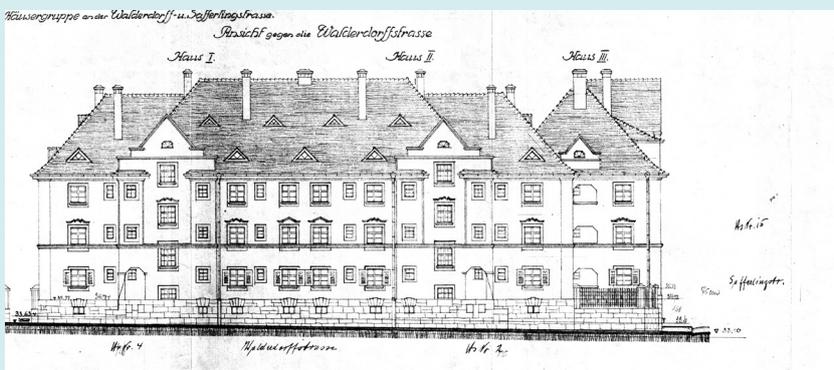


Abb. 10 Walderdorfstraße 2, 4, 4a, NO, historischer Plan  
(Quelle: Gemeinnütziger Bauverein Regensburg e. V.)

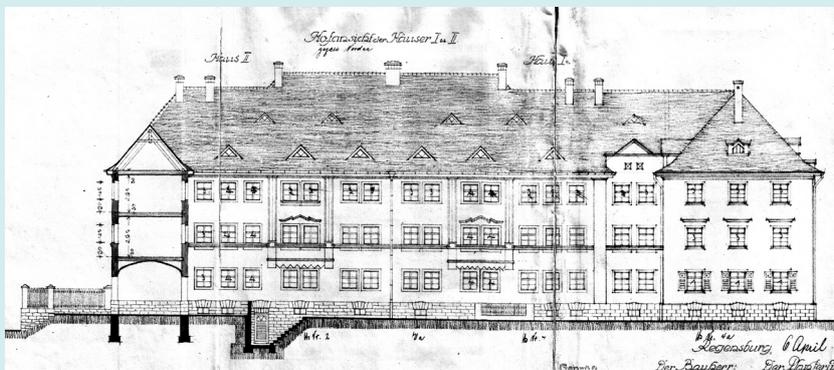


Abb. 11 Walderdorfstraße 2, 4, 4a, SW, historischer Plan  
(Quelle: Gemeinnütziger Bauverein Regensburg e. V.)

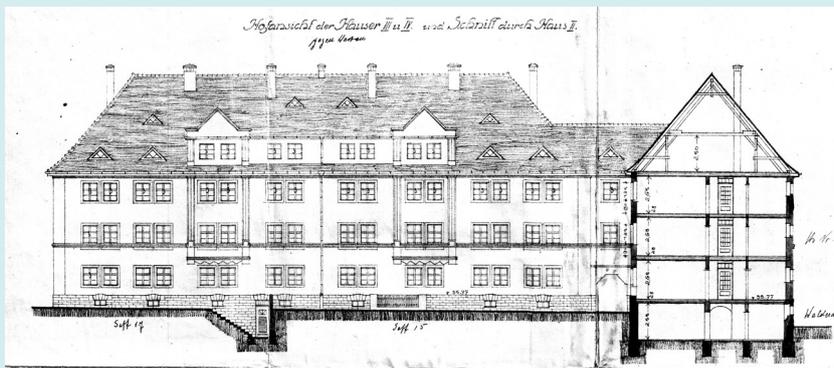


Abb. 12 Safferlingstraße 15, 17, SO, historischer Plan  
(Quelle: Gemeinnütziger Bauverein Regensburg e. V.)

Grundrissgliederung, Höhenentwicklung, Form und Außenerscheinung als Besprechungsgrundlage in der Vorplanung.

- Genauigkeitsstufe II als annähernd wirklichkeitsgetreues Aufmaß im Maßstab 1:50 oder 1:100. Dokumentiert wird das Gebäude mit richtig proportioniertem konstruktivem Aufbau und der Ablesbarkeit von Verformungen als Grundlage für einfache Sanierungen.
- Genauigkeitsstufe III als verformungsgetreues Aufmaß mit einer Darstellungsgenauigkeit von 2,5 cm. Es bezieht sich auf die wirklichkeitsgetreue Dokumentation für Restaurierungs- und Umbaumaßnahmen.
- Genauigkeitsstufe IV als verformungsgetreues Aufmaß mit einer Darstellungsgenauigkeit von unter 2 cm. Die verformungsgetreue Dokumentation dient wissenschaftlichen Forschungen wie auch schwierigen Umbaumaßnahmen.

### Beispiel: Bauaufmaß am Plato-Wild-Ensemble in Regensburg

Für das Bestandsaufmaß der Plato-Wild-Siedlung entschied man sich für die Genauigkeitsstufe II. Die Pläne für Fassaden, Grundrisse und Schnitte wurden für den Maßstab 1:50 aufgemessen. Zusätzlich zum händischen Aufmaß für Grundrisse, Schnitte (siehe Abb. 18 bis Abb. 27) und Details wurde für die Untersuchung der Fassaden (Abb. 20 bis Abb. 26) ein tachymetergestütztes System angewandt. Dieses ermöglichte es, die berührungslose Aufnahme auch in großen Höhen schnell und effektiv in eine computer-gestützte Zeichnung umzuwandeln.

## 2.4 Auswertung und Ergebnisse

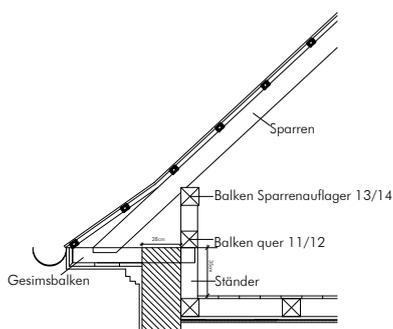


Abb. 13 Neumannstr. 18; Dachstuhldetail (Quelle: Zeitler)

Um eine Aussage zum Erhaltungszustand der untersuchten Siedlung geben zu können, müssen die vorliegenden Ergebnisse aus der Baudokumentation ausgewertet und dargelegt werden.

Für eine nachfolgende energetische Sanierung ist es wichtig, den Zustand und die architektonische Wertigkeit der Fassaden zu kennen. Nur mit diesem Wissen ist es möglich, ein entsprechendes Sanierungskonzept aufzustellen.

Des Weiteren geben die Grundrisse Aufschluss über den baulichen Zustand und ein Vergleich mit der historischen Substanz zeigt die Wohnqualität auf, die für das folgende Nutzungskonzept wichtig sein wird.

Im Folgenden zeigt nun ein Vergleich der Fassaden und Grundrisse aus dem aktuellen Aufmaß mit historischen Unterlagen, wie Plänen und Fotos, die Veränderungen.

### 2.4.1 Vergleich der Fassaden

Vergleicht man die Ansicht der historischen Pläne von 1926 mit der des heutigen, digitalen Aufmaßes sind folgende Unterschiede festzustellen: Zum einen sind bei Umbaumaßnahmen Kamine weggefallen, und auch Dachgauben wurden zu Dachflächenfenstern rückgebaut. Der untere Dachrand im Bereich der Traufe wurde mit einer Verblechung versehen. Auffallend ist auch, dass sich oberhalb der Eingangsbereiche die Gestalt der Gesimsausarbeitung geändert hat. Auf dem historischen Plan/Foto ist zu erkennen, dass auf die Konsolaufleger ein hochrechteckiger Sockel bis zum Festerbankgesims folgte, erst dann begannen die Pilaster. Heute beginnen die Pilaster direkt über dem Auflager, das dazwischen verlaufende Fensterbankgesims wurde abgeschlagen. Die Veränderung der Farbigkeit der Fassade, das Betonen der Vertikalität durch weiße Ecklisenen, der Einbau neuer Türen und Fenster führt zu einem heute veränderten Fassadenbild im Gegensatz zur ursprünglichen Gestaltung.

Die grundsätzliche Gliederung der NW-Fassade der Fünfhäusergruppe blieb weitgehend bestehen. Die gravierendsten Änderungen stellen die neue Farbgebung der Fassade sowie das Wegfallen der Dreiecksgauben dar.

Die ursprüngliche Farbfassung der Fassaden war in einem dunkleren Ton als die derzeitige gehalten. Der genaue Farbton des Anstriches ist jedoch aufgrund des alleinigen Vorhandenseins von Schwarz-Weiß-

Fotografien nicht mehr nachzuvollziehen. Gut zu erkennen ist jedoch die einheitlichere Farbgebung der ersten Fassung im Gegensatz zum aktuellen Erscheinungsbild der Fassade. Als Grund sind die Ecklisenen anzuführen, welche heute durch ihren weißen Anstrich sehr dominant wirken und der Fassade eine vertikale Ausrichtung geben. Der Gedanke der genossenschaftlichen Architektur der 1920er-Jahre wurde durch eine Betonung der Horizontalen und einer damit einhergehenden Zusammenbindung des ganzen Quartiers bestimmt. Dafür wurden die Ecklisenen im gleichen dunklen Ton wie die restliche Fassade gehalten. Nur vereinzelte vertikale Elemente, wie die Kolossalpilaster über den Eingängen, wurden farblich abgesetzt. Dieses Gestaltungsprinzip ging durch die heutige Farbfassung verloren.

## 2.4.2 Vergleich der Grundrisse

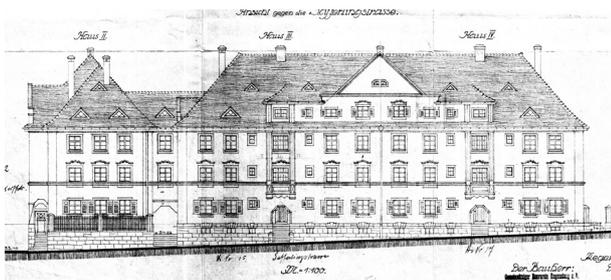


Abb. 14 Safferlingstraße 15, 17, historischer Plan (Quelle: Gemeinnütziger Bauverein Regensburg e. V.)

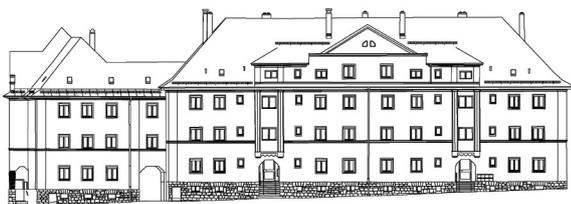


Abb. 15 Safferlingstraße 15, 17, Aufmaß (Quelle: Wittmann/Zeitler)



Abb. 16 Fünfhäusergruppe, historische Aufnahme (Quelle: Gemeinnütziger Bauverein Regensburg e. V.)

Ein weiterer wichtiger Punkt in der Dokumentation ist das Aufmaß einzelner, zugänglicher Grundrisse und deren Vergleich mit den historischen Bestandsplänen. Das Beispiel von Abb. 14 zeigt den aufgemessenen Grundriss zweier Wohnungen in der Walderdorffstraße 2 im Erdgeschoss. In der linken Wohnung kam es zum Umbau der Sanitärräume. Dabei wurde die ehemalige Speise vergrößert und zum Badezimmer umfunktioniert, der Raum der separaten Toilette wurde dem Individualraum zugerechnet. Diese Veränderungen sind auch im Bild der Fassade ablesbar, da das Fenster des ehemaligen Toilettenraumes vermauert wurde und jetzt als Blindfenster in der Fassade weiter besteht.

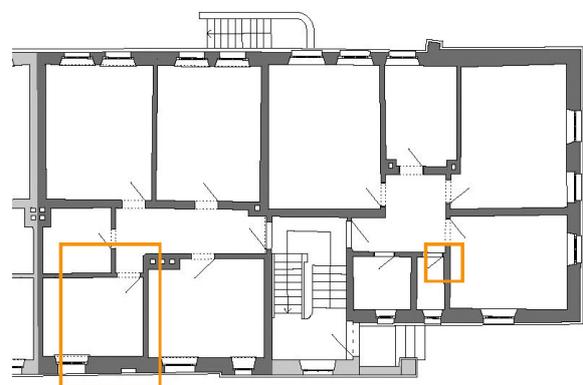
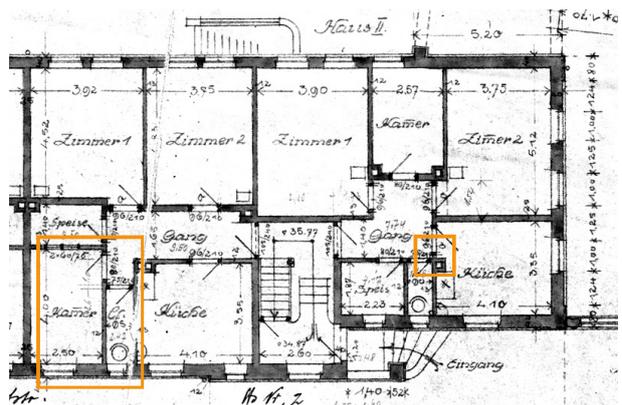


Abb. 17 Grundriss Walderdorffstraße 2, EG, Änderungen im Vergleich des historischen und aktuellen Grundrisses (Quelle: Gemeinnütziger Bauverein Regensburg e. V./Zeitler)

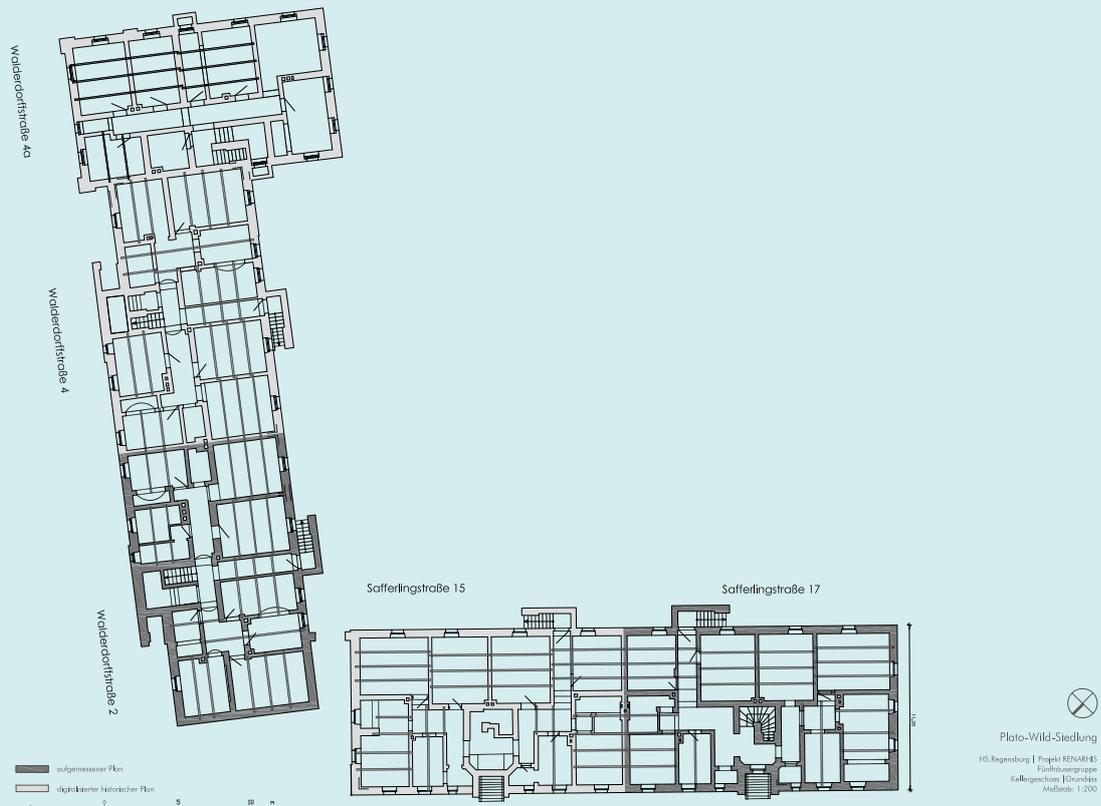


Abb. 18 Plato-Wild-Siedlung, Fünfhäusergruppe, KG, aktuelles Bestandsaufmaß (Quelle: Wittmann/Zeitler)

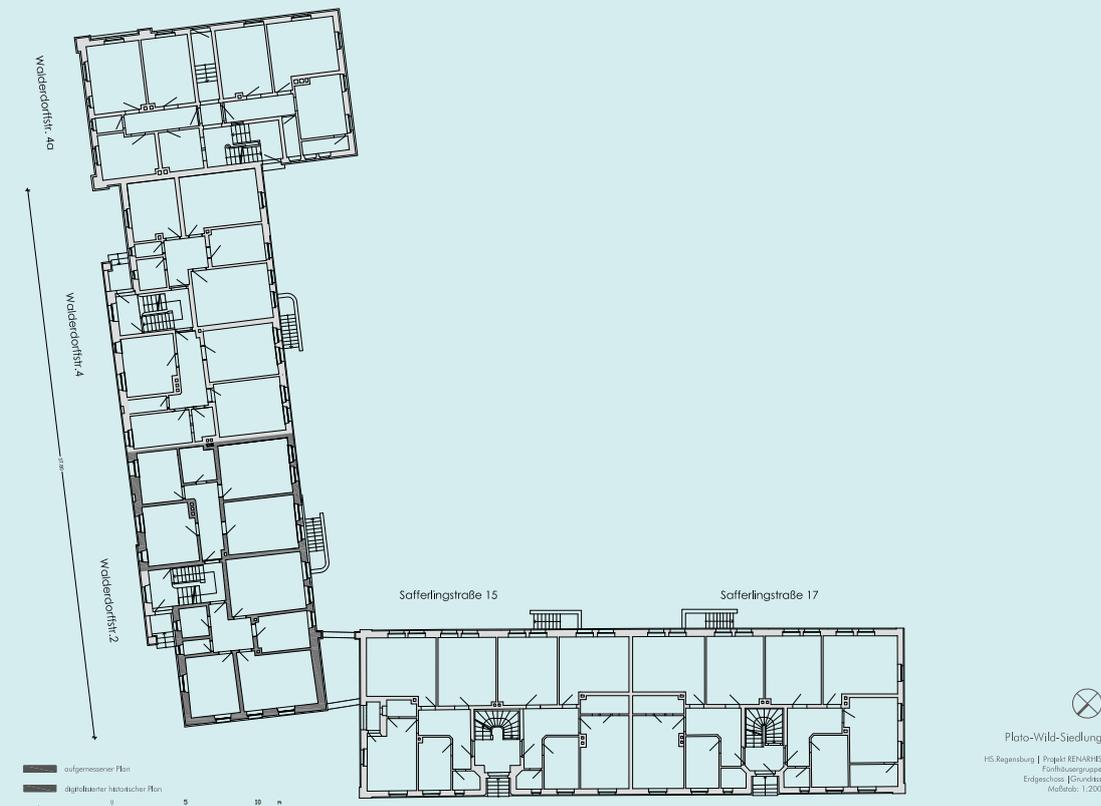


Abb. 19 Plato-Wild-Siedlung, Fünfhäusergruppe, EG, aktuelles Bestandsaufmaß (Quelle: Wittmann/Zeitler)



Abb. 20 Safferlingstraße 15, 17, NW, Aufmaß; (Quelle: Wittmann/Zeitler)

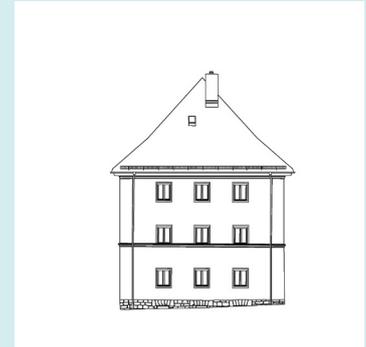


Abb. 21 Safferlingstraße 17, SW



Abb. 22 Walderdorffstraße 2, 4, 4a, NO, Aufmaß (Quelle: Wittmann/Zeitler)

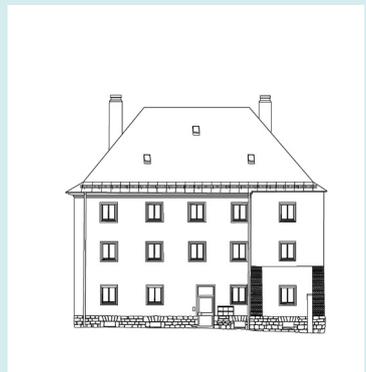


Abb. 23 Walderdorffstraße 4a, SO

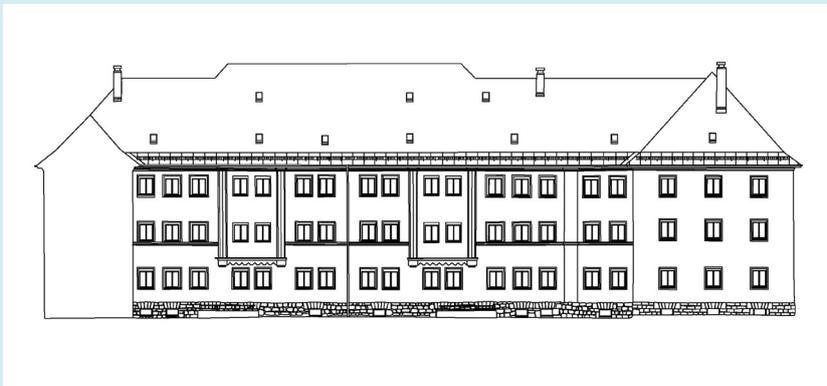


Abb. 24 Walderdorffstraße 2, 4, 4a, SW, Aufmaß (Quelle: Wittmann/Zeitler)

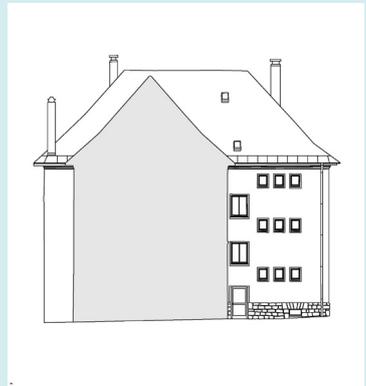


Abb. 25 Walderdorffstraße 4a, NW



Abb. 26 Safferlingstraße 15, 17, SO, Aufmaß (Quelle: Wittmann/Zeitler)

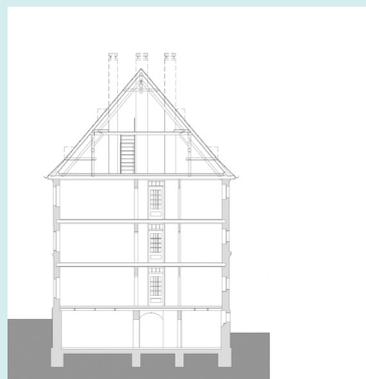


Abb. 27 Walderdorffstraße,  
Schemaschnitt  
(Quelle: Wittmann/ Zeitler)

### 3. Ausblick

Eine detaillierte Dokumentation und Erfassung der Bausubstanz eines bauhistorisch erhaltenswerten Ensembles wie die der Plato-Wild-Siedlung in Regensburg dient als Grundlage für weitere planerische Konzepte.

In vielen Einzelschritten werden alle bauhistorischen Facetten betrachtet, Details ausgearbeitet, Informationen über die Konstruktion der Dächer, Wand- und Bodenaufbauten gesammelt. Ferner können über das Aufmaß von Fassaden und Grundrissen Aussagen über den Erhaltungsgrad der Gebäude getroffen werden.

Eine Fotodokumentation und Baubeschreibung sind sowohl zur Beurteilung von Bauschäden als auch für die Einordnung einer bauhistorischen Wertigkeit notwendig. Die in der Baudokumentation erfassten Daten und Pläne gewähren einen fundierten Ausgangspunkt für eine nachfolgende Planung und geben auch Aufschluss auf vorangegangene, häufig nicht ausgeführte Planungsüberlegungen (siehe Abb. 28).

Die in der Baudokumentation gewonnenen Erkenntnisse werden in die nachfolgenden Kapitel als Grundlage einfließen.

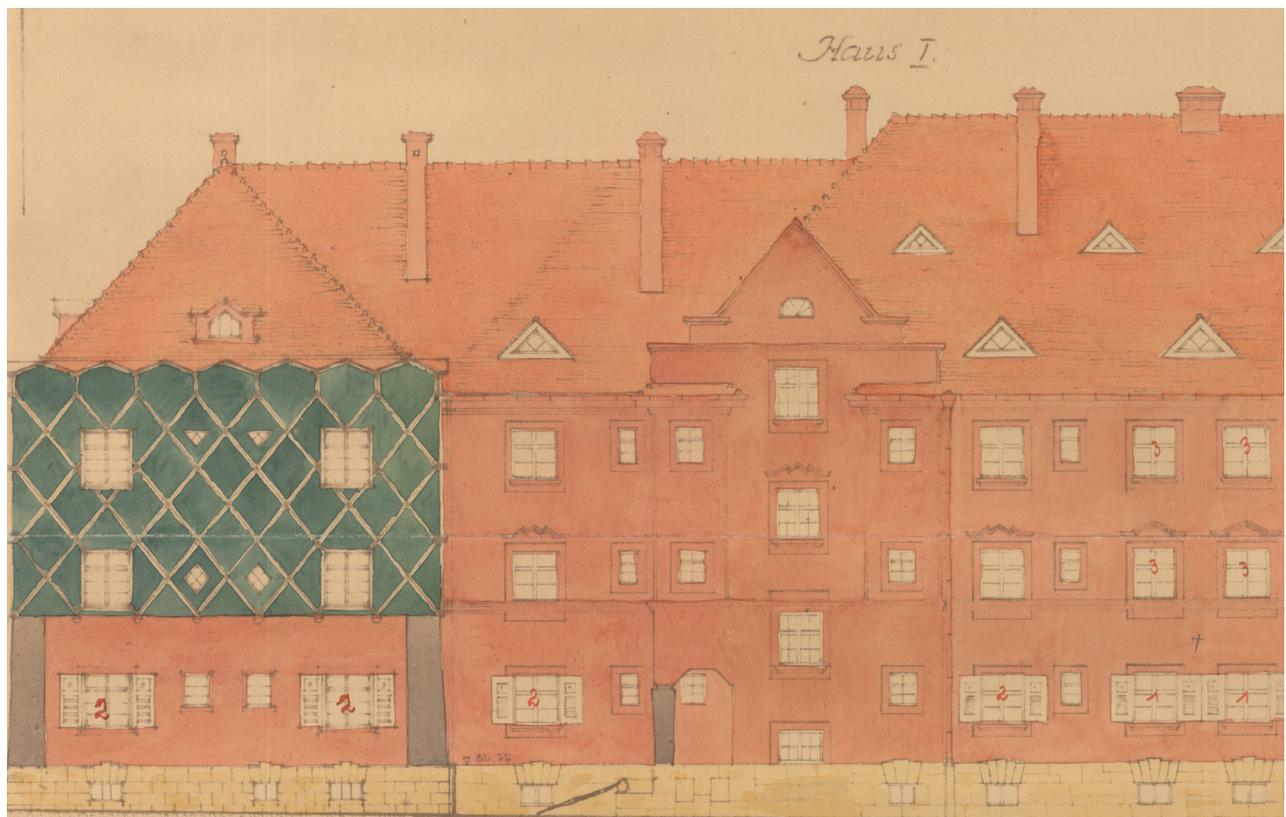


Abb. 28 Plato-Wild-Siedlung, Walderdorffstraße (Quelle: Gemeinnütziger Bauverein Regensburg e.V.)

1.	Zielsetzung und Grundlagen	38
2.	Städtebauliche Analyse	39
3.	Gebäudetypologie	40
3.1	Typologie der Gebäude	40
3.2	Die „Deutsche Gebäudetypologie“	40
4.	Konzeptstrategie und Maßnahmen	43
4.1	Grundrissgefüge	43
4.2	Nachverdichtung	43
4.3	Betrachtung der Fassaden	44
4.4	Freiflächen und Balkone	45
4.5	Ausblick	45



## Teil B Nutzungs- und Konservierungskonzept

# 1. Zielsetzung und Grundlagen

Bei der Planung einer energetischen Sanierung ganzer Gebäudekomplexe und Ensembles ist zunächst zu klären, welche Ziele in Hinblick auf eine weitere Nutzung und welche Konservierungsmaßnahmen der baulichen Substanz angestrebt werden sollen.

In einem detaillierten Nutzungs- und Konservierungskonzept können die Wünsche und Vorstellungen verschiedener Projektbeteiligter (z. B. Architekten, Stadtplaner etc.) eingebunden werden. In diesem Fall handelt es sich um die Planer, die Eigentümer und auch die Bewohner selbst. In Kapitel C wird in der Sozialstudie auf die Bewohnerwünsche näher eingegangen. Dieser integrative Ansatz wiederum bekräftigt die Notwendigkeit eines solchen Konzeptes, da aus der Zielsetzung heraus die baulichen Sanierungsmaßnahmen abgeleitet werden können.

Ein Nutzungs- und Konservierungskonzept kann daher als Empfehlung für eine behutsame und nachhaltige Sanierung mit einhergehender Verbesserung der Wohnqualität angesehen werden.

Im Folgenden soll am Beispiel der Plato-Wild-Siedlung in Regensburg eine mögliche Konzeptstrategie aufgezeigt werden.

Für viele Ensembles der Zwischenkriegszeit ist es unter Umständen wichtig, über neue Nutzungs- und Konservierungsmöglichkeiten nachzudenken. Veränderungen in der Art des Zusammenlebens, der große

Bedarf an studentischen Wohnungen und auch das Zusammenleben verschiedener Generationen verlangen häufig nach neuen Nutzungsmöglichkeiten. Nicht nur die häufig herausragenden bauhistorischen Werte solcher Siedlungen, sondern auch die neuen Bedeutungen im Zusammenleben geben Anlass zu Überlegungen neuer Nutzungs- und Konservierungskonzepte.

Bei der Sanierung eines Ensembles mit reiner Wohnnutzung, wie der Plato-Wild-Siedlung in Regensburg, können mögliche Ziele sein:

- Erhalt der baulichen Substanz mit gleichzeitiger energetischer Verbesserung
- Erhöhung der Lebensqualität für die Bewohner, unter anderem durch Schaffung von Freiflächen
- Gleichbleibend günstige Mieten
- Durchmischung der Bewohnerstruktur
- Nachverdichtung

Als Basis für die Erstellung einer Konzeptstrategie muss eine eingehende Grundlagenermittlung vorausgehen, die eine ausführliche Baudokumentation, eine Standortanalyse mit städtebaulicher Lage und Gebäudetypologie umfasst.



Abb. 29 Innenhof mit Spielplatzanlage und Rasenfläche der Plato-Wild-Siedlung in Regensburg (Foto: Zeitler)

## 2. Städtebauliche Analyse

### Städtebauliche Situation

Die städtebauliche Analyse unterstützt das Verständnis für die räumliche Zusammensetzung und Gestaltung eines zu untersuchenden Stadtviertels. Sie beschreibt sowohl ihren strukturellen Aufbau, die Lage in der Stadt/ Gemeinde als auch ihre zugehörige Infrastruktur.

Dieses Kapitel klärt die Frage, inwieweit die städtebauliche Gliederung Freiflächen, öffentliche Bauten oder kulturelle Einrichtungen in diesem Bereich zugelassen hat. Nichtsdestotrotz sollten neben dem offenkundigen Ordnungsgefüge des Viertels auch gegebene sozialräumliche Aspekte, wie z. B. die Bewohnerstruktur, in die Analyse einfließen. Diese Punkte werden in Kapitel C, der Sozialstudie, erörtert.

### Beispiel: Städtebauliche Situation am Modell der Plato-Wild-Siedlung in Regensburg:

Das Ensemble liegt südlich der Plato-Wild-Straße, zwischen den Bahnlinien und der Landshuterstraße, im Stadtosten von Regensburg. Weitere angrenzende Straßen sind die Safferlingstraße im Westen, die Walderdorffstraße im Norden und die Neumannstraße im Osten.

In nächster Nähe gliedert sich südlich an das Ensemble der Ostpark als grüner Freiraum an. Neben wenigen

gewerblich genutzten Flächen zeigt sich das Gebiet um die Plato-Wild-Siedlung als ein stark vom Wohnungsbau geprägtes Stadtviertel. Öffentliche Bauten, wie die Berufsoberschule sind erst weiter südlich an der Landshuterstraße vorzufinden.

Das Ensemble selbst ist als Blockrandbebauung um grüne Innenhöfe angelegt. Diese halböffentlichen Zonen werden als gemeinschaftlicher Treffpunkt genutzt und bieten ein hohes Identifikationspotenzial mit der Siedlung.

Darüber hinaus zeigt sich die Stadt Regensburg mit ihren zwei Hochschulstandorten, der Universität Regensburg und der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg als wachsende Studentenstadt. Durch den Zuzug vieler Studierender steigt auch der Bedarf an bezahlbarem Wohnraum.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Statistisches Bundesamt; Pressemitteilung vom 26.11.2014–419/14; [https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2014/11/PD14\\_419\\_213.html](https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2014/11/PD14_419_213.html) [Stand: 09.12.2014]

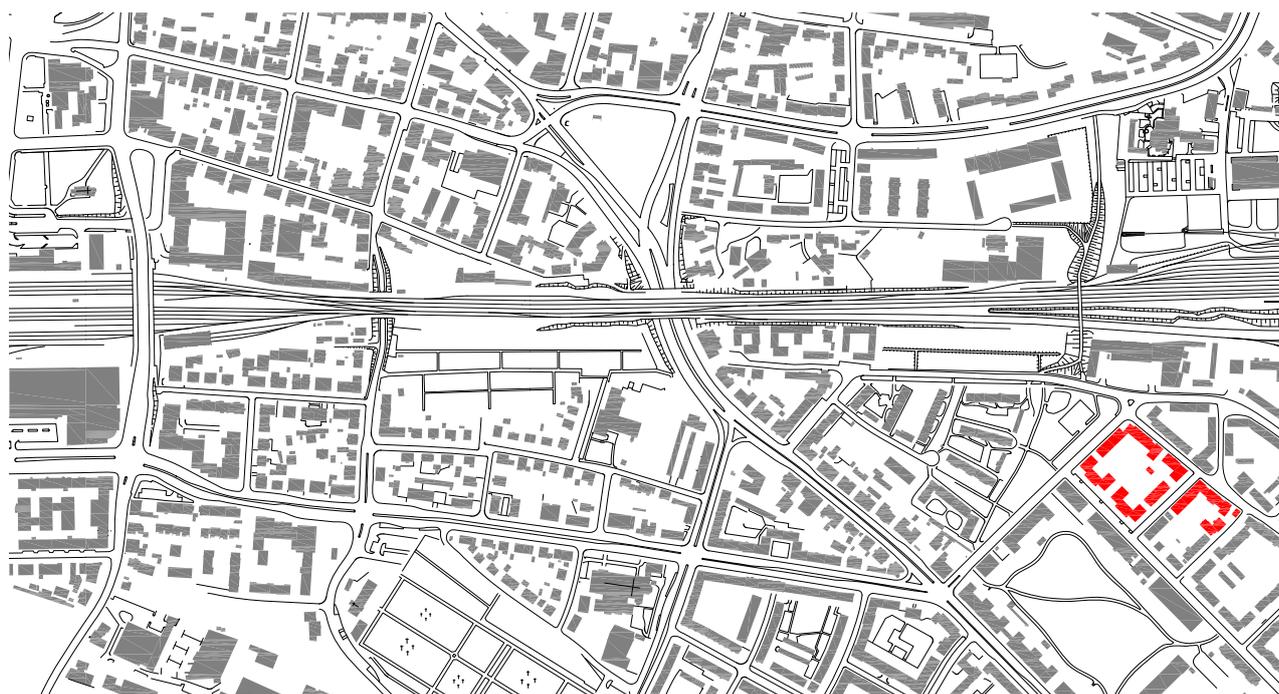


Abb. 30 Lageplan Stadt Regensburg mit Plato-Wild-Siedlung, ohne Maßstab (Quelle: CityView Regensburg 2011/Zeitler)

# 3. Gebäudetypologie

## 3.1 Typologie der Gebäude

Die Bautypologie zeigt die Charakteristika der Gebäude auf und ist als weitere Grundlage für eine spätere Nutzung zu sehen.

Zu unterscheiden ist dabei die Grobeinordnung und Klassifizierung nach Bautyp und Baualter, wie es das Institut für Wohnen und Umwelt vorgibt. Dies dient hauptsächlich dazu, eine statistische Aussage zur baulichen Situation und dessen Energiebedarf zu treffen und in Wohnungstypen und Raumanordnungen innerhalb eines Gebäudes zu untergliedern. Eine solche Einteilung mittels eines sogenannten Wohnungsschlüssels hat zum Ziel, eine Aussage zur Wohnqualität zu treffen.

## 3.2 Die „Deutsche Gebäudetypologie“<sup>2</sup>

Das Institut für Wohnen und Umwelt (IWU) kategorisiert den deutschen Gebäudebestand nach bestimmten Kriterien, wie Gebäudetypus und Baualterklassen.

Durch diese Einordnung können für die Bundesrepublik Deutschland statistische Aussagen über den Gebäudebestand gegeben werden.

Denn Gebäude des gleichen Typs und Baualters weisen häufig ähnliche bautechnische Details auf. Die Art der Konstruktion, die verwendeten Materialien, und auch die Geometrie der Gebäude sind aus sozio-ökonomischen Gesichtspunkten vergleichbar anzusetzen.

Dieses Wissen erleichtert in vielen Fällen die Planung einer anstehenden Sanierung, da schon auf bestehende Parameter zurückgegriffen werden kann. Des Weiteren kann durch diese Gebäudetypologie der Gebäudebestand energetisch eingeordnet werden.

Die Gebäude werden zum einen in Gebäudetypen wie Einfamilienhaus (EFH), Reihenhaus (RH), Mehrfamilienhaus (MFH) und großes Mehrfamilienhaus (GMH) unterschieden, zum anderen werden die Gebäude in Baualterklassen von A bis J eingeteilt.

Betrachtet man dabei die Plato-Wild-Siedlung in Regensburg, ist diese in die Baualterklasse C (1919–1948) und den Gebäudetyp MFH einzuordnen.

### Der „Wohnungsschlüssel“

Die Typologie der Gebäude umfasst hier weiterhin aber auch die Art und Anordnung von Wohnungen in einem Gebäude wie auch die Art und Anordnung der Räume in einer Wohnung.

Die Aufstellung einer solchen typologischen Übersicht ist hilfreich, um ein Verständnis über die Größe und Anlage einzelner Wohnungen, und über deren Lage im gesamten Ensemble zu bekommen.

Mit der Erstellung eines sogenannten „Wohnungsschlüssels“ werden durch den Vergleich die Wohnungsgrößen, die Anzahl und Ausrichtung der Räume zusammenfassend deutlich. Und damit kann eine erste Aussage über die Qualität der Räumlichkeiten gegeben werden, die für eine weitere Nutzung und auch Sanierung ausschlaggebend ist.

Bei der Erstellung eines Wohnungsschlüssels müssen unter anderem folgende Kriterien betrachtet werden:

- Das Ensemble/der Häuserblock
- Die Anzahl der Wohnungen im Baublock
- Die genaue Lage der Wohnung (KG/EG/OG/DG)
- Die Netto-Geschoss-Fläche jeder Wohnung (NGF)
- Die Anzahl der Individualräume (Wohnzimmer/Schlafzimmer/Kinderzimmer/Arbeitszimmer etc.)
- Die Ausrichtung der Wohnung nach Himmelsrichtung

<sup>2</sup> Institut Wohnen und Umwelt (IWU): Deutsche Gebäudetypologie – Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, Darmstadt 2011, URL: [http://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE\\_TABULA\\_TypologyBrochure\\_IWU.pdf](http://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf) [Stand: 09.12.2014].

## Beispiel: Gebäudetypologie und „Wohnungsschlüssel“ am Modell der Plato-Wild-Siedlung

Am Beispiel der Walderdorffstraße 2 wird die Typologie der Wohnungen verdeutlicht. Exemplarisch wird hier die Struktur der Grundrisse verständlich.

Das Gebäude der Walderdorffstraße 2 weist auf drei Etagen insgesamt sechs Wohneinheiten auf. Die als Zweispänner angelegten Häuser werden über einen punktförmigen Treppenhaukern erschlossen, bei dem die Hauseingänge der Straße zugewandt liegen.

Die Gesamtfläche der Wohnungen beträgt zwischen 73 und 78 m<sup>2</sup>. Die Individualräume sind hauptsächlich zum Innenhof ausgerichtet. Die Nutzräume und Erschließungszonen sind zur Straße orientiert. Die Raumgrößen entsprechen heutigen Standards, genau wie die Raumhöhen, die bei ca. 2,66 m liegen.

Der entstandene „Wohnungsschlüssel“ (vgl. Tab. 1) beinhaltet weitere Informationen sowohl zur Raumaufteilung und Wohnungsausrichtung als auch zur Personenanzahl selbst.

Wohnungsschlüssel Fünfhäusergruppe (1926)

Walderdorffstr. 2 (6 Wohnungen)				
TYP	NOF	Individual-räume	Personen-zahl	Ausrichtung
Whg EG links	73,43 m <sup>2</sup>	3	3	NO-SW
Whg EG rechts	74,54 m <sup>2</sup>	3	4	NO-SW
Whg 1. OG links	74,29 m <sup>2</sup>	3	2	NO-SW
Whg 1. OG rechts	89,98 m <sup>2</sup>	4	4	NO-SW
Whg 2. OG links	74,47 m <sup>2</sup>	3	2	NO-SW
Whg 2. OG rechts	89,98 m <sup>2</sup>	4	2	NO-SW
Dachraum	ca. 9,7 m <sup>2</sup>	-	-	-

Walderdorffstr. 4a (6 Wohnungen)				
TYP	NOF	Individual-räume	Personen-zahl	Ausrichtung
Whg EG links	58,34 m <sup>2</sup>	2	1	-
Whg EG rechts	59,29 m <sup>2</sup>	3	1	-
Whg 1. OG links	67,04 m <sup>2</sup>	2	3	-
Whg 1. OG rechts	58,13 m <sup>2</sup>	3	2	-
Whg 2. OG links	67,04 m <sup>2</sup>	2	1	-
Whg 2. OG rechts	58,13 m <sup>2</sup>	3	3	-
Dachraum	ca. 8,0 m <sup>2</sup>	-	-	-

Sattleringstraße 15 (7 Wohnungen)				
TYP	NOF	Individual-räume	Personen-zahl	Ausrichtung
Whg EG links	76,88 m <sup>2</sup>	3	2	NW-SO
Whg EG rechts	78,55 m <sup>2</sup>	3	1	NW-SO
Whg 1. OG links	75,74 m <sup>2</sup>	3	3	NW-SO
Whg 1. OG rechts	76,01 m <sup>2</sup>	3	2	NW-SO
Whg 2. OG links	75,74 m <sup>2</sup>	3	1	NW-SO
Whg 2. OG rechts	76,01 m <sup>2</sup>	3	3	NW-SO
Whg DG rechts	77,09 m <sup>2</sup>	2	2	NW-SO
Dachraum	ca. 5,1 m <sup>2</sup>	-	-	-

Tab. 1 „Wohnungsschlüssel“ der Fünfhäusergruppe in der Plato-Wild-Siedlung (Quelle: Zeitler)



Abb. 31 Wohnungstypologie der Fünfhäusergruppe für die Walderdorffstraße 2, Aufteilung der Wohnungen in Individual- und Nutzräume



Abb. 32 Wohnungstypologie der Fünfhäusergruppe, Übersicht EG mit Einteilung in Wohnungen und Erschließungszonen (Quelle: Zeitler)

## 4. Konzeptstrategie und Maßnahmen

Auf Basis der vorangegangenen Grundlagenermittlung, der Standortanalyse und Gebäudetypologie kann nun eine Konzeptstrategie für das Plato-Wild-Areal in Regensburg formuliert werden:

Ziel dieses neuen Nutzungs- und Sanierungskonzeptes ist es, eine heterogene Wohnstruktur mit gleichbleibend günstigen Mieten zu schaffen. Das Ensemble soll ansprechend für Studierende wie auch für Ein-Personen- und Familien-Haushalte werden. Demzufolge müssen Angaben zum Umgang mit der historischen Bausubstanz getroffen werden, die als Vorgaben sowohl für die Konservierung des Ensembles selbst als auch für eine Neunutzung nach der Sanierung angesehen werden können. Diese Vorgaben beinhalten dreierlei Aspekte: Aussagen über das Grundrissgefüge, über die Betrachtung der Fassaden und über das Aufstellen erster allgemeiner Richtlinien für ein energetisches Modernisierungskonzept.

Außerdem werden die Nutzung der Freiflächen und das Anbringen von Balkonen im gleichen Maße bewertet wie die Vorgaben zur Nachverdichtung des Viertels. Aufgrund dessen wird im Folgenden auf die für das Nutzungs- und Konservierungskonzept der Plato-Wild-Siedlung in Regensburg wichtigen Punkte eingegangen.

### 4.1 Grundrissgefüge

Um die Siedlung attraktiver zu gestalten, muss das Grundrissgefüge heutigem Wohnniveau entsprechen. Wie die Untersuchungen zur Wohnungstypologie am Beispiel der Fünfhäusergruppe ergaben, sind diese, bis auf wenige Ausnahmen, gut gestaltet und in den letzten Jahrzehnten inklusive des Sanitärbereichs auf den heutigen Wohnstandard gebracht worden. Es ist aber vorstellbar, einige wenige Wohnungen in ihrem Grundriss zu verändern, um diese für die unterschiedlichen Anforderungen einer gemischten Wohnsituation anbieten zu können (siehe Abb. 32 und Abb. 33). Die Untersuchungen der Bestandsgrundrisse und auch Dachgeschosse ergaben, dass ehemalige Kaminschächte zur Leitungsführung für moderne Haustechnik genutzt werden können.

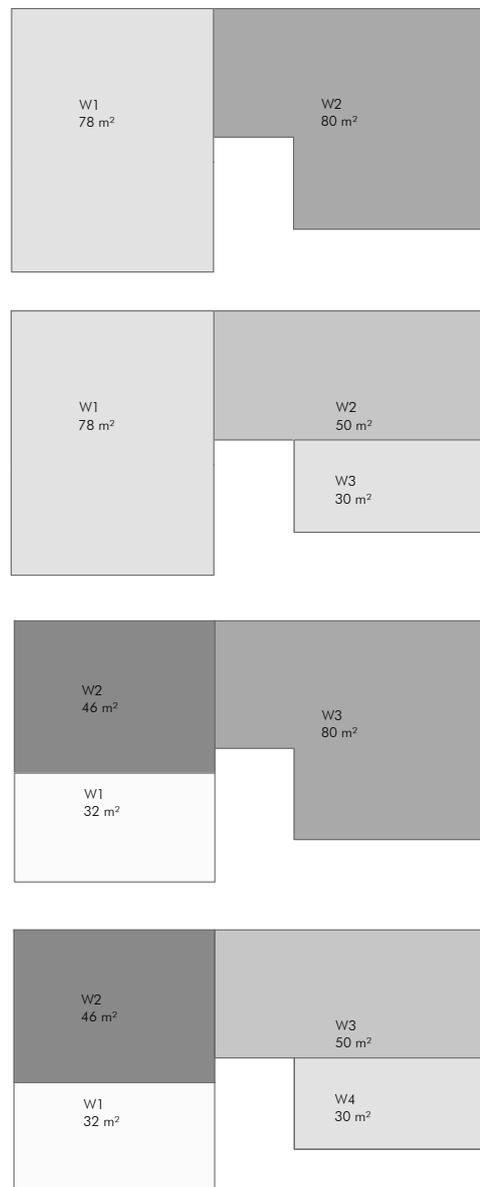


Abb. 33 Nutzungsvariante A, B, C, D (Quelle: Zeitler)

### 4.2 Nachverdichtung

Die Nachverdichtung innerhalb des Quartiers stellt einen weiteren wichtigen Punkt des Nutzungs- und Konservierungskonzeptes dar. Durch den Ausbau festgelegter Dachgeschossbereiche kann mehr Wohnraum geschaffen werden, ohne die städtebauliche Struktur des Ensembles zu stören. Da das Erscheinungsbild des Ensembles straßenseitig gewahrt und durch keine baulichen Veränderungen gestört werden soll, dürfen nur die zum Innenhof gewandten Dachflächen verändert werden. Abb. 34 zeigt, dass dabei die südlichen Dachflächen der Fünfhäusergruppe und

auch die des Doppelseckhauses zur Energiegewinnung mittels Fotovoltaik- oder Solarthermiekollektoren genutzt werden sollen. Die zum Innenhof orientierten Dachflächen der Neumannstraße 16 und 18 und der Dreihäusergruppen in der Plato-Wild-Straße sind für einen möglichen Dachausbau als ausgeschriebene Bereiche zu bedenken.

Für die Planung neuer Wohneinheiten in den Dachgeschossbereichen muss die Belichtungssituation geklärt werden. Die Idee, die ehemaligen Dachgauben nach historischem Charakter zu rekonstruieren und diese gleichzeitig als Belichtungsquelle der neuen Wohneinheiten einzubringen, kann in diesem Maße nicht weiterverfolgt werden.

Der anzubringende Grund ist die zu gering zu erwartende Belichtungsfläche. Die Berechnung der ursprünglichen Belichtungsfläche anhand der historischen Gauben am Beispiel des Dachgeschosses Walderdorffstraße 2 ergibt eine Gesamtfensterfläche von  $2,1\text{m}^2$ . Bei einer Nutzfläche von ca.  $96\text{m}^2$  des Dachgeschosses und der Vorgabe, dass mindestens ein Achtel der Nutzfläche zur Belichtung vorgesehen ist, ergibt sich eine geforderte Fläche von ca.  $12\text{m}^2$ .

Dementsprechend werden ca.  $9,9\text{m}^2$  zusätzliche Belichtungsfläche benötigt. Somit kann der Wiederaufbau der Gauben alleine die Belichtungsproblematik in den Dachgeschossen nicht lösen und wird dadurch überflüssig. In den architektonischen Modernisierungskonzepten sollen Vorschläge zur Belichtung der Dachräume diskutiert werden.

### 4.3 Betrachtung der Fassaden

Wie im Vergleich des Aufmaßes der Fassaden mit dem historischen Bestand belegt werden konnte, gilt der bauhistorische Wert der heutigen Fassadengestaltung als sehr hoch. Die Ausführung der Fassaden des Ensembles zeigt ein typisches Beispiel für die 1920er-Jahre-Architektur in Regensburg und ist somit erhaltenswert. Für das energetische Sanierungskonzept hat dies zur Folge, dass keine Außendämmung an die Fassade angebracht werden darf. Die Sockelzone muss erhalten bleiben, da diese als konstant umlaufendes Element den kompletten Baublock I und II umgibt und das Ensemble folglich architektonisch fasst. Diesbezüglich müssen die Schadstellen, die durch

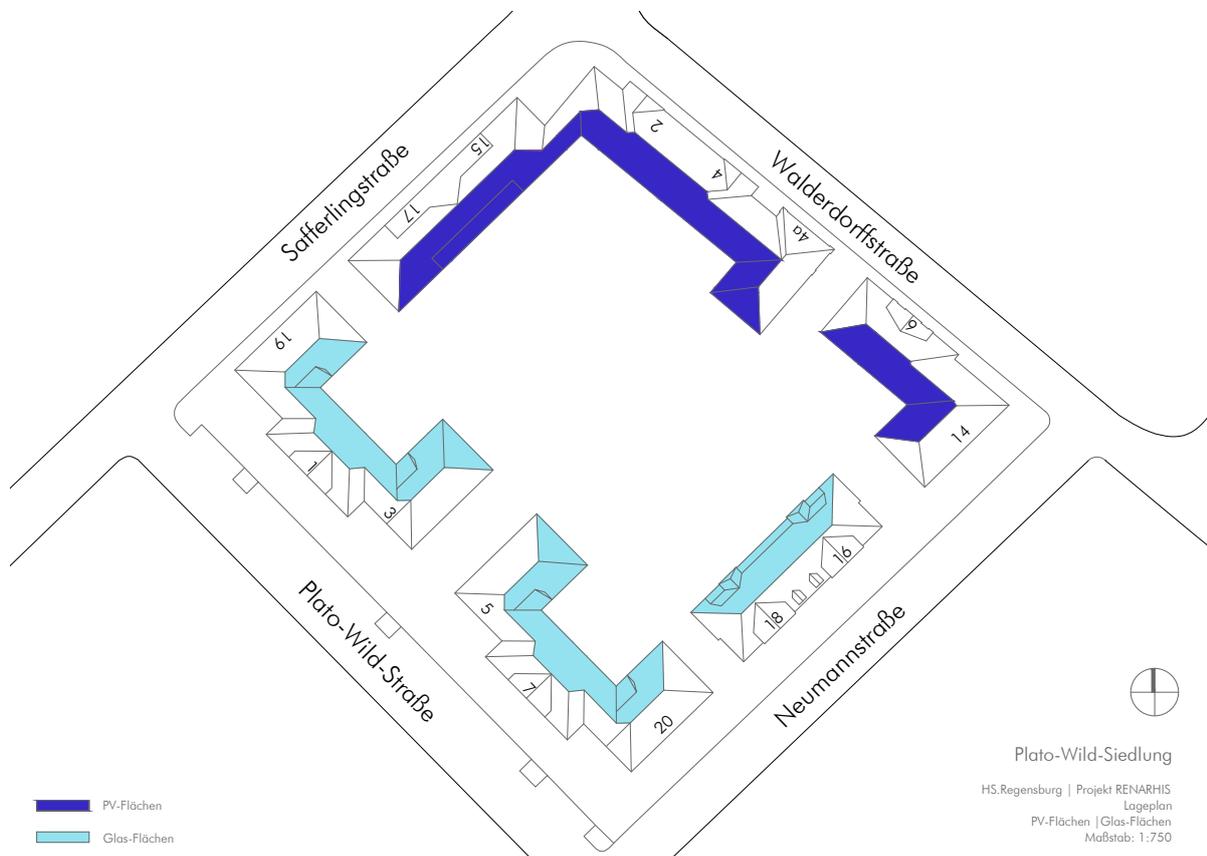


Abb. 34 Ausgewählte Dachbereiche für energetische Nutzung (Quelle: Wittmann/Zeitler)

Feuchteeinwirkung entstanden sind, trockengelegt und saniert werden. Für die übrige Fassadengestaltung gilt Ähnliches. Im Vergleich von historischen Bildern und Plänen mit aktuellen Fotos und Aufmaßen stellten sich die Veränderungen im Bild der Fassade als marginal dar. Nichtsdestotrotz sollen diese Elemente weitestgehend wiederhergestellt werden. In einigen Bereichen müssen Gesimse ausgebessert und rekonstruiert werden. Die Bestandsfenster werden in Anlehnung an die historischen Pläne und Fotos durch zweiflügelige Sprossenfenster mit Dreifachverglasung und Fensterläden in den Erdgeschossbereichen ersetzt. Auch können die Fensterfaschen auf ihre ursprüngliche Breite zurückgeführt werden.

#### 4.4 Freiflächen und Balkone

Da der historische Charakter des Plato-Wild-Ensembles nicht gestört werden soll, würde das Anbringen neuer Balkone das Fassadenbild nachhaltig beeinträchtigen. Es wird aber angedacht, die Grünfläche im inneren Bereich des Ensembles zum Teil als Freifläche zur gemeinschaftlichen oder individuellen Nutzung umzugestalten (Abb. 36). Auch wäre es denkbar im Innenhof einen Neubau mit zwei Nutzungsinhalten zu gestalten. Die Idee einer „Quartiers- und Energiezentrale“ spiegelt einen Ort wider, der gleichzeitig als sozialer Treffpunkt und als Speichergebäude der Energieerzeugung dienen kann. Zu diesem Thema werden in Kapitel E „Architektonische Modernisierung“ verschiedene Entwurfsbeispiele gezeigt, die die Möglichkeiten einer neuen Quartierszentrale aufzeigen.

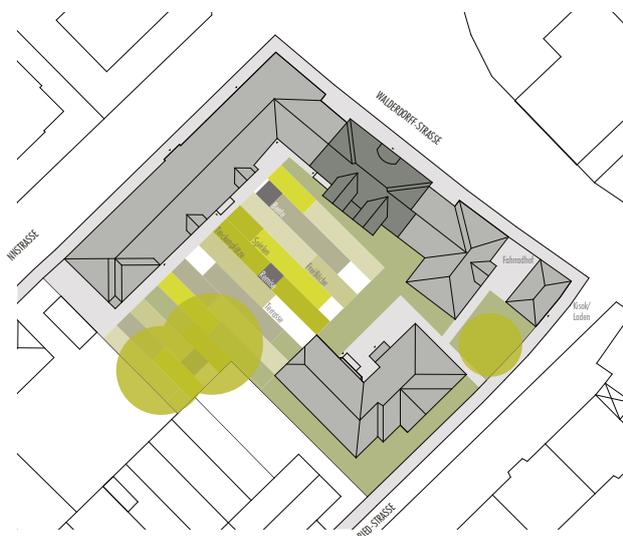


Abb. 35 Beispiel für die Umnutzung des Innenhofes (Quelle: Hoffmann, Meier, Queck, Smettan [2014], Bauen im Bestand, Studienarbeit)

#### 4.5 Ausblick

Mit der Planung eines Sanierungsvorhabens von Gebäudeensembles wird häufig die Notwendigkeit eines Nutzungs- und Konservierungskonzeptes augenscheinlich.

Denn die Nutzung bzw. Weiternutzung gewährt die Erhaltung von Gebäuden. Neue Nutzungen und Sanierungsvorhaben müssen an das Gebäude und seine Struktur angepasst sein und sollten die bautechnischen Charakteristika wie Konstruktion, Fassadengestalt etc. nicht zerstören.

Die detaillierte Auseinandersetzung mit der Gebäudestruktur gewährt einen fundierten Ausgangspunkt für nachfolgende Entwicklungsvorschläge im energetischen Sanierungsbereich.

Bei Beachtung der im Nutzungs- und Konservierungskonzept vorgelegten Empfehlungen kann eine behutsame Sanierung mit einhergehender Verbesserung der Wohnqualität in historischen Gebäuden gesichert werden.

Die vorgestellten Ansätze werden in den nachfolgenden Kapiteln Anwendung finden.



Abb. 36 Plato-Wild-Siedlung Regensburg (Foto: Zeitler)

1.	Soziale Aspekte der energetischen Wohnquartiersanierung	48
1.1	Einleitung	48
1.2	Gentrification, energetische Gebäudesanierung und Energiekosten	48
1.3	Planung energetischer Gebäudesanierung und Akzeptanzstudien	49
2.	Geschichte des Kasernenviertels als Wohnquartier	52
2.1	Beginn des 20. Jahrhunderts	52
2.2	Weimarer Republik	52
2.3	Die Zeit des Nationalsozialismus	52
2.4	Nachkriegsjahre	53
2.5	1960er- und 1970er-Jahre	53
2.6	Jüngere Vergangenheit	53
3.	Sozialstruktur des Stadtviertels heute	54
3.1	Das Kasernenviertel und die Blockgruppe Safferlingstraße	54
3.2	Altersverteilung	54
3.3	Migrationshintergrund	55
3.4	Familienstand und Religionsgemeinschaften	56
3.5	Einkommenssituation	56
3.6	Arbeitsmarkt	56
3.7	Soziale Sicherung	57
3.8	Wohnen	57
3.9	Schulbildung	58
3.10	Kulturelle Teilhabe	58
3.11	Clusteranalysen	58
4.	Befragung zur Akzeptanz geplanter Sanierungsmaßnahmen	59
4.1	Befragungsmethode und Inhalte der Befragung	59
4.2	Die befragten Bewohner/-innen	60
4.3	Die Wohnung	61
4.4	Soziale Kontakte und soziale Integration	64
4.5	Sanierungsmaßnahmen	65
5.	Zusammenfassung und Empfehlungen	72



Teil C  
Sozialstudie

# 1. Soziale Aspekte der energetischen Wohnquartiersanierung

## 1.1 Einleitung

Die vorliegende sozialwissenschaftliche Studie wurde als Ergänzung und Hintergrundinformation zu den technischen und bauhistorischen Untersuchungen durchgeführt. Die Fragestellung bezog sich exemplarisch auf die Wohnverhältnisse im ausgewählten Modellprojekt im Regensburger Osten. Dabei sollten die Bedingungen für eine nachhaltige Verbesserung der Lebensqualität bei einem den ausgewählten Bauten zugrundeliegenden Genossenschaftsprinzip erforscht werden. Hierbei sollte vor dem Hintergrund des demografischen Wandels (z.B. Zunahme der älteren Bevölkerung, Zunahme kleiner Haushalte, Zunahme der Bevölkerung mit Migrationshintergrund) die Einwohnerstruktur untersucht werden. Insbesondere war von Interesse, inwieweit die Bewohnerschaft im historischen Wohnensemble von Menschen unterschiedlicher Herkunft und von älteren, einkommensschwachen Personen geprägt ist. Ein Kernelement der Sozialstudie sollte eine Befragung zur Akzeptanz von Baumaßnahmen durch die Bewohnerinnen und Bewohner sein. Anhand des Fallbeispiels soll die Methodik einer Akzeptanzbefragung im Planungsstadium einer energetischen Gebäudesanierung veranschaulicht werden. Die Einbeziehung dieser sozio-strukturellen und subjektiven Faktoren soll darauf abzielen, soziale Nachhaltigkeit in Form eines stabilen ökonomischen, ökologischen und sozialen Gleichgewichts zu erreichen und die sozialräumliche Integration zu fördern.

Das Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST) an der Fakultät Angewandte Sozialwissenschaften der Ostbayerischen Technischen Hochschule (OTH) führte die Sozialstudie im Rahmen des Projekts „Erweiterungsprogramm Nachhaltige Modernisierung Historischer Stadtquartiere (NaMoHis 2)“ durch. Die Sozialstudie umfasst mehrere Elemente:

Nach einer theoretischen und allgemeinen Einleitung erfolgt eine Einordnung der historischen Entstehung des Wohnviertels und des Gemeinnützigen Bauvereins im Sinne einer Darstellung der Stadtteilgeschichte. Die Untersuchung beinhaltet eine statistische Analyse der Sozialstruktur des Stadtviertels und eine Bewohnerbefragung.

## 1.2 Gentrification, energetische Gebäudesanierung und Energiekosten

Der Prozess der Gentrifizierung bzw. Gentrification<sup>1</sup> hängt mit der Sanierung innerstädtischer Wohngebiete seit den 1970er-Jahren zusammen. Hierunter sind die Erhaltung und Sanierung der Gebäudesubstanz sowie deren Folgen für die Bewohnerschaft zu verstehen. Gentrification wird häufig mit „Luxussanierung“ gleichgesetzt, die zu erheblich höheren Mieten und somit zu einer Verringerung des Anteils einkommensschwacher Bevölkerungsgruppen im Wohnviertel führt.

Es kann jedoch zwischen zwei Formen der Gentrification unterschieden werden<sup>2</sup>: Einerseits die endogene Aufwertung durch Hausbesitzer und Bewohner, die sich an den Bedürfnissen und finanziellen Möglichkeiten der Bewohner orientiert (als „Incumbent Upgrading“ bezeichnet), andererseits die exogene Aufwertung durch Investoren, die sich an Bedürfnissen von Spekulanten und neuen Bewohnergruppen orientiert. Letztere Form führt zum vermehrten Zuzug statushöherer Bevölkerung in Form eines „Invasions-Sukzessions-Zyklus“.

In der Gentrificationforschung wird beobachtet, welche Probleme in Wohnquartieren zwischen sozial Benachteiligten und zugezogenen „Pionieren“ sowie „Gentrifiern“ entstehen.<sup>1</sup> In vielen Innenstädten lassen sich manifeste soziale Konflikte beobachten. Auch wenn als Definitionsmerkmal der Gentrification der Zuzug statushöherer Bevölkerungsgruppen in Bestandsquartiere gilt, muss aber nicht immer eine Verdrängung damit verbunden sein.<sup>2</sup> Zur Begriffsschärfung sollten andere Prozesse des Wandels von Stadtquartieren wie „Incumbent Upgrading“ jedoch von der Definition ausgenommen sein.

Die mit „Incumbent Upgrading“ gemeinte Sanierung und Aufwertung des Wohnquartiers durch die Besitzer führt zur Verbesserung der Lebensqualität für die bestehenden Einwohner. Im Fall des hier geplanten Sanierungsvorhabens einer Baugenossenschaft ist eine Beibehaltung der Bewohnerschaft vorgesehen (explizit bestätigt durch Hubert Vierthaler, Vorstandsvorsitzender des Bauvereins am 19. September 2013), eine Gentrification im oben dargestellten Sinne ist also nicht intendiert.

1 Klee, Andreas; Prinzensing, Gregor (2010): Sozialwissenschaftliche Stadtforschung – aktueller denn je. In: Raumforschung und Raumordnung 68, S. 445–446.

2 Glatter, Jan (2006): News from the blind men and the elephant? – Welche neuen Erkenntnisse bietet die jüngere Gentrificationforschung? In: Europa Regional 14 (4), S. 156–166.

Um vorherzusagen, welche sozialen Auswirkungen eine energetische Sanierung hat, können Schätzungen der Kosten vor dem Hintergrund der ökonomischen Leistungsfähigkeit der Haushalte durchgeführt werden. Laut einer Studie zur energetischen Gebäudesanierung in Deutschland kommen erhebliche Kosten auf Eigentümer und Mieter zu, wenn 80 % der Primärenergie eingespart werden sollen. Die Eigentümer müssen voraussichtlich Eigenkapital bereitstellen und hohe Investitionen tätigen, deren Rendite unterdurchschnittlich ist. Mietsteigerungen von durchschnittlich 100 bis 140 Euro im Monat sind die Folge.<sup>3</sup>

Für Haushalte in Mietwohnungen in Mehrfamilienhäusern mit einem Haushaltsnettoeinkommen unter 2.000 Euro wurden Steigerungen der Miete von 19,7% bis 26% vorausgerechnet, das wären zwischen 74 und 101 Euro pro Wohneinheit bei technologieoffener Vorgehensweise<sup>4</sup> und zwischen 96 und 131 Euro bei einer technologiegebundenen<sup>5</sup> Sanierung.<sup>6</sup> Hierbei gibt es große Unterschiede nach Haushaltseinkommensklasse oder Sanierungsplan. Grundsätzlich wird jedoch vorhergesagt, dass die soziale Ungleichheit steigt, da Haushalte mit unterdurchschnittlichem Einkommen überproportional von Kostensteigerungen betroffen sind.

Es sind auch Unterschiede in den Rahmenbedingungen der Finanzierung einer Gebäudesanierung zwischen Bundesländern und Regionen zu verzeichnen. Hierbei wird die Situation sowohl seitens der Haushalte wie auch der kommunalen Wohnungsunternehmen in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz günstiger als in anderen Bundesländern eingeschätzt. Dazu kommen kleinräumliche Unterschiede und Differenzen zwischen einzelnen Immobilien.<sup>6</sup>

Die Autoren betonen, dass „ausdrücklich darauf zu achten ist, dass die Investitionsbedarfe und die Wohnkostensteigerungen durch einen Sanierungs-

3 Pfnür, Andreas; Müller, Nikolas (2013): Energetische Gebäudesanierung in Deutschland. Studie Teil II. Prognose der Kosten alternativer Sanierungsfahrpläne und Analyse der finanziellen Belastungen für Eigentümer und Mieter bis 2050. Arbeitspapiere zur immobilienwirtschaftlichen Forschung und Praxis, Band Nr. 28. Hg. v. Forschungscenter Betriebliche Immobilienwirtschaft im Auftrag des Instituts für Wärme- und Öltechnik e.V. (IWO), S. 2, 4, 100, 134, 135.

4 Ansatz zur Reduzierung des Primärenergiebedarfs, wie er im Wesentlichen im Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (EnEG) und der darauf beruhenden Energieeinsparverordnung (EnEV) enthalten ist.

5 Ansatz zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergiebedarf für Wärme, wie er im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG, für den Neubau) und im Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (EWärmeG, für den Neubau und Bestand) festgelegt ist.

fahrplan zur Umsetzung der klimapolitischen Ziele der Bundesregierung so gering wie möglich ausfallen. Im Hinblick auf die Kosten ist der technologieoffene Sanierungsfahrplan gegenüber dem technologiegebundenen Sanierungsfahrplan deutlich im Vorteil“.<sup>6</sup>

In den parallel zur Sozialstudie stattfindenden Teilprojekten wurden unterschiedliche Varianten der energetischen Sanierung konzeptionell erforscht. Diese Szenarien haben dementsprechend auch unterschiedliche Kosten zur Folge.

Der Energieverbrauch von Haushalten muss differenziert betrachtet werden; er hängt nach einer Studie für die Prognos AG auf Basis der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe des Statistischen Bundesamtes von Haushaltsgröße, Wohnfläche, Altersstruktur und Haushaltseinkommen ab.<sup>6</sup> Die Energieausgaben eines Haushalts steigen mit zunehmender Mitgliederzahl, die Pro-Kopf-Ausgaben nehmen jedoch einen gegensätzlichen Verlauf. Höhere Energieausgaben kleinerer Haushalte sind zum Teil durch höhere Pro-Kopf-Wohnflächen bedingt. Der Energieverbrauch steigt mit dem Alter. Einkommensstärkere Haushalte tendieren zu höheren Energieausgaben, unabhängig von Haushaltsgröße und Wohnfläche. Fazit ist, dass sich der zukünftige Energiebedarf mit den oben genannten Faktoren ändern kann.

### 1.3 Planung energetischer Gebäudesanierung und Akzeptanzstudien

„Energetische Sanierung ist eine Aufgabe für die Gesamtstadt. Energieeffizienz – eine Selbstverständlichkeit für Politiker, (Stadt-)Planer, Mitarbeiter von Versorgungsunternehmen, Kraftwerksbetreiber, Heizungsbauer und andere. Die Zustimmung zu diesem energiepolitischen Ziel ist sicher.“<sup>7</sup> Neben diesen planenden und ausführenden Akteuren sind jedoch auch die Eigentümer und Bewohner betroffen, insbesondere wenn es um die ökonomischen Konsequenzen geht. Aber nicht nur die Eigentums- und Einkommensstrukturen, sondern auch subjektive Faktoren können die Meinung und Einstellung von Menschen beeinflussen.

6 Timpe, Philip (2014): Wechselwirkungen von Energieverbrauch und demografischem Wandel – Eine räumlich differenzierte Bewertung sozio-demografischer Einflussgrößen auf die zukünftigen Energieausgaben der Stadt- und Landkreise. In: Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Demographie e.V. Jahrgang 13, 2014 (16), S. 24–26.

7 Koziol, Matthias (2010): Energetische Stadterneuerung – Aufgabe für die Gesamtstadt. In: Informationen zur Raumentwicklung (9), S. 651, 652–663.

Bei der Stadtentwicklung mit dem Ziel einer Erhöhung der erneuerbaren Energien ist nach Porsche (2010)<sup>8</sup> ein Einbezug der Akzeptanz der Bevölkerung unerlässlich. So spielt die Akzeptanz bei der Ermittlung örtlicher Potenziale eine Rolle, insbesondere wenn es um die Bewertung der Optionen erneuerbarer Energieerzeugung wie Fotovoltaik, Solarthermie, Wind, Wasser, Erdwärme, Umweltwärme, Biomasse geht. Auch bei Kleinanlagen, die das Stadtbild verändern, ist ein Umdenken durch die Bevölkerung erforderlich.

Für die Akzeptanz des Ausbaus erneuerbarer Energie spielt nicht nur die Energietechnologie eine Rolle, sondern auch die Ausgestaltung der Planungs- und Entscheidungsprozesse.<sup>9</sup> Bei der Entwicklung von Energieprojekten hat sich gezeigt, dass Partizipation ein Schlüssel zur Steigerung von Akzeptanz in der Bevölkerung sein kann. Diese kann in unterschiedlichen Beteiligungsstufen stattfinden, wie z. B. Information, Konsultation oder Kooperation.

Auch bei der partizipativen Technikfolgenabschätzung<sup>10</sup> geht es im Wesentlichen um die Einbeziehung von Laien oder Interessengruppen bei politischen Entscheidungen über (groß-)technische Anlagen. Die Partizipation kann dabei zur Legitimation von Entscheidungen dienen, insbesondere in Form von Abstimmungen. Partizipation kann aber auch zur Effizienz beitragen, indem bereits im Vorfeld die Belange von Betroffenen berücksichtigt werden, um so Änderungen in einem späten Planungsstadium zu vermeiden.

Partizipative Verfahren sind auch in der raumbezogenen Bau- und Landschaftsplanung ein zentrales Element. Neben Behörden und Verwaltung auf der einen Seite sowie Fachberatung und Bearbeitern auf der anderen Seite werden dabei als dritte Säule auch die betroffene Bevölkerung, Interessengruppen und andere Partner einbezogen.<sup>11</sup>

Bei konkreten Maßnahmen haben sich Modelle der

8 Porsche, Lars (2010): Stadtentwicklung voller erneuerbarer Energie. In: Informationen zur Raumentwicklung (9), S. 665–673.

9 Hildebrand, Jan; Rau, Irina; Schweizer-Ries, Petra (2012): Die Bedeutung dezentraler Beteiligungsprozesse für die Akzeptanz des Ausbaus erneuerbarer Energien. Eine umweltpsychologische Betrachtung. In: Informationen zur Raumentwicklung 10 (9), S. 491–501.

10 Abels, Gabriele; Bora, Alfons (2013): Partizipative Technikfolgenabschätzung und -bewertung. In: Georg Simonis (Hg.): Konzepte und Verfahren der Technikfolgenabschätzung. Wiesbaden: Springer, S. 109–128.

11 Bornhauser, Martin (2008): Partizipative Planung in der Praxis: Das Beispiel Landschaftsentwicklungskonzept Uster. In: Forum für Wissen, S. 55–58.

Partizipation und Bewohnereinbindung bewährt.<sup>12</sup> Eine Einbeziehung der Bewohner bei der Planung einer energetischen Sanierung ist aus verschiedenen Gründen sinnvoll: Die Legitimität und Akzeptanz werden erhöht und die Planung kann optimiert werden, indem sie sich an den Wünschen und Bedürfnissen der Bewohner orientiert.<sup>13</sup> Auch die Gefahr von Blockadehaltungen, Rechtsstreitigkeiten, Wohnungsleerständen kann durch Identifikation mit der Maßnahme verringert werden. Die Konsultation der Bewohner erfolgt dabei häufig in Form von Fragebögen, die als „Mängellisten“ fungieren oder durch mündliche Befragungen, beispielsweise im Zuge von Wohnungsbegehungen.<sup>25</sup>

Die Befragung ist eine gängige Methode der Sozialforschung, insbesondere der Meinungs- und Einstellungsforschung. Befragungen können in schriftlicher Form stattfinden, postalisch oder internetgestützt. Mündliche Befragungen werden persönlich oder per Telefon durchgeführt (vgl. zu einer Übersicht über Verfahren<sup>14, 15</sup>). Befragungen werden in der quantitativen empirischen Sozialforschung mithilfe von standardisierten Fragebogen durchgeführt. Bei der qualitativen Sozialforschung finden hingegen leitfadengestützte offene Befragungen statt. Möglich ist auch die Kombination von Elementen beider Methoden, d. h. geschlossenen und offenen Fragen.

Auf Basis einer Vollerhebung oder einer Zufallsstichprobe kann ein repräsentatives Meinungsbild der Bevölkerung erstellt werden. Bevölkerungsbefragungen zeigen meist ein sehr hohes Maß an allgemeiner Akzeptanz von Anlagen regenerativer Energieerzeugung. So finden 76% der Befragten Solarparks in der eigenen Nachbarschaft „sehr gut“ oder „gut“. 55% sagen dies für Windenergieanlagen und 42% für Biomasseanlagen.<sup>16</sup>

12 Tappeiner, Georg; Walch, Karin; Koblmüller, Manfred; et al. (2004): Sanierung Pro! Sanierung und Partizipation im mehrgeschossigen Wohnbau. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 4/2004. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien. Online verfügbar unter: [http://www.nachhaltigwirtschaften.at/hdz\\_pdf/endbericht\\_sanierung\\_pro\\_id2774.pdf](http://www.nachhaltigwirtschaften.at/hdz_pdf/endbericht_sanierung_pro_id2774.pdf), zuletzt geprüft am 14.08.2014.

13 Fink, Kerstin; Laborgne, Pia (2009): Partizipationsmöglichkeiten in Sanierungsprozessen unter besonderer Berücksichtigung von Fragen des Wärmekonsums und der Demografie. Hg. v. EIFER. Karlsruhe, S. 6, 11.

14 Schnell, Rainer; Hill, Paul B.; Esser, Elke (2008): Methoden der empirischen Sozialforschung., 8. Aufl. München: Oldenbourg.

15 Schnell, Rainer (2012): Survey-Interviews. Hg. v. VS-Verlag. Wiesbaden.

16 von Seht, Hauke (2010): Eine neue Raumordnung: erforderlich für den Klimaschutz. Bedingungen und Chancen einer aktiven Unterstützung des Ausbaus erneuerbarer Energien. In: Informationen zur Raumentwicklung (153), S. 277–282.

Geht es konkret um Erfahrungen einer kleineren, eng umgrenzten Personengruppe, wie z.B. Betroffene oder Nutzer/-innen einer neuen Technik, dienen Nutzerbefragungen zur Erforschung der Zufriedenheit und zur Akzeptanz. Die Evaluation der Nutzerzufriedenheit in der Nutzungsphase wird ebenfalls im Rahmen des „Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen“ (BNB) des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung empfohlen.<sup>17</sup>

Möglich sind z.B. Befragungen zur Zufriedenheit mit der energetischen Gebäudetechnik. Ein Beispiel ist die Online-Befragung bei Nutzer/-innen von Niedrigst- und Plusenergiegebäuden in Österreich.<sup>18</sup> Hierbei waren 95 % der Befragten sehr zufrieden oder zufrieden, wobei die Zufriedenheit auf dem Parameter Temperatur am höchsten ausfiel und Lärmschutz an zweiter Stelle kam.

Sinnvoll sind auch Befragungen zur Erforschung der Haltungen der Bewohnerinnen und Bewohner gegenüber den Maßnahmen der energetischen Gebäudesanierung ihrer Mietwohnungen und der Wohnzufriedenheit. Ideal sind dabei die in der Evaluationsforschung üblichen Vorher-Nachher-Vergleiche. Bei einer mehrmaligen Befragung, vor, während und nach einer Sanierungsmaßnahme im Pilotprojekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“, zeigte sich eine steigende Befürwortung. Fanden vor der Sanierungsmaßnahme 29% diese sehr gut, so waren im Nachhinein 46 % dieser Ansicht.<sup>19</sup> Allerdings ließ sich auch feststellen, dass fast durchgängig eine sehr hohe Beeinträchtigung durch die Begleitumstände der Sanierung vorlag.<sup>31</sup>

Bei der hier vorliegenden Studie wird keine konkrete Baumaßnahme durchgeführt, sondern es werden Konzepte und Planungsgrundlagen erstellt. Daher beschränkt sich die Akzeptanzbefragung auf die grundsätzliche Meinung und die Akzeptanz potenzieller Szenarien.

---

17 Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hg.) (2013): Leitfaden Nachhaltiges Bauen, S. 35.

18 Suschek-Berger, Jürgen; Wicher, Magdalena (2014): Build to satisfy. Zufriedenheit von NutzerInnen in Niedrigst- und Plusenergiegebäuden. In: Soziale Technik (2), S. 15-17.

19 Hacke, Ulrike; Lohmann, Günter (2006): Akzeptanz energetischer Maßnahmen im Rahmen der nachhaltigen Modernisierung des Wohnungsbestandes. Abschlussbericht. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt gmbH. Online verfügbar unter: [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/Endbericht\\_Akzeptanz\\_energ\\_Massnahmen.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Endbericht_Akzeptanz_energ_Massnahmen.pdf), zuletzt geprüft am 14.08.2014, S. 27, 35.

# 2. Geschichte des Kasernenviertels als Wohnquartier

Regensburg ist durch ein mittelalterliches Stadtensemble geprägt, das auch für die Stadtentwicklung eine zentrale Rolle spielt.<sup>20</sup> Die Altstadt mit Stadthof wurde 2006 in die Welterbeliste der UNESCO aufgenommen. Insofern stellen sich für die energetische Gebäudesanierung in Regensburg insgesamt besondere Herausforderungen. Die Sozialstudie betrachtet exemplarisch das Plato-Wild-Ensemble im Kasernenviertel, das im Südosten der Stadt liegt.

## 2.1 Beginn des 20. Jahrhunderts

Ende des 19. Jahrhunderts erlebte Regensburg einen enormen Bevölkerungsanstieg, der auch zu Beginn des 20. Jahrhunderts nicht abebbte. Reindl<sup>21</sup> berichtet von einer Verdoppelung der Einwohnerzahl zwischen 1852 und 1910 von 25.898 auf 52.624. Um die wachsende Bevölkerung unterzubringen, mussten größere Wohnungen unterteilt und zusätzliche Freiflächen verbaut werden. Die Folge war eine massive Verdichtung der Bebauung mit daraus resultierenden schlechten hygienischen Verhältnissen.

Eine Verbesserung der Situation war nur durch die Schaffung neuer, kostengünstiger Kleinwohnungen erreichbar. Zur Jahrhundertwende waren im Südosten der Stadt neue Militäranlagen errichtet worden.<sup>22</sup>

In diesem Gebiet wurden 1912 erste Wohnhäuser für städtische Arbeiter, Bedienstete oder sonstige Angehörige der unteren Schichten erbaut.<sup>23</sup> In den folgenden Jahren kamen weitere Siedlungen hinzu. Im Ersten Weltkrieg wurde der Kleinwohnungsbau dann aber praktisch wieder eingestellt, was nach Kriegsende das Wohnungsproblem weiter verschärfte.

20 Link, Alexandra; Ripp, Matthias (2011): Regensburg: Welterbe als Motor einer integrierten Stadtentwicklung? In: Informationen zur Raumentwicklung (3-4), S. 193–203.

21 Reindl, Gerhard (2000): Zwischen Tradition und Moderne. Regensburg in der Weimarer Republik. In: Peter Schmid (Hg.): Geschichte der Stadt Regensburg. Bd. 1, Regensburg: Verlag Friedrich Pustet, S. 373–418.

22 Borgmeyer, Anke; Morsbach, Peter (2000): Die Stadtentwicklung im 20. Jahrhundert. In: Peter Schmid (Hg.): Geschichte der Stadt Regensburg. Bd. 2. 2 Bände. Regensburg: Verlag Friedrich Pustet, S. 1221–1251.

23 Schüller, Alexander (2010): Regensburg in der Weimarer Zeit. Regensburger Kommunalpolitik in der Weimarer Republik. Regensburg: Universität Regensburg.

## 2.2 Weimarer Republik

Reindl<sup>24</sup> beschreibt den erheblichen Bedeutungsgewinn der Stadt Regensburg in den 1920er-Jahren: Durch Eingemeindungen stieg die Stadt zu einer angehenden Großstadt auf (1925: 76.948 Einwohner) und war nun die fünftgrößte Stadt Bayerns. Bei einer ganzen Reihe „urbaner“ Standards bestand allerdings gewaltiger Nachholbedarf. Ein Symptom dafür war die im Vergleich größerer bayerischer Städte höchste Kindersterblichkeit.

Die Wohnungsnot blieb für viele ein existenzielles Problem. Laut Reichswohnungszählung 1927 lebten in keiner bayerischen Großstadt die Menschen beengter als in Regensburg. Das Wohnungsamt zählte Ende 1928 fast 4.000 Wohnungsgesuche. Angesichts der prekären Lage wurde der Wohnungsbau etwas wiederbelebt. Auch die kommunale Stadtbau GmbH, die 1926 aufgrund finanzieller Probleme den Wohnungsbau eingestellt hatte, wurde wieder verstärkt aktiv.

## 2.3 Die Zeit des Nationalsozialismus

Gegen Ende der Weimarer Republik stand die Stadt durch die Massenarbeitslosigkeit infolge der Weltwirtschaftskrise vor großen Problemen. Da Großindustrie vor Ort fehlte, war die strukturschwache Stadt völlig verarmt. In fast einem Viertel der Haushalte lebten fünf oder mehr Personen, in den Armenvierteln der Altstadt herrschten eine extrem hohe Wohndichte und manchmal noch „mittelalterliche Wohnverhältnisse“.<sup>24</sup>

Die Kasernen waren mit ihren Versorgungsmöglichkeiten die Grundlage für die schnelle Weiterentwicklung des Regensburger Südostens. Das Militäresemble wurde im Zuge der allgemeinen Aufrüstung deutlich erweitert. In den 1930er-Jahren wurden eine Artilleriekaserne und eine Pionierkaserne ergänzt; südöstlich der Landshuter Straße entstand eine Nachrichtenkaserne, östlich eine zweite Artilleriekaserne. Weiter westlich erfolgte die Errichtung einer Kaserne für Flugabwehr.<sup>25</sup>

Trotz der Entstehung weiterer Großsiedlungen war fortwährend nicht annähernd genug Wohnraum vorhanden. Auch während des Krieges stieg die Bevölkerungszahl trotz widriger Umstände weiter an, in

24 Halter, Helmut (2000): Die Hakenkreuzfahne über dem Rathaus. Regensburg im Nationalsozialismus. In: Peter Schmid (Hg.): Geschichte der Stadt Regensburg, Bd. 1. 2 Bände. Regensburg: Verlag Friedrich Pustet, S. 419–446.

erster Linie durch Wanderungsgewinne. Mitte 1943 war Regensburg dann Ziel von Luftangriffen, wodurch zusätzlicher Wohnraum verloren ging.<sup>27</sup>

## 2.4 Nachkriegsjahre

Nach Kriegsende erlebte das vergleichsweise intakt gebliebene Regensburg einen weiteren Bevölkerungszuwachs. Die „Völkerwanderung“ von Evakuierten, Fremdarbeitern („Displaced Persons“) und Flüchtlingen beschleunigte den demografischen Wandlungsprozess. Bei der ersten verlässlichen Volkszählung nach dem Krieg im Jahr 1950 verzeichnete die Stadt bereits 117.291 Einwohner.<sup>25</sup>

Die wichtigste Bauaufgabe war also nach wie vor die Schaffung von Wohnraum. Träger waren vor allem die kommunale Stadtbau GmbH (gegr. 1921), Baugenossenschaften wie der gemeinnützige Bauverein (gegr. 1912, Eigentümer des Plato-Wild-Ensembles) oder die gemeinnützige Wohnbaugenossenschaft „Neue Heimat“ Regensburg (gegr. 1947). Es entstanden größere Wohnblocks mit Sozialwohnungen, z. B. 1952 in der Tucherstraße (ca. 600 m entfernt vom Plato-Wild-Ensemble), sowie Nachverdichtungen, z. B. in der Janner- und Guerickestraße.<sup>25</sup>

## 2.5 1960er- und 1970er-Jahre

Die weitere Entwicklung des Südostens war durch die großen Militäranlagen vorgezeichnet. Anfang der 1960er-Jahre entstand unmittelbar neben den bestehenden Kasernen eine Bundeswehrsiedlung. Gleichzeitig entstanden Wohnblöcke für Bedienstete der Bundesbahn. Das Kasernenviertel wandelte sich: Die Nähe zur neuen Universität zog zunehmend Studenten an, während die Bajuwarenstraße Platz für mittelständisches Gewerbe bot und zu einer der meistbefahrenen Verkehrsadern der Stadt wurde.<sup>25</sup>

## 2.6 Jüngere Vergangenheit

Die Stadt Regensburg zählt den Stadtteil Kasernenviertel zum „Inneren Stadtsüden“, dem auch die Stadtteile Dechbetten, Königswiesen, Ziegetsdorf,

<sup>25</sup> Hilmer, Ludwig (2000): Unterm Sternenbanner. Politik und Verwaltung 1945–1950. In: Peter Schmid (Hg.): Geschichte der Stadt Regensburg, Bd. 1. 2 Bände. Regensburg: Verlag Friedrich Pustet, S. 447–461.

Neuprüll, Kumpfmühl sowie Galgenberg/Universität angehören. Diese Quartiere weisen in der Regel bereits geschlossene Siedlungsstrukturen auf, die weiterentwickelt und gesichert werden sollen. Der Innere Stadtsüden gilt als ein wichtiger Wohnschwerpunkt im Stadtgebiet, der zusätzlich durch die Hochschulen geprägt ist.

Ziele für die weitere Entwicklung des Inneren Stadtsüdens waren im Regensburg-Plan 2005, in dem die Stadt ihre Leitziele zur Stadtentwicklung für die kommenden Jahre formulierte, die bessere Anbindung der einzelnen Quartiere an die Stadtmitte sowie die Neuschaffung klar erkennbarer Quartierszentren. Auch damals war bereits klar, dass das Kasernenviertel im Zuge der Freigabe ehemaliger Bundeswehrflächen einen Schwerpunkt der mittelfristigen Stadtplanung darstellen würde.

In ihrem Fachprogramm Wohnen II formulierte die Stadt 2007 als Oberziel, dass für alle Regensburger Bevölkerungsschichten eine angemessene Wohnungsversorgung zu erschwinglichen Preisen sichergestellt wird. Konkrete Maßnahmen mit Bezug zum Kasernenviertel waren:<sup>26</sup>

- die Erstellung eines Gesamtkonzepts für den Bereich des ehemaligen LERAG-Betonteilwerks (Guerickestraße, in unmittelbarer Nähe des Plato-Wild-Ensembles) mit dem Ziel, planerische Rahmenbedingungen für den Bau von ca. 180 Geschosswohnungen bis 2015 zu schaffen,
- die Erstellung eines Planungskonzepts für das Gelände der Bajuwarenkaserne, 320 Wohneinheiten geplant.

Die hohe Schuldichte und die Verbesserung des Zustands vieler Gebäude in den letzten Jahren wurden grundsätzlich positiv hervorgehoben. Beklagt wurde der starke Parksuchverkehr im Viertel, die schwache Sozialstruktur in einigen Teilen des Gebiets und immer wieder Vandalismus. Besonders oft gewünscht wurde eine Verschönerung des Ostparks, mehr Freizeitangebote für Kinder und Jugendliche, mehr Angebote für Senioren sowie eine Anlaufstelle bzw. ein Familienzentrum im Kasernenviertel.

<sup>26</sup> Stadt Regensburg (Hg.) (2007): Fachprogramm Wohnen II. Regensburg plant & baut 12. Regensburg.



# 3. Sozialstruktur des Stadtviertels heute

Die Analyse der Sozialstruktur des Stadtviertels erfolgt auf Basis von Daten des Amtes für Statistik der Stadt Regensburg. Diese umfassen das Melderegister und andere Datenquellen, wie z.B. die Arbeitslosenstatistik oder die Schulstatistik. Die Daten wurden vom Amt für Statistik in Form aggregierter Excel-Tabellen geliefert und im Rahmen des Projekts ausgewertet. Des Weiteren werden bereits veröffentlichte Auswertungen statistischer Daten zur Sozialstruktur des Wohnviertels oder der Blockgruppe zugrunde gelegt. Noch kleinteiligere statistische Daten über die Bewohnerschaft des Ensembles sind aus Datenschutzgründen nicht verfügbar.

## 3.1 Das Kasernenviertel und die Blockgruppe Safferlingstraße

Das Plato-Wild-Ensemble des gemeinnützigen Bauvereins, umrahmt von Safferlingstraße, Walderdorffstraße, Thomas-Ried-Straße und der namensgebenden Plato-Wild-Straße, liegt im Regensburger Stadtbezirk Kasernenviertel, einem von 18 städtischen Bezirken.



Abb. 37 Blockgruppe Safferlingstraße (rot markiert) mit Plato-Wild-Ensemble (grün)  
(Quelle: Stadt Regensburg, Amt für Stadtentwicklung (Hg.) 2011)

Die folgende Analyse der Sozialstruktur des Viertels, in dem das Plato-Wild-Ensemble verortet ist, speist sich aus Daten über das Kasernenviertel als Ganzes sowie aus kleinräumigeren Daten zur Blockgruppe Safferlingstraße. Diese Blockgruppe sticht im stadtweiten Vergleich durch eine sehr hohe Bevölkerungszahl hervor, die vor allem auf den verhältnismäßig dichten Geschosswohnungsbau zurückzuführen ist. Viele Menschen leben hier auf relativ engem Raum zusammen.<sup>27</sup>

## 3.2 Altersverteilung

Die Situation in Regensburg unterscheidet sich von der in Deutschland allgemein zu beobachtenden Bevölkerungsstruktur. Die größte Bevölkerungsgruppe vor Ort ist die der 20–25-Jährigen. Dagegen stellen die über 65-Jährigen nur einen relativ geringen Anteil. Dies erklärt sich vor allem durch die Studierenden der Universität Regensburg und der Technischen Hochschule Regensburg. Eine starke Bevölkerungsalterung ist in Regensburg daher noch nicht sichtbar.<sup>11</sup>

Die Altersverteilung ist in der Blockgruppe, im gesamten Kasernenviertel und in ganz Regensburg recht ähnlich. In der Darstellung zeigt sich, dass der Großteil der Bevölkerung im mittleren Alter ist und sehr wenige Kinder und Jugendliche zu verzeichnen sind (Abb. 38).

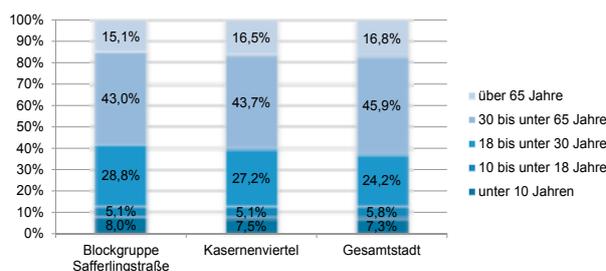


Abb. 38 Bevölkerung nach Altersgruppen im Vergleich  
(Datenquelle: Stadt Regensburg, Amt für Stadtentwicklung; Stichtag: 31.12.2012)

Einen relativ großen Anteil nimmt die Gruppe der 18-bis unter 30-Jährigen ein; in dieser Gruppe zeigt sich auch der größte Unterschied. Deren Anteil ist in der Blockgruppe mit 28,8% etwas höher als im gesamten Kasernenviertel (27,2%) und deutlich höher als in der Gesamtstadt (24,2%). Im Schnitt sind die Bewohner im Viertel also etwas jünger als die Regensburger Gesamtbevölkerung.

Der Anteil der Haushalte mit Kindern unter 18 Jahren lag 2005 im Kasernenviertel zwischen 8 und unter 15%. Dieser Anteil liegt im gesamtstädtischen Vergleich eher im unteren Bereich. Am höchsten war der Anteil der Haushalte mit Kindern in Sallern-Gallingkofen, in der Konradsiedlung, Schwabelweis, im Ostenviertel, in Burgweinting und in Oberisling-Graß (jeweils 25 bis unter 40%).<sup>41</sup> Im Jahr 2010 wurden etwa 35 Familien in der Blockgruppe Safferlingstraße über Maßnahmen der Jugendhilfe betreut.<sup>41</sup>

<sup>27</sup> Stadt Regensburg; Amt für Stadtentwicklung, Abteilung Ent-

wicklungsplanung. (Hg.) (2011): Bericht zur sozialen Lage 2011., S. 12, 30, 35, 36, 38f., 41ff., 48f., 51, 54, 58, 64, 70ff., 82, 84.

### 3.3 Migrationshintergrund

Das bevölkerungsstatistische Konzept „Personen mit Migrationshintergrund“ umfasst ausländische Staatsangehörige und Eingebürgerte oder Aussiedler, die im Ausland oder in Deutschland geboren wurden. In Regensburg beträgt der Anteil an Personen mit Migrationshintergrund 30 %. Damit bewegt sich Regensburg im Mittelfeld eines bayerischen Städtevergleichs – den höchsten Anteil hat Ingolstadt mit einem Anteil von 38 %.

Die Bevölkerung mit Migrationshintergrund in Regensburg besteht aus 16.596 Personen mit ausländischer Staatsangehörigkeit und 29.502 Deutschen mit Migrationshintergrund. Die letztgenannte Gruppe lässt sich nochmals unterteilen in 20.903 Aussiedler/-innen<sup>28</sup> (13,6 %) und 8.599 Eingebürgerte<sup>29</sup> (5,6 %).

Im Vergleich zur Gesamtbevölkerung Regensburgs ist die Bewohnerschaft der Blockgruppe Safferlingstraße besonders stark von Menschen geprägt, die einen Migrationshintergrund besitzen. Das heißt entweder sie selbst oder mindestens ein Elternteil sind aus dem Ausland zugewandert bzw. sind ausländische Staatsbürger (Abb. 39).

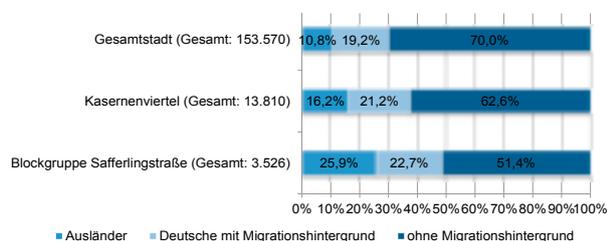


Abb. 39 Einwohner nach Migrationshintergrund im Vergleich (Datenquelle: Stadt Regensburg, Amt für Stadtentwicklung, Bevölkerungsstatistik 08/2013; Stichtag: 31.12.2012)

Von den 3.526 Bewohnern der Blockgruppe sind 25,9 %, also mehr als ein Viertel, ausländische Staatsbürger. Dieser Anteil ist deutlich höher als im Kasernenviertel insgesamt (16,2 %) und in der Gesamtstadt (10,8 %). Deutsche mit Migrationshintergrund<sup>30</sup> stellen weitere 22,7 % der Bewohner in der Blockgruppe.

28 Umfasst sowohl selbst zugewanderte Aussiedler/-innen und Spätaussiedler/-innen als auch deren Nachkommen, solange diese unter 18 Jahre alt sind und noch im Haushalt ihrer Eltern wohnen.

29 Zu dieser Gruppe zählen alle Deutschen mit Migrationshintergrund außer Aussiedler/-innen. Neben Personen, die ein Einbürgerungsverfahren erfolgreich durchlaufen haben, zählen hierzu auch deutsche Nachkommen von im Ausland geborenen Personen (2. Generation, z. B. auch optionspflichtige Deutsche).

30 Eingebürgerte Deutsche, Aussiedler oder deutsche Kinder mit mind. einem Elternteil mit Migrationshintergrund.

Auch dieser Anteil ist im Vergleich zum gesamten Kasernenviertel (21,2 %) und zur Regensburger Gesamtbevölkerung (19,2 %) leicht erhöht.

Zusammengenommen weist fast die Hälfte der Wohnbevölkerung in der Blockgruppe Safferlingstraße einen Migrationshintergrund auf, gegenüber 37,4 % im gesamten Bezirk und 30,0 % der gesamten Regensburgerinnen und Regensburger. Der hohe Migrantenanteil in der Blockgruppe und im gesamten Kasernenviertel zeigt sich auch daran, dass in den Kindergärten in der näheren Umgebung in der Regel über 40 bzw. über 50 % der betreuten Kinder einen Migrationshintergrund aufweisen.<sup>41</sup>

Hinsichtlich der Nationalitäten setzt sich die ausländische Bewohnerschaft in der Blockgruppe etwas anders zusammen als in der gesamten Regensburger Bevölkerung (Abb. 40). Über ein Viertel besitzt hier eine Staatsbürgerschaft aus dem ehemaligen Jugoslawien, ein deutlich größerer Anteil als in der Gesamtstadt.

Daneben sind in der Blockgruppe auch die Nationalitäten Türkei (15 % gegenüber gut 10 % in der Gesamtstadt) und Vietnam (knapp 7 % gegenüber 3,7 %) im Vergleich deutlich häufiger vertreten. Rumänen und Bulgaren bilden dagegen einen vergleichsweise kleineren Anteil (Abb. 40).



Abb. 40 Ausländische Bevölkerung nach Nationalitäten im Vergleich (Datenquelle: Stadt Regensburg, Amt für Stadtentwicklung, Bevölkerungsstatistik 08/2013; Stichtag: 31.12.2012)

Der sehr hohe Anteil von 48,2 % mit sonstigen Nationalitäten in der Gesamtstadt deutet schon an, dass in der gesamten ausländischen Bevölkerung noch andere Nationalitäten eine größere Rolle spielen, die in der Blockgruppe Safferlingstraße kaum bzw. gar nicht vertreten sind. Besonders zu erwähnen wären hier Polen (4,8 % der ausländischen Bevölkerung in der Gesamtstadt), Österreich (4,1 %) und Italien (3,9 %).

### 3.4 Familienstand und Religionsgemeinschaften

Im Vergleich zur Gesamtstadt sind die Bewohner des Kasernenviertels etwas häufiger ledig, seltener verheiratet, etwas häufiger verwitwet und häufiger geschieden (Abb. 41).

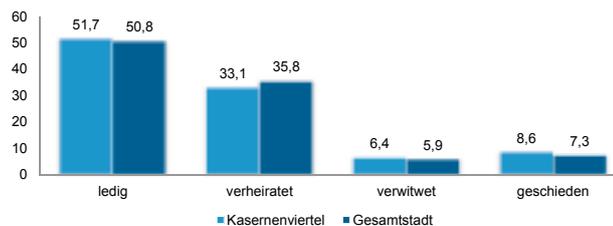


Abb. 41 Bevölkerung nach Familienstand (Kasernenviertel und Gesamtstadt, in %) (Quelle: Stadt Regensburg, Amt für Stadtentwicklung; Stichtag: 31.12.2012)

Bezüglich der Religionszugehörigkeit bestehen Unterschiede zwischen der Gesamtstadt und dem Kasernenviertel, die sich vermutlich zum Teil durch den höheren Migrantenanteil im Bezirk erklären lassen (Abb. 42). Die Bevölkerung im Kasernenviertel ist im stadtweiten Vergleich seltener römisch-katholisch und etwas seltener evangelisch<sup>31</sup>, dafür ist der Anteil der Menschen mit sonstiger Religionszugehörigkeit bzw. ohne Bekenntnis mit 33 % um fast 5 % höher als in der Gesamtstadt. Eine statistische Auswertung der sonstigen Religionen ist nicht möglich, da diese nicht in Registern erfasst werden.

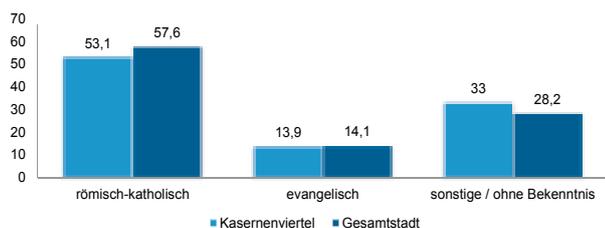


Abb. 42 Bevölkerung nach Religionszugehörigkeit (Kasernenviertel und Gesamtstadt, in %) (Quelle: Stadt Regensburg, Amt für Stadtentwicklung; Stichtag: 31.12.2012)

Der einzige Stadtbezirk mit einem noch höheren Anteil an Personen mit sonstiger Religion bzw. ohne Bekenntnis ist das Ostenviertel (dort 38,3 %), das mit 42,5 % auch einen noch höheren Migrantenanteil aufweist.

<sup>31</sup> Lutherische, reformierte und unierte Landeskirchen, die in der Evangelischen Kirche in Deutschland (EKD) vereinigt sind; ohne evangelische Freikirchen.

### 3.5 Einkommenssituation

Laut einer Haushaltsbefragung aus dem Jahr 2005 betrug damals das durchschnittliche Nettoeinkommen der Bewohner in der Blockgruppe Safferlingstraße zwischen 680 und 850 Euro. Damit gehört sie, zusammen mit Galgenberg, Ostenviertel, Schwabelweis und Sallern-Galingkofen, zu den Blockgruppen mit dem niedrigsten Pro-Kopf-Einkommen in der gesamten Stadt.

Ein weiterer Hinweis auf die Verbreitung prekärer ökonomischer Situationen ist, dass die Blockgruppe zu den Stadtgebieten gehört, in denen besonders viele Räumungsklagen ausgesprochen werden. Solche Klagen werden meist aufgrund bestehender Mietrückstände eingereicht.<sup>41</sup>

Eine Analyse der Einkommenssituation von Personen mit Migrationshintergrund im Rahmen der Befragung „Integration in Regensburg“ aus dem Jahr 2013 ergab, dass in der Gruppe der Personen mit Migrationshintergrund der Anteil der Befragten unterhalb eines Nettoäquivalenzeinkommens von 827 Euro<sup>32</sup> bei 32,9 % liegt, bei Ausländern bei 37,4 %, in der Bevölkerung ohne Migrationshintergrund hingegen lediglich bei 16,9 %.<sup>12</sup> Insofern kann geschlossen werden, dass bei einem Teil der Einwohnerschaft des Stadtbezirks eine höhere Armutsgefährdung vorliegt.

### 3.6 Arbeitsmarkt

Ein entscheidender Einflussfaktor für die Einkommenssituation eines Haushalts bzw. eines Individuums ist die Erwerbssituation. Die relativ hohen Arbeitslosenzahlen im Viertel spiegeln die vergleichsweise angespannte Einkommenssituation wider (Abb. 43). Die Arbeitslosendichte<sup>33</sup> war zum 31. Dezember 2012 in der Blockgruppe Safferlingstraße mit 6,2 % fast doppelt so hoch wie in der Gesamtstadt (3,4 %). Mit anderen Worten: 6,2 % der Bewohner im Alter von 15 bis unter 65 Jahren waren arbeitslos gemeldet.

<sup>32</sup> Entspricht der Oberpfälzer Armutsgefährdungsschwelle aus dem Jahr 2010. Das Äquivalenzeinkommen von Personen unterhalb dieser Schwelle beträgt weniger als 60 % des medianen Äquivalenzeinkommens in der Oberpfalz (vgl. Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie und Frauen 2012).

<sup>33</sup> Mit der Arbeitslosendichte wird der Anteil der Arbeitslosen an der Bevölkerung im Erwerbsalter (15 bis unter 65) gemessen. Dabei wird als Bezugsgröße die Bevölkerung mit Hauptwohnsitz Regensburg verwendet, da nur diese auch in Regensburg arbeitslos gemeldet sein kann.

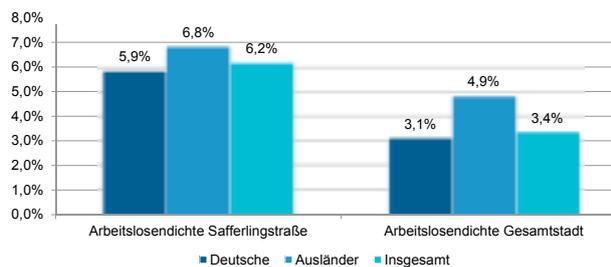


Abb. 43 Arbeitslosendichte nach Nationalität (Blockgruppe und Gesamtstadt) (Quelle: Stadt Regensburg, Amt für Stadtentwicklung; Stichtag: 31.12.2012)

Sowohl im Viertel als auch in der Gesamtstadt ist die Arbeitslosendichte in der ausländischen Bevölkerung erhöht. Die Differenz zwischen den Werten der deutschen und ausländischen Bevölkerung betrug dabei in der Blockgruppe vergleichsweise geringe 0,9 Prozentpunkte, während in der Gesamtstadt 1,8 Prozentpunkte zwischen den beiden Gruppen lagen. Ein weiterer bedeutender Einflussfaktor auf die sozioökonomische Situation ist die Frage, wie viele Bewohner im Erwerbsalter eines Stadtteils bzw. einer Stadt einer sozialversicherungspflichtigen Beschäftigung nachgehen.

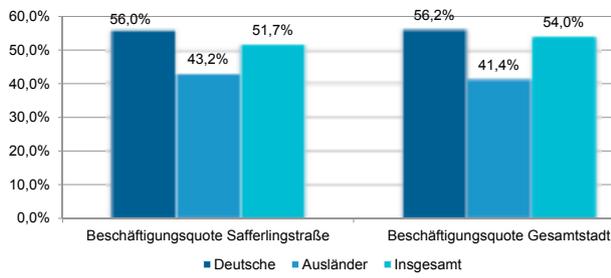


Abb. 44 Sozialversicherungspflichtige Beschäftigungsquote nach Nationalität (Blockgruppe und Gesamtstadt) (Quelle: Stadt Regensburg, Amt für Stadtentwicklung; Stichtag: 31.12.2012)

Die Beschäftigungsquoten in der Blockgruppe unterschieden sich Ende 2012 nur wenig von den Werten für ganz Regensburg (siehe auch<sup>12</sup>). Insgesamt war die Beschäftigungsquote mit 51,7% etwas geringer als in der Gesamtstadt (54,0%). In der ausländischen Bevölkerung war die Quote hingegen sogar etwas höher (43,2% in der Blockgruppe gegenüber 41,4% in Regensburg) (Abb. 44).

### 3.7 Soziale Sicherung

Zwischen 1 und 2% der 18- bis 64-jährigen Bevölkerung in der Blockgruppe erhielt 2009 Grundsi-

cherung bei Erwerbsunfähigkeit.<sup>34</sup> Dieser Wert ist im stadtweiten Vergleich überdurchschnittlich hoch, nur die Blockgruppen St. Wolfgang, Zuckerfabrik und Schlesierstraße weisen noch höhere Werte auf.

Noch dramatischer ist die Situation der über 64-jährigen: Von ihnen erhielten 2009 über 10% Grundversicherung im Alter, konnten also nachweislich ihren Lebensunterhalt nicht aus ihrer Rente oder sonstigen eigenen Einkommen bzw. Vermögen bestreiten. Die Safferlingstraße gehört damit zu den Blockgruppen, in denen die registrierte Altersarmut stadtweit am höchsten ist (weitere: die ebenfalls im Kasernenviertel liegende Humboldtstraße, die nördlich ans Viertel angrenzende Zuckerfabrik sowie die Friedrich-Viehbacher-Allee in Burgweinting).

### 3.8 Wohnen

Etwa 250 Wohnungen in der Blockgruppe Safferlingstraße waren 2009 öffentlich gefördert. Davon waren fast zwei Drittel das Eigentum gemeinnütziger Träger, gut ein Viertel lag bei genossenschaftlichen und der Rest bei privaten Trägern. Der Anteil der öffentlich geförderten Wohnungen an allen Wohneinheiten lag in der Safferlingstraße 2009 zwischen 10 und unter 20%, im Regensburger Vergleich ist das ein durchschnittlicher Wert. Von den rund 250 Wohnungen waren allerdings 2009 über drei Viertel bereits aus der Mietpreisbindung gefallen.<sup>41</sup>

Das Umzugsverhalten in einem Stadtviertel kann einen Hinweis auf die Wohnzufriedenheit geben. Gründe für einen Umzug können u.a. der Wunsch nach einer größeren Wohnung, der Auszug der Kinder, Umweltbelastungen, das Wohnumfeld oder die finanzielle Belastung durch hohe Mieten sein. Mit zunehmender Wohndauer steigt im Allgemeinen die soziale Bindung zur Wohnungsumgebung. Jüngere Menschen ziehen insgesamt häufiger um, im Alter nimmt dann meist die Umzugshäufigkeit ab. Der Anteil der innerhalb Regensburgs umziehenden 30- bis 64-jährigen lag in der Blockgruppe Safferlingstraße

<sup>34</sup> Die Bezugsquoten von Mindestsicherungsleistungen sind ein Indikator für das Ausmaß der Einkommensarmut. Aus verschiedenen Gründen (Unkenntnis, Scham, Angst vor staatlicher Kontrolle, gefürchteter Regress auf Familienangehörige, Verlust angesparter – wenn auch kleiner – Vermögen, Überforderung mit komplexen Formularen und Behördengängen etc.) ist die Nichtinanspruchnahme von Sozialleistungen allerdings teilweise relativ hoch, obwohl eine Berechtigung vorliegen würde (Becker 2007). Die hier erwähnten Indikatoren stellen also nicht das gesamte Ausmaß der Armutgefährdung dar, sondern zeigen, in welchem Maß die entsprechenden Leistungen zur Sicherung des soziokulturellen Existenzminimums verwendet werden.

im Zeitraum von 2007 bis 2009 zwischen 7,5 und unter 10%. Im stadtweiten Vergleich ist das ein leicht überdurchschnittlicher Wert. Am höchsten war diese Umzugsfrequenz mit über 12,5% in den Blockgruppen Siemensstraße und Westhafen, beide ebenfalls im Stadtosten gelegen. Diese sind allerdings hauptsächlich durch gewerbliche und/oder öffentliche Nutzung geprägt und haben deshalb eine deutlich geringere Bevölkerungsdichte.<sup>41</sup>

Aus der Befragung zur „Integration in Regensburg“ lässt sich ablesen, dass die Zufriedenheit mit der eigenen Wohnung bei Personen mit Migrationshintergrund niedriger als bei Personen ohne Migrationshintergrund ist. Dies betrifft die Wohnkosten, den Zustand des Hauses sowie die Größe der Wohnung. Lediglich bei den Einkaufsmöglichkeiten ist die Zufriedenheit bei Personen mit Migrationshintergrund höher. Bei der Verkehrsanbindung und dem Zusammenleben mit den Nachbarn gibt es keine Unterschiede.

Die Mieter/-innen sind zwar in allen verglichenen Gruppen in der Überzahl, aber bei den Befragten ohne Migrationshintergrund ist die Verteilung sehr viel ausgeglichener. Von ihnen leben 57,6% zur Miete, 42,4% sind Eigentümer/-innen. Von den Befragten mit Migrationshintergrund leben 80,4% zur Miete, und nur 19,6% sind Eigentümer/-innen. Besonders gering ist die Eigentümerquote mit nur 13,3% unter den ausländischen Befragten.

### 3.9 Schulbildung

Lediglich zwischen 10 und unter 20% der Kinder aus der Blockgruppe traten im Schuljahr 2008/09 nach der vierten Grundschulklasse auf ein Gymnasium über. Die Quote gehörte zu den niedrigsten im gesamten Stadtgebiet. Nur Galgenberg-Ost und Schwabelweis-Ost lagen noch deutlich darunter. Darüber hinaus traten auch weniger als 10% an eine Realschule über, ebenfalls einer der niedrigsten Werte der Stadt. Entsprechend betrug die Übertrittsquote auf eine Hauptschule über 60 Prozent und gehörte damit zu den höchsten im stadtweiten Vergleich.<sup>41</sup>

Von den Hauptschülern aus der Blockgruppe schloss in den Schuljahren 2007/08 und 2008/09 insgesamt etwa die Hälfte die Schule mit dem qualifizierten Hauptschulabschluss ab, etwa ein Drittel erreichte den normalen Hauptschulabschluss. Ungefähr ein Sechstel verließ die Schule ohne Abschluss. Dieser

Anteil ist im Regensburger Vergleich überdurchschnittlich hoch (noch höher ist er in den Blockgruppen Barmherzige Brüder/Lilienthalstraße Ost, Rilkestraße und Ardennenstraße/Vogesenstraße).<sup>41</sup>

### 3.10 Kulturelle Teilhabe

Von den 3- bis 14-jährigen Kindern in der Blockgruppe besuchten 2009 unter 5% die Regensburger Sing- und Musikschule. Der Anteil ist einer der niedrigsten im Stadtgebiet. Von den 18- bis 64-jährigen Bewohnern nutzen lediglich zwischen 2,5 und unter 5% die Stadtbüchereien, auch dieser Anteil ist sehr niedrig. Im Kasernenviertel existiert allerdings auch keine Stadtteilbücherei. Die örtlich nächstgelegene ist die ca. einen Kilometer vom Plato-Wild-Ensemble entfernte kleine Stadtteilbücherei Ost im Kerschensteiner Berufsschulzentrum.

### 3.11 Clusteranalysen

Mithilfe der Clusteranalyse, eines explorativen Verfahrens der Statistik, können aus unterschiedlichen Daten Muster gefunden werden und so Gruppen gebildet werden. Wendet man dies auf Stadtteile oder Blockgruppen an, können anhand der Bewohnerstruktur die Blockgruppen Kategorien zugeordnet werden. In der Clusteranalyse auf Basis von zwölf signifikanten Variablen fiel die Blockgruppe Safferingstraße im Regensburger Sozialbericht 2011 in die Kategorie „ausländisch geprägt“. Charakteristisch seien dafür laut Studie ein weit überdurchschnittlicher Ausländeranteil, eine auffallend hohe Binnenwanderung sowie weit unterdurchschnittliche Werte in allen untersuchten Bereichen der sozialen Teilhabe. Dies seien möglicherweise Folgen eines längerfristigen Segregationsprozesses hinsichtlich der ausländischen Bevölkerung, verbunden mit einer nur teilweise ungünstigen Sozialstruktur.<sup>41</sup>

In einer weiteren Clusteranalyse im Rahmen des Sozialberichts auf Basis „harter“ sozialer Indikatoren wurde der Blockgruppe der Clustertyp 4 zugeordnet (Kategorisierung von 1=„kaum soziale Probleme“ bis 6=„sehr viele soziale Probleme“). Geprägt wird dieser Typ durch eine überdurchschnittliche Arbeitslosenquote sowie einen überdurchschnittlichen Anteil von Wohngeldempfängern, Sozialwohnungen und Empfängern von Grundsicherungsleistungen.<sup>41</sup>

# 4. Befragung zur Akzeptanz geplanter Sanierungsmaßnahmen

Ziel der Akzeptanzforschung ist es, die Einstellung zur energetischen Wohngebäudesanierung festzustellen. Die Akzeptanz potenziell durchgeführter Maßnahmen soll so im Vorfeld erhoben werden. Die Befragung bezieht sich dabei nicht auf einen konkreten Bauplan, sondern auf allgemeine Szenarien. Die Fragen sind insofern hypothetisch, als sie sich auf eine mögliche zukünftige Sanierungsmaßnahme und potenzielle Ausstattung der Wohnung beziehen.

## 4.1 Befragungsmethode und Inhalte der Befragung

Es wurde ein Methodenmix mit qualitativen und quantitativen Elementen verwendet. Es fanden leitfadengestützte Interviews mit einem teilstandardisierten Fragebogen statt. Dazu wurden im Zeitraum Oktober bis Anfang Dezember persönlich-mündliche Interviews<sup>35</sup> im Gebäudekomplex durchgeführt. Die Interviews wurden mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet, sofern die Befragten zustimmten, und die Antworten wurden auch schriftlich notiert. Die Befragung entspricht den Standards der Methoden der empirischen Sozialforschung.<sup>26, 27</sup> Die Teilnahme war freiwillig und die Daten wurden anonym erhoben und ausgewertet.

Die Stichprobenziehung basierte auf einer Liste der Wohneinheiten, die im Rahmen des Projekts vom Gemeinnützigen Bauverein zur Verfügung gestellt wurde. Geplant war eine Vollerhebung aller 158 Haushalte des Plato-Wild-Ensembles (Block I und Block II). Es wurden Haushalte befragt, d.h., pro Haushalt sollte ein Gespräch mit einem oder ggf. auch mehreren anwesenden Haushaltsmitgliedern geführt werden. Der Gemeinnützige Bauverein hatte als Vermieter ein großes Interesse daran, die Meinung der Bewohner/-innen zu erfahren. Daher hat er die Bewohner/-innen per Brief auf die geplanten Interviews aufmerksam gemacht und darum gebeten, an der Befragung teilzunehmen.

Aus zeitlichen und organisatorischen Gründen war es nicht möglich, alle Haushalte zu befragen. Durch Anfragen wurde aber versucht, eine möglichst hohe Zahl an Interviews in verschiedenen Häusern und bei möglichst unterschiedlichen Bewohnertypen (z. B. Senioren, Alleinlebende, Familien, Migranten aus unterschiedlichen Herkunftsländern) durchzuführen. Dazu

wurden auch Weiterempfehlungen der Befragten an andere Bewohner genutzt (Schneeballverfahren).

Der Gesprächsleitfaden bzw. Fragebogen umfasste 57 Fragen. Diese konnten teilweise kurz mit Ja oder Nein bzw. mit Zustimmung oder Ablehnung beantwortet werden. Diese Antworten wurden statistisch ausgewertet (quantitative Methode der Sozialforschung). Teilweise forderten die Fragen aber auch dazu auf, eigene Erfahrungen, Wünsche oder Einschätzungen anzugeben. Diese Antworten wurden qualitativ ausgewertet.

Der Leitfaden war in mehrere Themenbereiche gegliedert:

1. Angaben zum Haushalt und zu den im Haushalt lebenden Bewohner/-innen
2. Wohnsituation, darunter auch Zufriedenheit mit der Wohnung sowie Wünsche an zukünftige Wohnung
3. Nachbarschaftskontakte, darunter auch Fragen zum Vermieter (Gemeinnütziger Bauverein) und zum sozialen Zusammenhalt bzw. zur sozialen Integration
4. Meinung zu möglichen Sanierungsmaßnahmen, darunter energetische Sanierung allgemein und speziell Wärmedämmung, Raumklima und Fenster sowie Heizung. Hierbei wurden Fragen zu möglichen Szenarien gestellt, z. B. ob ein Bedarf an neuen Fenstern gesehen wird oder ob der Einbau einer Zentralheizung anstelle dezentraler Heizungen gewünscht ist.

Im Rahmen der Vorbesprechungen mit den Projektpartner/-innen sowie auch dem Vorstand des Gemeinnützigen Bauvereins wurde geäußert, dass eine Innendämmung präferiert würde. Die Befragung konzentrierte sich daher auf dieses Szenario und enthielt nicht explizit Fragen zur Außendämmung der Fassade.

Ein kritischer Aspekt der energetischen Gebäudesanierung in bewohntem Zustand ist die Notwendigkeit, zeitweilig die Wohnung zu räumen. Diesbezüglich wurde die Bereitschaft erfragt, ob es akzeptabel wäre, während der Bauarbeiten in einem Wohncontainer unterzukommen oder in eine bereits sanierte Wohnung zu ziehen.

<sup>35</sup> Die Interviews wurden von Matthias Vernim (wissenschaftlicher Mitarbeiter) und den studentischen Hilfskräften Irena Kreisel, Natascha Müller und Veronika Zeichinger geführt.



## 4.2 Die befragten Bewohner/-innen

Die untersuchten 22 Wohngebäude im Plato-Wild-Ensemble (sieben in Baublock I, 15 in Baublock II) beherbergen insgesamt 158 Haushalte, 62 davon in Baublock I und 96 im Baublock II. Im Befragungszeitraum vom 14. Oktober bis 30. November 2013 konnten in 73 Haushalten Interviews durchgeführt werden. Von 36 Haushalten wurde die Interviewanfrage abgelehnt, in den übrigen 49 Haushalten waren im gesamten Zeitraum die Bewohner/-innen nicht persönlich anzutreffen.

	Block I		Block II		Gesamt	
	Anzahl	% in Block I	Anzahl	% in Block II	Anzahl	% in Gesamt
Interview durchgeführt	19	30,6%	54	56,3%	73	46,2%
Interview abgelehnt	9	14,5%	27	28,1%	36	22,8%
nicht angetroffen	34	54,8%	15	15,6%	49	31,0%
<b>Gesamt (Grundgesamtheit Haushalte)</b>	<b>62</b>	<b>100,0%</b>	<b>96</b>	<b>100,0%</b>	<b>158</b>	<b>100,0%</b>

Tab. 37 Grundgesamtheit und Ausschöpfung der Befragung (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Da die geplanten Sanierungsmaßnahmen des Gemeinnützigen Bauvereins im Block II beginnen sollten lag ein besonderer Fokus darauf, von den dortigen Haushalten möglichst viele zu erreichen. Dementsprechend lag für den Block II auch die Ausschöpfungsquote mit 56,3% deutlich höher als für Block I (30,6%). Insgesamt konnten mit 46,2% aller Haushalte Interviews geführt werden, 22,8% lehnten ein Gespräch ab und 31% waren nicht erreichbar.

Einige Personen gaben eine Begründung für die Ablehnung des Gesprächs an. Häufig genannt wurde dabei fehlendes Interesse am Thema oder Zeitmangel. Einige ältere Personen meinten, dass sie „das jetzt im Alter nicht mehr brauchen“ bzw. dass ihre Meinung ohnehin nicht mehr zählen würde. Andere waren erst vor Kurzem eingezogen und trauten sich deshalb keine fundierten Einschätzungen zu.

Teilweise äußerten Bewohner/-innen Bedenken, eine unbekannte Person in die Wohnung zu lassen. Dazu muss erwähnt werden, dass sich das Informationsschreiben des Bauvereins zu Beginn des Befragungszeitraums, in dem die Interviews angekündigt wurden und um Teilnahme gebeten wurde, etwas verzögerte. Darüber hinaus hatte es, so einige Bewohner/-innen, in jüngerer Vergangenheit tatsächlich Fälle von Diebstahl im Viertel gegeben.

Die relativ hohe Zahl von nicht erreichten Haushalten hing vermutlich unter anderem damit zusammen, dass viele der berufstätigen Bewohner/-innen im Ensemble in Schichtdiensten arbeiten und deshalb zu

sehr verschiedenen bzw. ungewöhnlichen Tageszeiten zu Hause anzutreffen sind. Diesem Umstand wurde Rechnung getragen, indem die Interviewer/-innen immer wieder zu unterschiedlichen Zeiten an den Wohnungen klingelten. Teilweise war aber dennoch im gesamten Zeitraum trotz mehrmaliger Versuche niemand anzutreffen.

### 4.2.1 Geschlecht und Alter

Pro Haushalt wurde grundsätzlich eine Person befragt, auf die sich dann auch die Angaben zu Geschlecht und Alter beziehen. In einigen Fällen waren zwar auch zwei oder mehr Bewohner/-innen während des Interviews anwesend, aber auch dann wurde primär die Person befragt, deren persönliche Angaben zu Beginn des Gesprächs protokolliert worden waren.

Von den 73 Befragten waren 45 weiblich und 28 männlich, der Frauenanteil betrug demnach 61,6%. Eine mögliche Ursache für diese ungleiche Verteilung war ein geringerer (Vollzeit-)Erwerbstätigenanteil unter den Bewohnerinnen, insbesondere unter den Müttern kleiner Kinder. Diese waren tendenziell leichter in den Wohnungen anzutreffen und standen deshalb eher für Fragen zur Verfügung. Außerdem war unter den Rentner/-innen bzw. Pensionär/-innen, also einer Gruppe, die vergleichsweise viel Zeit für die Teilnahme an einer Befragung hat, der Frauenanteil durch die höhere Lebenserwartung generell höher.

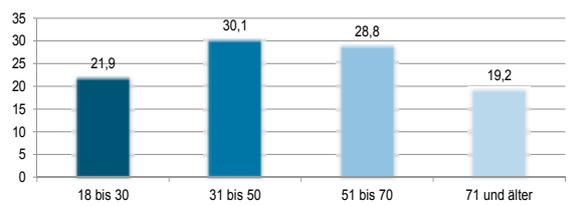


Abb. 45 Befragte nach Altersgruppen (in %) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Hinsichtlich des Alters war die Gruppe der 31- bis 50-Jährigen mit 22 Personen (30,1%) unter den Befragten am häufigsten vertreten, gefolgt von den 51- bis 70-Jährigen mit 21 Personen (28,8%) und den 18- bis 30-Jährigen mit 16 (21,9%). Älter als 70 waren 14 Befragte (19,2%). Das Durchschnittsalter aller Teilnehmer/-innen lag bei 49,6 Jahren.

### 4.2.2 Haushaltsstrukturen

In den meisten der befragten Haushalte, nämlich insgesamt 59 (80,9%), lebten eine (31; 42,5%) oder

zwei Personen (28; 38,4%). Weitere zehn Haushalte bestanden aus drei Personen (13,7%), noch größere Haushalte gab es in vier Fällen (5,5%).

In 14 der 73 befragten Haushalte (oder 19,2%) lebten minderjährige Kinder. Diese teilten sich auf in vier Haushalte mit jeweils einem Kind, sechs Haushalte mit zwei Kindern sowie jeweils zwei Haushalte mit drei bzw. vier minderjährigen Kindern. Darüber hinaus lebten in sechs Haushalten erwachsene Kinder im Alter zwischen 18 und 23 mit ihren Eltern in einer Wohnung.

Haushalte	Häufigkeit	Prozent
mit 4 minderjährigen Kindern	2	2,7%
mit 3 minderjährigen Kindern	2	2,7%
mit 2 minderjährigen Kindern	6	8,2%
mit 1 minderjährigen Kind	4	5,5%
ohne minderjähriges Kind	59	80,8%
Gesamt	73	100,0%

Tab. 38 Haushalte nach Zahl der minderjährigen Kinder (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Insgesamt lebten demnach in den befragten Haushalten 36 Kinder mit ihren Eltern in einer Wohnung. 14 von ihnen, oder 38,9% waren zwischen null und unter drei Jahre alt, weitere acht (oder 22,2%) zwischen drei und unter sechs. Zusammengenommen sind damit gut 61% der Kinder im Kinderkrippen- bzw. Kindergartenalter.

#### 4.2.3 Herkunft und Sprache

17 der 73 Befragten wurden im Ausland geboren, das entspricht einem Anteil von 23,3% bzw. knapp einem Viertel. Die Herkunftsländer waren dabei sehr heterogen, nur Rumänien wurde mehr als zweimal genannt.

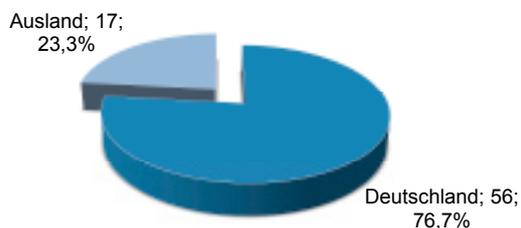


Abb. 46 Herkunft der Befragten (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Die Verteilung der Erstsprachen, also der Sprachen, in denen die Befragten lesen und schreiben gelernt haben, ist der Verteilung der Herkunftsländer sehr ähnlich. 16 Personen (21,9%) haben als Kind zunächst eine andere Sprache gelernt, 57 (78,1%) sind mit Deutsch als Erstsprache aufgewachsen. Die am häufigsten genannte ausländische Erstsprache war, entsprechend der Herkunftsländer, Rumänisch.

### 4.3 Die Wohnung

#### 4.3.1 Bisherige und weitere Wohndauer

Sieben der befragten Personen (9,6%) waren erst innerhalb des letzten Jahres ins Plato-Wild-Ensemble gezogen; weitere 21 (28,8%) wohnten dort seit ein bis fünf Jahren. Auf eine Wohndauer zwischen sechs und zehn Jahren kamen weitere sechs Personen (8,2%). Zusammengenommen waren also knapp 47% der Befragten innerhalb der letzten zehn Jahre ins Ensemble gezogen (Abb. 46).

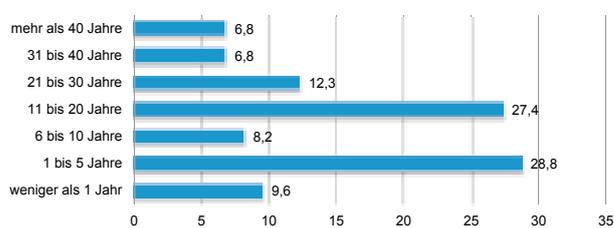


Abb. 47 Bisherige Wohndauer der Befragten im Plato-Wild-Ensemble (in %) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

20 der 73 befragten Bewohner/-innen (27,4%) leben seit elf bis 20 Jahren in dem Gebäudekomplex, weitere neun (12,3%) seit 21 bis 30 Jahren. Auf 31 bis 40 Jahre Wohndauer kommen fünf Personen (6,8%), und ebenso viele leben seit über 40 Jahren im Ensemble.

Die Frage nach der gewünschten weiteren Wohndauer in der Wohnung bzw. im Plato-Wild-Ensemble haben 72 der 73 Befragten beantwortet. Die deutliche Mehrheit, nämlich 57 Personen bzw. 79,2%, wünschte dauerhaft in der jetzigen Wohnung bzw. im Ensemble zu bleiben.

Weitere neun Personen (12,5%) planten zumindest mittelfristig keinen Umzug. Einen baldigen Umzug planten sechs der befragten Bewohner/-innen, ein Anteil von 8,3%. Zur weiteren Wohndauer äußerten einige der Befragten, dass sie zwar gerne langfristig im Ensemble bleiben würden, aber bald eine größere Wohnung bräuchten:

„Ich bleibe länger hier, wenn eine größere Wohnung frei wird.“

„Brauchen innerhalb des nächsten Jahres eine größere Wohnung.“

„Habe schon mehrfach eine größere Wohnung beim Bauverein beantragt, aber bisher keine bekommen.“

### 4.3.2 Zufriedenheit mit der Wohnsituation

Der Abschnitt zur Zufriedenheit mit der jetzigen Wohnsituation gliederte sich in der Befragung in vier Fragen zu den Themen Ausstattung, Miethöhe, Heizkosten und Stromkosten mit vorgegebenen Antwortkategorien sowie eine offene Frage nach weiteren Problemen im Alltag (Abb. 48).

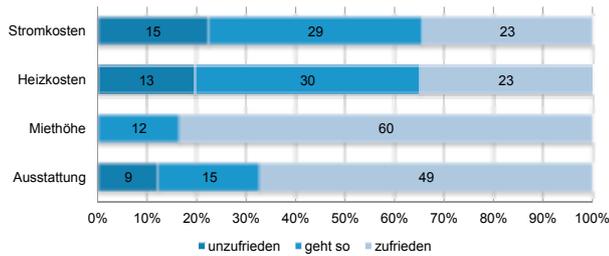


Abb. 48 Zufriedenheit mit der jetzigen Wohnsituation (Anzahl der Nennungen und Verteilung in %) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Mit der Ausstattung ihrer Wohnung (Heizung, sanitäre Anlagen, Fenster, Böden usw.) waren alles in allem 67,1% der Befragten (49 Personen) zufrieden, 20,5% (15) antworteten „geht so“ und 12,3% (9) waren unzufrieden. Dabei ist anzumerken, dass einige der interviewten Bewohner/-innen ihre Wohnungen selbst saniert haben.

Besonders positiv äußerten sich die Teilnehmer/-innen zur Höhe der Miete: mit dieser sind 83,3% (60 Personen) zufrieden, die restlichen 16,7% (12) antworteten „geht so“. Unzufrieden war diesbezüglich niemand unter den Befragten.

Die Heizkosten wurden dagegen kritischer gesehen: nur 34,8% (23 Personen) äußerten sich hier zufrieden, 45,5% (30) antworteten „geht so“ und 19,7% (13) sind unzufrieden.

Die Stromkosten waren noch etwas negativer bewertet als die Heizkosten: 34,3% (23 Personen) waren hier zufrieden, weitere 43,3% (29) antworteten „geht so“ und 22,4% (15) waren mit den Stromkosten unzufrieden. Das ist der höchste Anteil an Unzufriedenen von allen gestellten Fragen.

Abschließend konnten die Teilnehmer/-innen im Rahmen einer offenen Frage konkrete Probleme in ihrem Wohnalltag nennen. Besonders häufig wurden dabei entweder aktuelle oder frühere Schwierigkeiten mit feuchtem Raumklima und Schimmelbildung genannt:

„Meine Kinder haben schon Gesundheitsbeschwerden.“

„Mussten die neue Küche wieder abbauen wegen Schimmel dahinter. Die ganze Wand war schwarz nach nur einem Jahr.“

„Feuchtes Raumklima macht Wäschetrocknen schwer; Speicher schmutzig; Schimmel in Wohnung.“

„Schimmelbefall im Wohnzimmer durch Bauverein behoben; Wiederkehrendes Schimmelproblem im Schlafzimmer.“

„Ständige Schimmelbildung in Bad und Küche als auch in den Ecken am Fenster v. a. im Winter.“

27 Haushalte hatten demnach entweder früher oder heute Probleme mit Schimmelbildung in der Wohnung, in 18 Haushalten war das Problem auch zum Zeitpunkt des Interviews vorhanden. 18 weitere nannten auch die Feuchtigkeit in den Kellern als Problem (Abb. 49):

„Keller sehr feucht, starker Schimmel. Wir haben keinen Lagerplatz.“

„Keller ist extrem feucht, deshalb Schimmelgeruch.“

„Sehr feuchter Keller mit Schimmel, kann daher die Kellerräume nicht verwenden.“

„Schimmel durch aufsteigende Feuchtigkeit aus dem Keller durch die Wände im Schlafzimmer und Bad.“

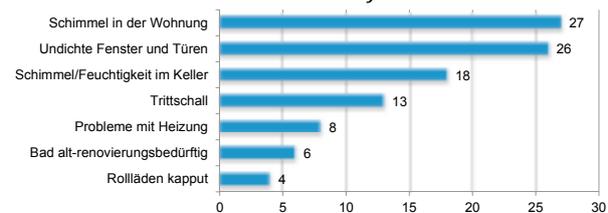


Abb. 49 Häufig genannte Probleme im Wohnalltag (Anzahl der Nennungen) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Ein weiteres häufig genanntes Thema waren undichte Fenster und Türen mit 26 Nennungen:

„Ameisen und Fliegen kommen durch geschlossene Fenster in die Wohnung.“

„Schlafzimmerfenster undicht.“

„Wind zieht stark durch die Holzfenster rein.“

„Wohnungstür ist schon sehr alt -> es zieht kalt rein und die Tür geht schon bei kleinem Luftzug von alleine auf.“

Andere genannte Schwierigkeiten waren der Trittschall (also Lärmbelästigung durch (Schritt-)Geräusche, 13 Nennungen), Probleme mit der Heizung (8 Nennungen), renovierungsbedürftige Bäder (6 Nennungen) und kaputte Rollläden (4 Nennungen).

### 4.3.3 Wünsche an die zukünftige Wohnung

Nach den Fragen zur aktuellen Wohnsituation wurden nun Wünsche für die Sanierung thematisiert. Konkret abgefragt wurde der Wunsch nach einer neuen Heizung, neuen Fenstern, einem Balkon, einem gemeinschaftlichen Waschraum sowie einem Trockenraum. Zusätzlich konnten die Befragten in einer offenen Frage Vorschläge für die Gestaltung der Innenhöfe im Ensemble formulieren (Abb. 50).

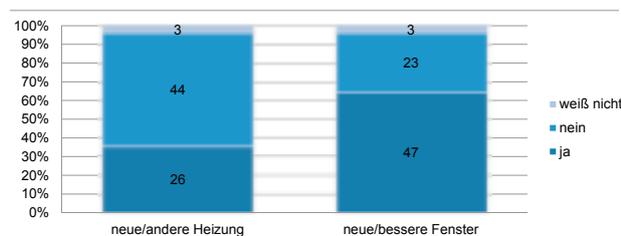


Abb. 50 Wunsch nach neuer/anderer Heizung bzw. neuen/besseren Fenstern (Anzahl der Nennungen und Verteilung in %) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Den Wunsch nach einer neuen bzw. anderen Heizung hegten lediglich 35,6% (26 von 73) der befragten Bewohner/-innen, 60,3% (44 Personen) waren mit ihrer aktuellen Heizung zufrieden. Betrachtet man dabei nur die Befragten, die bis dato noch nicht über eine Zentralheizung verfügten, steigt der Anteil derjenigen mit Wunsch nach einer neuen/anderen Heizung leicht auf 40,7% (22 von 54); aber auch in dieser Gruppe hegte eine Mehrheit von 53,7% (29 von 54) keinen entsprechenden Wunsch. Neue bzw. bessere Fenster wünschte sich dagegen eine Mehrheit von 64,4% (47 von 73) der Befragten, und nur 31,5% (23 Personen) wollten lieber ihre aktuellen Fenster beibehalten.

Noch ausgeprägter als der Wunsch nach neuen Fenstern war der nach einem Balkon: 68,5% der befragten Bewohner/-innen (50 Personen) wünschten sich einen solchen, nur 12,3% (9 Personen) haben kein Interesse. Zwölf Befragte (16,4%) verfügten bereits jetzt über einen Balkon in ihrer Wohnung. Rechnet man diese heraus, wird klar, dass von den 61 Bewohner/-innen ohne Balkon knapp 82% gerne einen gehabt hätten (Abb. 51).

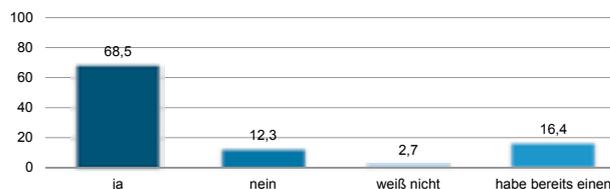


Abb. 51 Haben Sie den Wunsch nach einem Balkon? (in %) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

An separaten Gemeinschaftsräumen für Waschmaschinen und Trockner bestand kein großer Bedarf: Nur 19,2% (14 Personen) wünschten sich die Schaffung einer solchen Räumlichkeit, 76,7% (56 Personen) hatten kein Interesse.

Ein Trockenraum, in dem vor allem im Winter und bei regnerischem Wetter die frisch gewaschene Wäsche aufgehängt werden könnte (Wäscheleinen in den Innenhöfen waren vorhanden), wurde ebenfalls nur von wenigen Befragten gewünscht, genauer von 11% (8 Personen). 39,7% (29 Befragte) hatten kein Interesse an einem solchen Angebot. In einigen Häusern des Ensembles existierten bereits entsprechende Räumlichkeiten, wobei diese aber zumindest von den befragten Personen nur wenig genutzt wurden.

Auf die offene Frage nach Wünschen oder Vorschlägen für die Gestaltung der Innenhöfe wurde am häufigsten eine schönere Gestaltung bzw. Überarbeitung der Spielplätze genannt:

„Die Rutsche ist rostig und eine Verletzungsgefahr für die Kinder.“

„Spielplatz erneuern, der wird kaum genutzt.“

„Bessere Ausstattung des Spielplatzes; mehr Spielgeräte.“

Auch der Wunsch nach mehr Gartenbepflanzung bzw. mehr Bäumen und Blumen wurde relativ oft geäußert (Abb. 53):

„Mehr Bepflanzung evtl. Gärten wären schön.“

„Mehr Pflanzen, bunter.“

Ebenfalls öfter genannt wurden mehr Bänke bzw. Sitzgelegenheiten in den Innenhöfen sowie eine Verbesserung der Situation rund um die Mülltonnen, in die offensichtlich auch Fremde ihren Abfall entsorgen:

„Mehr Müllcontainer. Die sind ständig voll und im Sommer Geruchsbelästigung durch Mülltüten neben den Tonnen.“

„Müllhäuschen/ Gitterbox für Mülltonnen, damit Fremde nicht mehr unbefugt Müll abladen können.“

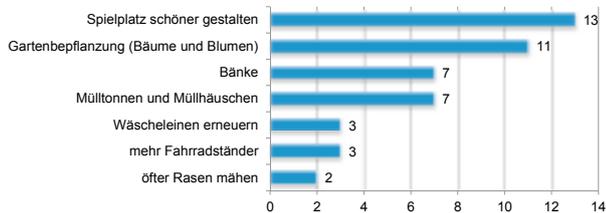


Abb. 52 Wünsche/Vorschläge für die Gestaltung des Innenhofs? (Anzahl Nennungen)  
(Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

## 4.4 Soziale Kontakte und soziale Integration

Ein Aspekt der Befragung richtete sich auch auf die sozialen Kontakte und die soziale Integration: Hierunter fallen die Nachbarschaftskontakte wie auch die Mitgliedschaft in Vereinen und speziell im Bauverein. Insofern stellt sich die Frage, wie das Zusammenleben im Plato-Wild-Ensemble bewertet wird.

### 4.4.1 Der gemeinnützige Bauverein

Die Besonderheit des genossenschaftlichen Bauvereins lässt die Frage aufkommen, inwieweit der Gemeinschaftsgedanke gelebt wird. Die Tatsache, dass der Gemeinnützige Bauverein e.V. genossenschaftlich organisiert ist, spielte für die meisten befragten Bewohner/-innen eine wichtige Rolle. 63 % (46 Personen) äußerten sich entsprechend (Abb. 52).

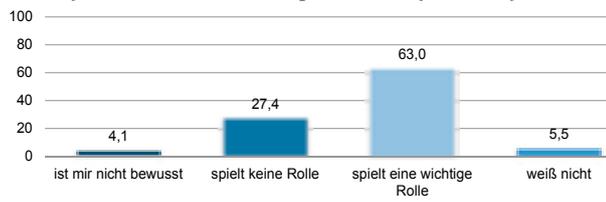


Abb. 53 Welche Rolle spielt für Sie, dass Ihr Vermieter, der Gemeinnützige Bauverein, eine Genossenschaft ist? (in %)  
(Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Bei dieser Frage gaben die Befragten allgemein positive Kommentare zur Arbeit des Bauvereins ab:

„Beim Einzug damals wurde sehr geholfen.“

„Sehr positiv sind die persönlichen Ansprechpartner.“

„Schneller Service bei Problemen.“

Der Gemeinnützige Bauverein hält regelmäßige Mieterversammlungen im nahe gelegenen Antoniushaus ab, die üblicherweise freitagabends stattfinden. An diesen Versammlungen nehmen allerdings nur 30,1 % (22 Personen) der befragten Bewohner/-innen regelmäßig teil, 67,1 % (49 Personen) taten dies nicht.

Die relativ geringe regelmäßige Teilnahme liegt allerdings bei vielen Befragten nicht an mangelndem Interesse, wie folgende Äußerungen beispielhaft zeigen:

„wegen Schichtarbeit nicht möglich.“

„würde hingehen, aber es geht zeitlich nicht.“

„wenn es zeitlich gehen würde, würde ich teilnehmen.“

Anscheinend war also der Zeitpunkt der Mieterversammlungen für viele Bewohner/-innen ein Hindernis, so dass sie nicht teilnahmen, obwohl sie durchaus Interesse gehabt hätten.

### 4.4.2 Zusammenleben im Ensemble

Nachbarschaftskontakte stellen ein wesentliches Element der sozialen Integration dar. Bei bundesweiten Befragungen hat sich gezeigt, dass die interethnischen nachbarschaftlichen Kontakte meist sehr häufig sind, zumeist täglich oder mehrmals wöchentlich. In der Befragung „Integration in Regensburg“ bestätigte sich dieser Befund: Es gab kaum Unterschiede zwischen Personen mit oder ohne Migrationshintergrund in der Beurteilung des Zusammenlebens mit den Nachbarn. Allerdings zeigten sich Unterschiede zwischen den Stadtteilen: Im Osten (darunter auch das Kasernenviertel) war die Zufriedenheit beim nachbarschaftlichen Zusammenleben mit Abstand am geringsten.<sup>12</sup>

Im Plato-Wild-Ensemble fiel nach der vorliegenden Haushaltsbefragung die Einschätzung dieses Faktors relativ gut aus. Die Kontakte zu den Nachbarn im Wohnblock schätzten 71,2 % der Befragten (52 Personen) als gut ein, weitere 27,4 % (20 Personen) waren der Ansicht, dass die Bewohner/-innen eher nebeneinanderher lebten. Als schlecht oder konfliktbeladen empfand den nachbarschaftlichen Kontakt keine/-r der Befragten (Abb. 54).

Die Bevölkerung im gesamten Kasernenviertel, und in den Straßenzügen rund um das Plato-Wild-Ensemble im Besonderen, ist hinsichtlich ihrer Herkunft äußerst heterogen. Hier leben also viele Menschen mit unterschiedlichen kulturellen Hintergründen auf

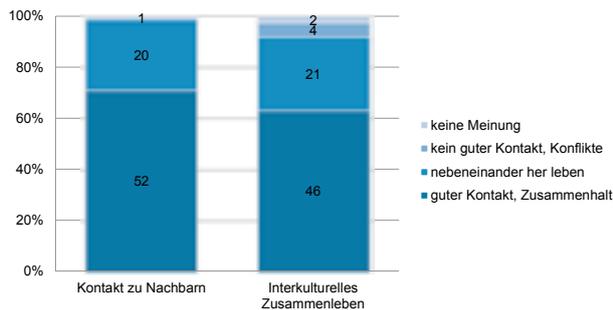


Abb. 54 Einschätzung des Zusammenlebens im Wohnblock (Anzahl der Nennungen und Verteilung in %) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

relativ engem Raum zusammen. Deshalb wurden die Teilnehmer/-innen der Befragung auch nach ihrer Einschätzung des interkulturellen Zusammenlebens im Wohnblock gefragt. Dabei gab erneut eine Mehrheit von 63% (46 Personen) an, dass zwischen den Kulturen ein guter Kontakt besteht. Weitere 28,8% (21 Personen) sahen eher ein Nebeneinander. Eine kleine Gruppe von vier Personen (5,5%) berichtete von eher schlechtem Kontakt bzw. Konflikten.

#### 4.4.3 Vereine, Institutionen und Angebote im Viertel

Auch die Mitgliedschaft in Vereinen ist ein Aspekt der sozialen Integration; in der Befragung „Integration in Deutschland“ hat sich gezeigt, dass in Regensburg 62% der Personen ohne Migrationshintergrund und 45,7% der Personen mit Migrationshintergrund in einem Verein Mitglied sind. Die meisten Befragten haben über die Mitgliedschaft im Gemeinnützigen Bauverein e. V. hinaus keine Verbindungen zu anderen Vereinen oder Institutionen im Viertel. Nur sieben Bewohner/-innen gaben an, in einem örtlichen Verein Mitglied zu sein.

Dabei war der Sport-Club Regensburg e. V. in der nahe gelegenen Alfons-Auer-Straße (ca. 800 m Fußweg) der einzige häufiger genannte Verein.

Weitere Angebote im Viertel, die von einzelnen Bewohner/-innen genutzt wurden, sind religiös orientierte bzw. kirchliche Angebote (Veranstaltungen der Kirchengemeinden, Kaffeetreffen des Katholischen Frauenbunds), Veranstaltungen in der Gaststätte Antoniushaus (ca. 700 m Fußweg) sowie die direkt gegenüber des Plato-Wild-Ensembles gelegene Kleingartenanlage Guerickestraße.

Von den 73 Befragten gaben 24 einen Bedarf an weiteren Angeboten im Viertel an. Vor allem Ideen für

Kinder und Jugendliche (je vier Nennungen) wurden genannt. So etwa ein Ausbau des Spielplatzes gegenüber dem Ensemble, eventuell mit Grillmöglichkeit und mehr Bänken, ein Jugendzentrum sowie ein zusätzlicher Kindergarten. Aber auch Angebote für Senioren (z. B. Gymnastik, Treffpunkt) sowie ein kleiner Laden oder Kiosk, der auch für ältere Menschen fußläufig gut erreichbar wäre, wurden gewünscht (je drei Nennungen). Außerdem bestand Interesse an abschließbaren Müllhäuschen und Mieterparkplätzen sowie an Sportangeboten (je zwei Nennungen). Jeweils eine befragte Person wünschte sich Glascontainer in der Nähe, eine Nachbarschaftshilfe, ein Schwimmbad sowie Angebote für Alleinerziehende und Migranten.

## 4.5 Sanierungsmaßnahmen

### 4.5.1 Allgemeines

Zunächst wurden die Bewohner/-innen gefragt, ob ihnen bekannt sei, dass momentan in Deutschland viele Häuser energetisch saniert würden, also z. B. Fassaden gedämmt, neue Fenster eingesetzt oder Heizungsanlagen modernisiert würden. Diese Tatsache war gut 86% der Befragten (63 von 73) bekannt. Näher mit dem Thema der energetischen Sanierung befasst hatten sich allerdings lediglich 31,5% (23 Personen) (Abb. 56).

Das Thema der energetischen Sanierung war bei den Befragten überwiegend positiv besetzt: 75% (54 von 72) hatten eine gute Meinung zur Thematik, gut 18% (13 Personen) hatten sich (noch) keine Meinung gebildet bzw. waren gespalten. Negativ wurde das Thema nur von knapp 7% der befragten Bewohner/-innen (fünf Personen) gesehen.

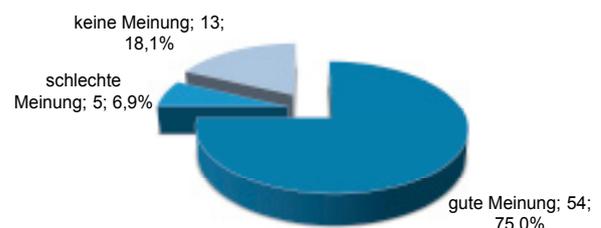


Abb. 55 Haben Sie zum Thema „Energetische Sanierung“ eine Meinung? (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Jede größere Sanierungsmaßnahme in Wohngebäuden bringt während der Bauphase eine Reihe von Unannehmlichkeiten für die Bewohner/-innen mit sich. Handwerker arbeiten im Gebäude und auch direkt in den Wohnungen, die Bauarbeiten verursachen Lärm und Schmutz. Die meisten Befragten störten diese Aspekte allerdings nicht oder nur wenig (Abb. 56).

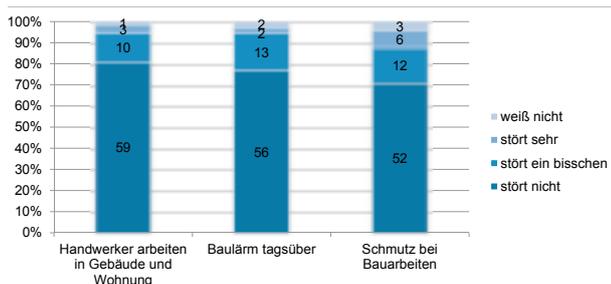


Abb. 56 Stören Sie diese Aspekte einer Sanierungsmaßnahme? (Anzahl der Nennungen und Verteilung in %) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Dass Handwerker sowohl im Gebäude als auch in den Wohnungen arbeiten, störte 59 Personen (80,8%) nicht, weitere zehn Personen (13,7%) störte dies nur ein bisschen. Sehr gestört fühlten sich davon nur drei Personen (4,1%). Der tagsüber anfallende Baulärm störte 56 Personen (76,6%) nicht, 13 Personen ein bisschen (17,8%) und zwei Personen (2,7%) sehr. Am ehesten fühlten sich die Befragten vom Schmutz, der bei Sanierungsarbeiten entsteht, gestört: Hier sah zwar ebenfalls eine Mehrheit von 52 Personen (71,2%) kein Problem, aber insgesamt 18 Personen (24,6%) fühlten sich durch den Schmutz gestört (sechs davon sehr, zwölf ein bisschen).

Die Sanierung der Wohnungen kann unter Umständen, insbesondere wenn die Außenwände raumseitig gedämmt würden, einen zwischenzeitigen Umzug der Bewohner/-innen in eine andere Wohnung oder einen Wohncontainer notwendig machen. Eine solche Umquartierung während der Baumaßnahmen fanden allerdings nur 23 Befragte (31,5%) akzeptabel, 45 (61,6%) waren dagegen. Weitere fünf Befragte (6,8%) haben dazu keine klare Meinung.

Einige derjenigen, die eine Umquartierung akzeptiert hätte, könnten sich eine solche jedoch nur in eine andere Wohnung vorstellen und lehnten eine Containerlösung ab:

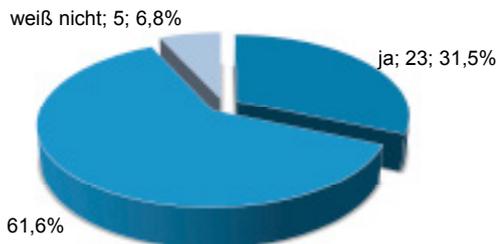


Abb. 57 Wäre es für Sie akzeptabel, wenn Sie für einige Zeit aus Ihrer Wohnung ausziehen müssten und während der Sanierung woanders einquartiert würden (z.B. in einem Baucontainer oder einer anderen Wohnung?) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

„Aber die Frage ist: Was passiert mit den Möbeln?“

„Was passiert mit den Möbeln?“

Die generelle Ablehnung einer Umquartierung wurde beispielsweise mit Unannehmlichkeiten für die Kinder begründet. Eine Befragte wies darauf hin, dass eine Außendämmung für die Bewohner/-innen alles viel einfacher machen würde, da kein Umzug und kein Verrücken der Möbel notwendig wären.

Für die Akzeptanz einer Umquartierung ist auch die Dauer einer solchen Maßnahme entscheidend. Deshalb konnten die 23 Befragten, die grundsätzlich mit einer vorübergehenden Umquartierung einverstanden wären, anschließend angeben, wie lange diese aus ihrer Sicht maximal dauern dürfte. Die beiden häufigsten Angaben waren dabei „zwei Monate“ und „so lange wie nötig“ mit jeweils sechs Nennungen. Darauf folgten „sechs Monate“ mit drei Nennungen sowie „eine Woche“, „einen Monat“ und „drei Monate“ mit jeweils zwei Nennungen (Abb. 58).

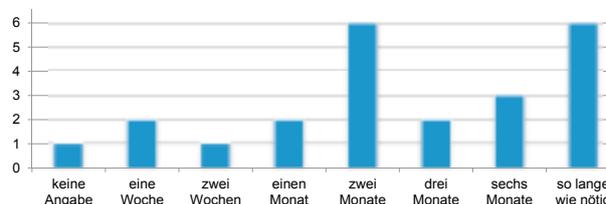


Abb. 58 Wie lange sollte aus Ihrer Sicht eine solche Umquartierung höchstens dauern? (Anzahl der Nennungen) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Eine andere Möglichkeit wäre, dass die Bewohner/-innen nach und nach komplett in bereits sanierte Wohnungen im Ensemble umziehen und erst dann ihre bisherige Wohnung saniert wurde. Diese Variante wäre für 29 Befragte (39,7%) akzeptabel gewesen,

aber auch hier war eine Mehrheit von 42 Personen (57,5 %) dagegen. Zwei Befragte (2,7 %) hatten keine klare Meinung.



Abb. 59 Wäre es für Sie akzeptabel, in eine bereits sanierte Wohnung im gleichen Gebäude umzuziehen?  
(Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Viele derjenigen, die einen kompletten Umzug in eine sanierte Wohnung akzeptiert hätten, äußerten dabei konkrete Wünsche bzw. Anforderungen an diese neue Wohnung. Besonders oft wurde dabei der Wunsch nach mehr Platz genannt:

*„Aber nur in eine größere Wohnung.“*

*„Am besten in eine Vier-Zi.-Wohnung.“*

*„Bei passenden Umrissen und passender Größe.“*

*„Aber nur in eine Wohnung im Erdgeschoss oder 1. Stock wegen meiner Gehbehinderung.“*

*„Ja, vor allem wenn weiter unten, Erdgeschoss. Dann sehr gerne.“*

Andere geben an, dass die neue Wohnung der bisherigen möglichst ähnlich sein sollte, sei es in räumlicher oder finanzieller Hinsicht:

*„Bei gleicher Qualität und Größe der Wohnung.“*

*„Wenn sie ähnlich geschnitten ist und von der Wohnfläche und vom Preis her ähnlich.“*

Der Aspekt des wahrscheinlich höheren Mietniveaus einer sanierten Wohnung wurde mehrmals angesprochen:

*„Wenn Miete gleich bleibt.“*

*„Wenn Miete stimmt.“*

Einige der Befragten, die einen Umzug ablehnten, hatten auch dafür Gründe geäußert. Zwei Personen hatten in ihre aktuelle Wohnung bereits viel investiert und selbst saniert und wollten deshalb nicht wechseln:

*„Nein, wir haben hier gerade alles schön gemacht.“*

*„Nein, wir haben schon zu viel in die jetzige Wohnung investiert.“*

Ein Befragter fühlte sich zu alt für einen Umzug und befürchtete zu großen Stress. Eine andere Bewohnerin hatte generell kein Interesse an einer Sanierungsmaßnahme und lehnte deshalb auch einen Umzug ab.

#### 4.5.2 Solarstromanlage

Im Zuge der Sanierung des Plato-Wild-Ensembles könnten auf den Hausdächern Fotovoltaikanlagen zur Stromerzeugung angebracht werden. Grundsätzlich fanden 48 der befragten Bewohner/-innen (67,6 %) es gut, wenn eine Solarstromanlage auf dem Dach montiert würde, nur sieben (9,9 %) fanden dies schlecht. 16 Befragte (22,5 %) hatten dazu keine Meinung.

Die Investition in Solarstromanlagen könnte der Gemeinnützige Bauverein über Mieterhöhungen refinanzieren und gleichzeitig als Stromproduzent seinen Mieter/-innen kostengünstig den eigenproduzierten Strom anbieten. Eine solche Variante hätten 47 der befragten Bewohner/-innen (65,3 %) akzeptiert. 17 (23,6 %) waren dagegen. Acht weitere Befragte (11,1 %) haben keine klare Meinung dazu.

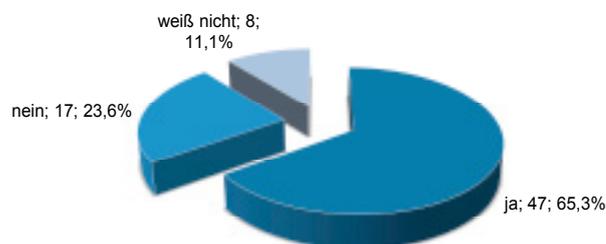


Abb. 60 Angenommen, auf dem Dach wird eine Solarstromanlage gebaut. Würden Sie eine etwas höhere Miete akzeptieren, wenn Sie dafür preisgünstigen Strom direkt vom Bauverein beziehen könnten?  
(Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Zu dieser Frage gaben viele Bewohner/-innen ergänzende Kommentare ab. Viele davon beschäftigten sich mit den finanziellen Aspekten einer solchen Variante. Viele der Zustimmenden schränkten ihre Antwort dahingehend ein, dass unterm Strich keine oder nur

eine geringe zusätzliche finanzielle Belastung für die Mieter/-innen entstehen dürfte:

*„Erhöhung der Miete muss im Verhältnis zur Einsparung bei Energie stehen.“*

*„Mietpreissteigerung muss im Rahmen bleiben.“*

*„Nur wenn insgesamt günstiger oder gleich.“*

*„Nur wenn Preisvorteil vorhanden.“*

*„Bin skeptisch, ob das tatsächlich günstiger wird.“*

*„Wenn Wohnkosten insgesamt gleich bleiben.“*

*„Der Bauverein verdient sich damit das Geld.“*

Ein Bewohner machte seine Akzeptanz einer Solarstromversorgung von „ausführlicher Vorabinformation“ abhängig. Ein anderer Befragter lehnte eine solche Variante ab, da der Strom aus einer solchen Anlage immer noch teurer sei als „billiger Atomstrom von der REWAG“. Außerdem dürfe es „keinen Zwang für die Bewohner geben, Ökostrom zu beziehen“.

#### 4.5.3 Wärmedämmung

Wenn im Rahmen der Sanierung des Ensembles die Außenwände der Wohnungen raumseitig gedämmt würden, müssten diese Wände für die Dauer der Arbeiten freigeräumt werden. Diesbezüglich war das Meinungsbild der befragten Bewohner/-innen gespalten: 34 Befragte (47,2 %) hätten das akzeptiert, 33 (45,8 %) nicht. Fünf weitere hatten keine klare Meinung.

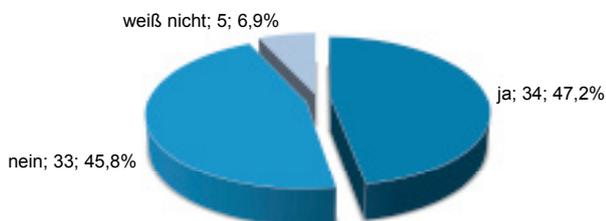


Abb. 61 Für die Innendämmung müssten die Außenwände Ihrer Wohnung für einige Zeit freigeräumt werden. Würden Sie das akzeptieren?  
(Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Viele Befragte wiesen darauf hin, dass ihre Einbauküchen oder andere feststehende Elemente an Außenwänden stünden bzw. befestigt seien:

*„Einbauküche; kann Möbel nicht ohne Hilfe abbauen.“*

*„Dann müssten wir die Küche wieder wegräumen und die Fliesen wegmachen.“*

*„Badewanne und WC an Außenwand.“*

Andere bevorzugten eine Außendämmung bzw. fragten sich, warum eine solche nicht möglich sein soll:

*„Außendämmung ist sinnvoller.“*

*„Wärmedämmung von außen besser, da im Winter sonst Schimmelproblem größer.“*

*„Schimmelbildung an den Wänden durch Innendämmung.“*

Eine raumseitige Dämmung der Außenwände hätte, je nach Dicke der Dämmplatten, einen mehr oder weniger großen Verlust an nutzbarem Wohnraum zur Folge. Auch dazu waren die Befragten gespalten: 33 Personen (45,2 %) hätte das etwas ausgemacht, 37 (50,7 %) hätten damit kein Problem gehabt. Drei weitere haben keine klare Meinung dazu.

Die Einschätzungen bezüglich des Platzverlustes durch die Innendämmung gingen durchaus auseinander:

*„2 bis 3 cm wären o.k.“*

*„Minimaler Verlust o.k., etwa 5 bis 10 cm.“*

Auch hier wiesen einige Befragte auf Probleme mit den Einbauküchen und anderen genau eingepassten Möbeln hin:

*„Nur bei der Einbauküche problematisch. Küchentür geht dann nicht mehr auf.“*

*„Möbel passen dann nicht mehr.“*

#### 4.5.4 Raumklima und Fenster

Im Bereich „Raumklima und Fenster“ wurden die Befragungsteilnehmer/-innen zu ihrem Interesse an neuen Fenstern, einer automatischen Belüftung sowie an einer Schulung zum Thema Raumklima befragt.

Besonders deutlich war das große Interesse an neuen Fenstern: 53 Befragte (73,6 %) bejahten dies, kein Interesse hatten daran nur 15 Personen (20,8%).

Einer automatischen Belüftung standen die Befragten hingegen skeptisch gegenüber: Lediglich elf Personen (15,3%) hatten daran Interesse, 56 Personen (77,8%) winkten ab.

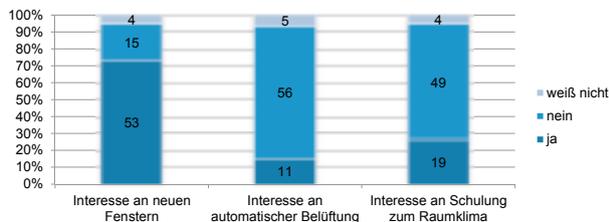


Abb. 62 Interesse an neuen Fenstern, automatischer Belüftung sowie Schulungen zum Raumklima (Anzahl der Nennungen und Verteilung in %) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Auffällig war das geringe Interesse an Schulungen zum Raumklima trotz der weit verbreiteten Probleme mit Feuchtigkeit und Schimmel in den Wohnungen (siehe oben). Nur 19 Befragte (26,4%) hatten daran Interesse, 49 (68,1%) nicht. Dabei spielten anscheinend auch keine Rolle, ob die Befragten aktuell oder früher Probleme mit Schimmel in der Wohnung hatten bzw. gehabt hatten, die Verteilung war in diesen Gruppen nahezu identisch. 18 Haushalte mit aktuellem Schimmelproblem: Fünf (27,8%) haben Interesse an Schulung, zwölf (66,7%) nicht (Abb. 62).

Ein Bewohner gab an, bereits eine Schulung besucht zu haben. Mögliche Begründungen für das allgemein geringe Interesse wären, dass „Schulung“ zu theoretisch und daher abschreckend klinge, oder dass die Befragten der Ansicht waren, der Schimmel in ihrer Wohnung habe nichts mit ihrem Wissen und Verhalten zu tun.

#### 4.5.5 Heizung

In 18 der befragten Haushalte war bereits eine Zentralheizung vorhanden. In den übrigen 54 Haushalten gingen die Meinungen über die Installation einer Zentralheizung auseinander: 24 Befragte (44,4%) haben Interesse, 21 (38,9%) hätten lieber weiterhin ihre eigenen Gasthermen in der Wohnung gehabt. Neun weitere (16,7%) hatten dazu keine klare Meinung.

Das Interesse an einer zentralen Versorgung mit Warmwasser war ähnlich verteilt. In 26 Haushalten (35,6%) war eine solche bereits vorhanden. Von den übrigen 46 Haushalten hätten 21 (45,7%) gerne eine zentrale Warmwasserversorgung gehabt, 16 (34,8%) hätten lieber ihren eigenen Boiler behalten und wei-

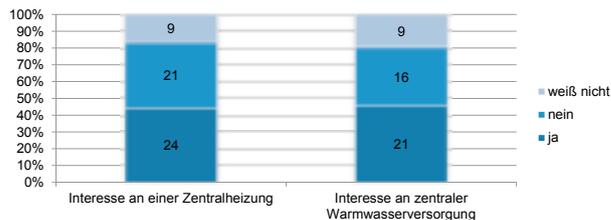


Abb. 63 Haben Sie Interesse an einer Zentralheizung oder einer zentralen Versorgung mit Warmwasser? (nur Befragte, bei denen bisher beides nicht vorhanden; Anzahl der Nennungen und Verteilung in %) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

tere neun Personen (19,6%) hatten auch hier keine klare Meinung (Abb. 63).

#### 4.5.6 Wichtigkeit von Aspekten

Eine gute Ausstattung und Qualität der Wohnung war der Hälfte der Befragten (36 Personen) sehr wichtig und weiteren 23 Personen (31,9%) zumindest „eher wichtig“. Allerdings gab es auch zwölf Befragte (16,7%), die die Ausstattung und Qualität ihrer Wohnung für eher unwichtig hielten.

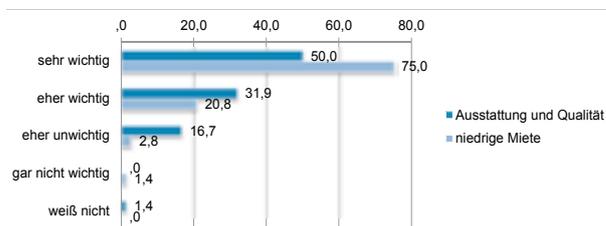


Abb. 64 Wichtigkeit von Ausstattung/Qualität und niedrigen Mieten (in %) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Eine niedrige Miete war sogar drei Viertel der befragten (54 Personen) sehr wichtig und weiteren 15 Personen zumindest „eher wichtig“. Eher unwichtig bzw. gar nicht wichtig fanden diesen Aspekt lediglich zwei (2,8%) bzw. eine Person (1,4%). Dementsprechend empfand beim direkten Vergleich zwischen Ausstattung und niedrigem Mietpreis auch eine Mehrheit von 36 Bewohner/-innen den niedrigen Mietpreis als wichtiger, weitere 26 Befragte (36,1%) sehen beide Aspekte als gleich wichtig und nur zehn Personen (13,9%) priorisierten die Ausstattung der Wohnung.

Dennoch wäre eine Mehrheit von knapp 60% der Befragten bereit gewesen, für bestimmte Ausstattungselemente eine höhere Miete zu bezahlen. Von den 43 Befragten, die die Frage bejahten, schränkten aber fünf ihre Zustimmung durch „nicht zu viel“ ein. Einer betonte, dass das Preis-Leistungs-Verhältnis stimmen müsse und ein anderer sagte, er würde nur das mehr

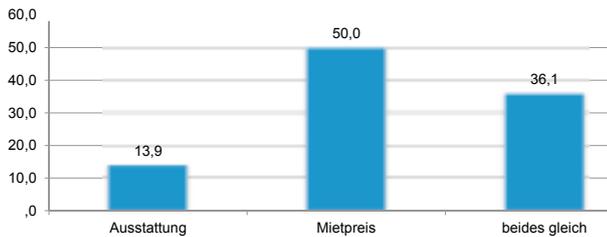


Abb. 65 Sind Ihnen die Ausstattung oder ein niedriger Mietpreis wichtiger? (in %) (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

an Miete zahlen, was er in den Nebenkosten durch die Sanierung einsparen könne.

Die Ausstattungsmerkmale, für die die Befragten



Abb. 66 Wären Sie bereit, für mehr Komfort/Ausstattung mehr Miete zu bezahlen? (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

höhere Mieten akzeptiert hätten, reicht von neuen Fenstern (neun Nennungen), einer Solaranlage auf dem Dach (sieben Nennungen), neuen Heizungen und einem Balkon (je fünf Nennungen) über eine Außendämmung und Badsanierung (je drei Nennungen) hin zu neuen Böden (zwei Nennungen), Trittschall, Lüftung und Garagenstellplatz (je eine Nennung). Zwei Befragte antworteten mit „umfassenden Sanierungsmaßnahmen“ (Abb. 67).

Von den 65 Befragten, die bis dato noch nicht über ei-

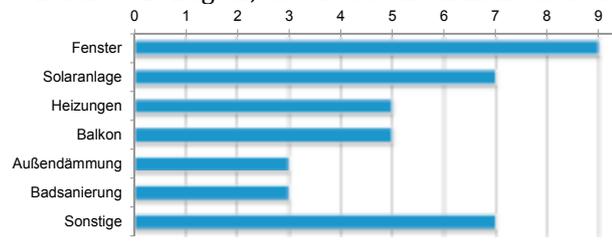


Abb. 67 Genannte Ausstattungsmerkmale, für die Befragte zu höherer Miete bereit wären (Anzahl der Nennungen) (Datenquelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

nen Balkon verfügten, wären 45 (69,2%) bereit gewesen für einen solchen eine höhere Miete zu bezahlen. 20 Befragte (30,8%) wären dazu nicht bereit gewesen.

Unter dem Gesichtspunkt des Umwelt- und Klimaschutzes empfanden 59 Befragte (81,9%) das Einsparen von Energie als wichtig, nur für neun Personen (12,5%) war dies nicht wichtig. Dass die Reduzierung des Energieverbrauchs auch mit finanziellen Einsparungen einhergeht, fand sogar eine noch deutlichere Mehrheit von 61 Befragten (84,7%) wichtig, nur sechs Personen (8,3%) fanden dies unwichtig (Abb. 68).

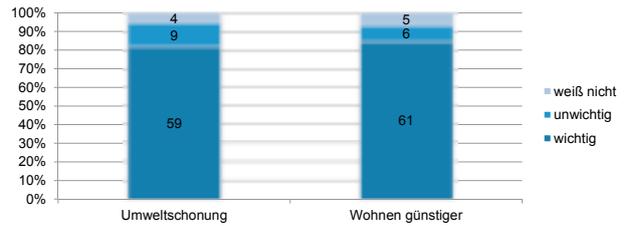


Abb. 68 Wie wichtig ist für Sie, dass durch das Sparen von Energie im Haus (Heizung, Strom, Warmwasser) die Umwelt geschont/das Wohnen günstiger wird? (Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

#### 4.5.7 Hoffnungen und Befürchtungen

Zum Abschluss der Interviews hatten die befragten Bewohner/-innen die Möglichkeit, ohne Vorgaben ihre Hoffnungen und/oder Befürchtungen im Zusammenhang mit einer Sanierung zu formulieren. Die meistgenannte Hoffnung mit neun Nennungen war dabei jene auf eine wärmere und besser beheizte Wohnung infolge der Dämmmaßnahmen bzw. der eventuellen Erneuerung von Heizungen, gerade auch im Hinblick auf die Bekämpfung der Schimmelprobleme in vielen Räumlichkeiten. Jeweils sieben Befragte wünschten sich einen Balkon sowie einen zeitnahen Start und eine schnelle Durchführung der Sanierungsmaßnahmen. Sechs Personen äußerten die Hoffnung auf eine Außendämmung der Gebäude und äußerten sich teilweise äußerst skeptisch gegenüber Plänen für eine Innendämmung der Räumlichkeiten. Eine Sanierung der Kellerräume, sodass diese trocken, schimmelfrei und damit besser nutzbar werden, wünschten sich fünf Personen explizit. Jeweils vier Personen erhofften sich den Einbau neuer Fenster sowie eine insgesamt gut organisierte und qualitativ hochwertige Sanierung (transparente und fachmännische Planung und Durchführung, Einhaltung von Terminen) (Abb. 69).

Die meistgeäußerte Befürchtung waren steigende Mieten mit 22 Nennungen. Viele Bewohner/-innen rechneten damit, dass Einsparungen bei den Nebenkosten aufgrund der Sanierung eine Erhöhung der Kaltmiete nicht ausgleichen würden. Auch eine möglicherweise lange Dauer der Sanierungsmaßnahmen

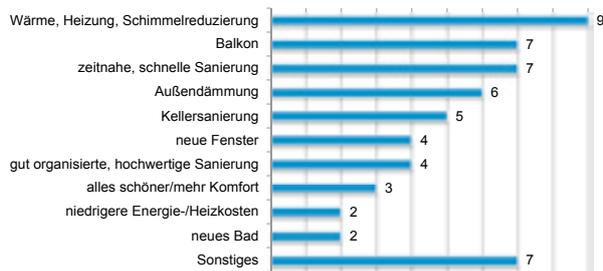


Abb. 69 Hoffnungen bezüglich der Sanierung  
(offene Frage, Anzahl der Nennungen)  
(Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

mit ungeplanten Verzögerungen wurde von vielen Befragten befürchtet (zehn Nennungen).

Sechs Personen wiesen auf mögliche negative Folgen einer Sanierung hin, so etwa eine verstärkte Schimmelbildung durch die Innendämmung, dass der Altbau unter der Sanierung leide oder dass die Maßnahmen generell nicht die versprochenen Effekte bringen würde. In Zusammenhang mit der Dämmung rechneten einige Mieter/-innen damit, dass ihre Einrichtung nach der Maßnahme nicht mehr in die Wohnung passen würde (fünf Nennungen).

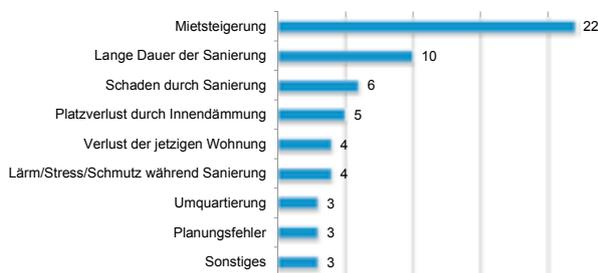


Abb. 70 Befürchtungen bezüglich der Sanierung  
(offene Frage, Anzahl der Nennungen)  
(Quelle: Sozialstudie Plato-Wild-Ensemble)

Weitere mehrmals genannte Befürchtungen waren ein kompletter Verlust der jetzigen Wohnung (also dass man nach der Sanierung nicht mehr in die alten vier Wände zurückkann), die Belastung durch Lärm, Stress und Schmutz im Zuge der Baumaßnahmen, Probleme bei einer Umquartierung während der Sanierung (z.B. wo die Möbel in der Zwischenzeit hinkommen oder eine Abneigung gegenüber Wohncontainern) sowie mögliche Fehler in der Planung der Sanierung (falsche Prioritätensetzung, Sparen an der falschen Stelle, fehlende Transparenz) (Abb. 70).

Zusammen betrachtet hielten sich die geäußerten Hoffnungen und Befürchtungen etwa die Waage (56 zu 60 Nennungen).

## 5. Zusammenfassung und Empfehlungen

Anhand der Bewohnerbefragung lässt sich zusammenfassen, dass zur energetischen Sanierung eine positive Einstellung besteht. Die Ausgangssituation ist gekennzeichnet durch Einschränkungen der Wohnqualität: Insbesondere bei den Fenstern, beim Raumklima und bei der Heizung werden vielfältige Probleme genannt. Schimmelbildung in der Wohnung und im Keller tritt nicht selten auf. Insofern belegen die Aussagen einen Bedarf an Sanierungsmaßnahmen. Die energetische Sanierung ist ein Thema, das die Bewohner/-innen betrifft. Ein Drittel der Bewohner/-innen hat sich bereits damit befasst und drei Viertel haben eine positive Meinung zur energetischen Sanierung.

Die Befragung zeigt auch, dass Handwerker im Haus und mit den Baumaßnahmen verbundener Lärm und Schmutz so gut wie gar nicht als störend empfunden werden. Die Akzeptanz einer Innendämmung, sofern es erforderlich wäre, die Wände freizuräumen oder Wohnraum zu verlieren, liegt bei knapp 50%. Allerdings gibt es auch Stimmen, die sich für eine Außendämmung aussprechen und Probleme bei der Innendämmung sehen. Zudem wäre nur ein Drittel mit einer zeitweiligen Umquartierung einverstanden. Hier zeigt sich, dass eine Baumaßnahme, die die gesamte Wohnung betrifft und die es nicht erlaubt, dass die Bewohner weiter in der Wohnung verbleiben, auf geringere Akzeptanz stoßen würde. Ein nicht unerheblicher Teil der Befragten (40%) würde hingegen gern in eine bereits sanierte Wohnung umziehen.

Sehr großes Interesse besteht an neuen Fenstern, wohingegen das Interesse an einer automatischen Belüftung sehr gering ist. Auch Schulungen zur Verbesserung des Raumklimas werden nicht nachgefragt, auch nicht bei Personen, die über eine Schimmelproblematik klagen. Hieraus könnte geschlossen werden, dass entweder kein Zusammenhang mit dem eigenen Verhalten gesehen wird, oder – und einzelne Nennungen weisen darauf hin – dass die Bewohner meinen, bereits hinreichend informiert zu sein.

Eine Zentralheizung ist nur bei einem Viertel vorhanden, eine zentrale Warmwasserversorgung bei einem Drittel. Bei den anderen sind der Wunsch und die Ablehnung einer Zentralheizung bzw. Warmwasserversorgung etwa gleich hoch und ein kleinerer Teil kann sich noch nicht entscheiden.

Für die Gestaltung des Innenhofbereichs wurde eine Reihe von Vorschlägen gemacht; zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine Verbesserung der Nutzbarkeit (Müllentsorgung, Spielplatz, Bänke, Fahrradstän-

der) und eine Verschönerung durch Bepflanzung im Vordergrund stehen. An Gemeinschaftseinrichtungen (sowohl im Innenhof als auch zum Waschen oder Wäschetrocknen) besteht kein sonderlich großes Interesse. Mit Abstand am stärksten ist der Wunsch nach einem Balkon (82%).

Im Hinblick auf die Finanzen zeigt sich ein ambivalentes Meinungsbild. Einerseits ist eine Mietpreiserhöhung akzeptabel, wenn es um die Verbesserung der Ausstattung und die energetische Sanierung geht. Hierbei wäre ein Mietanstieg besonders für die Ausstattungsmerkmale neue Fenster, Solaranlage, Zentralheizung oder Balkon akzeptabel. Auch besteht ein Interesse an Lösungen, bei denen die Miete steigt, die Kosten für Heizenergie und Strom hingegen sinken. Aber es zeigt sich auch, dass ein günstiger Mietpreis als wichtiger als die Ausstattung gesehen wird. Und als größte Befürchtung wird von sehr vielen Befragten ein Mietanstieg genannt.

Der Faktor Mietkosten sollte somit bei einer energetischen Gebäudesanierung in einem Wohnviertel mit einer Bewohnerstruktur wie im Plato-Wild-Ensemble besonders berücksichtigt werden.

Die großen Bedenken bezüglich eines Anstiegs der Mieten müssen auch vor dem Hintergrund gesehen werden, dass Regensburg seit einiger Zeit auch überregional als eine stark wachsende Stadt im Gespräch ist, in der insbesondere die Nachfrage nach günstigem Wohnraum für junge Familien das vorhandene Angebot bei Weitem übersteigt. So waren nach einer Studie im Auftrag der Bertelsmann Stiftung im Jahr 2011 nur 2% der familieneigneten Angebote auf dem Regensburger Wohnungsmarkt für arme Familien<sup>36</sup> finanzierbar. Dieser Anteil wurde nur noch von München unterboten.<sup>1</sup>

Insofern besteht grundsätzlich eine Zustimmung der Bewohner/-innen zur Durchführung einer energetischen Sanierung. Bei größeren Maßnahmen, die eine Umquartierung oder einen Anschluss an eine Zentralheizung erfordern, muss allerdings damit gerechnet werden, dass ein erheblicher Teil nicht einverstanden ist und sich nicht beteiligen will. Durch den hohen Anteil an einkommensschwächeren Personengruppen besteht auch eine Herausforderung darin, die Sanierungskosten umzulegen. Neue Modelle der Berechnung von Miete und Energiekosten sind hier gefragt.

<sup>36</sup> Mit einem Einkommen unterhalb der Armutsschwelle von 60% des Äquivalenzeinkommens.

Fragen zur persönlichen finanziellen Situation oder zu Ausgaben für Energie wurden nicht gestellt, da es primär um die generelle Akzeptanz ging. Fragen zu Einkommen und Ausgaben gehören zu den „heiklen Fragen“, bei denen eine hohe Antwortverweigerung zu erwarten ist. Auch ist nicht sicher, dass die Bewohner über ihre Ausgaben spontan Auskunft geben können, so dass erst in den Unterlagen nachgesehen werden müsste. Dennoch wäre es zukünftig interessant, wie die konkreten Ausgaben für Miete, Heizenergie und Strom derzeit sind, um vor diesem Szenario zu planen.

## Empfehlungen

Die sozialen Aspekte der energetischen Gebäudesanierung im Altbaubestand vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Restaurierung beruhen auf Analysen der Sozialstruktur und der Befragung zur Akzeptanz.

1. Im nicht sanierten Altbaubestand der Innenstädte konzentrieren sich meist einkommensschwache Mehrpersonenhaushalte, häufig mit Migrationshintergrund, die auf günstigen Wohnraum angewiesen sind. Um soziale Spannungen im Wohnviertel durch eine Verdrängung der alteingesessenen Bewohnerschaft zu vermeiden, sollte bei einer energetischen Gebäudesanierung darauf geachtet werden, dass diese nach Möglichkeit weiterhin im Gebäude verbleiben kann.

2. Inwieweit die finanziellen Möglichkeiten bestehen, um die Kosten einer Sanierung in vermieteten Mehrfamilienhäusern auf die Bewohner umzulegen, hängt eng mit der sozialen Struktur zusammen. Insofern sollten auch die Haushaltsgröße, Altersstruktur und Einkommensklasse der Bewohner bei Planungen berücksichtigt werden.

3. Befürchtungen bei langjährigen Mietern bestehen vor allem im Hinblick auf steigende Mietkosten und erforderliche Mehrbelastungen, z. B. in Bezug auf die Innenraummöblierung oder einen zeitweiligen Auszug. Durch eine Bewohnerbefragung können die Hoffnungen und Befürchtungen und auch die Akzeptanz einzelner Maßnahmen herausgefunden werden.

4. Die häufig bereits vorhandene Akzeptanz der Bewohner für energetische Gebäudesanierung und ein großes Interesse an einer nachhaltigen Verbesserung der Wohnung kann auch durch eine Beteiligung an Entscheidungsprozessen erhöht werden.

5. Die Wünsche der Bewohner nach einer Verbesserung der Wohnqualität richten sich häufig auf das Raumklima. Neue Fenster und Fassadendämmung sollten daher primär im Fokus stehen.

6. Bei baulichen Maßnahmen rund um das Gebäude sollten die Aspekte Nutzbarkeit und Verschönerung gleichermaßen in Betracht gezogen werden.

7. Da die Einrichtung einer Zentralheizung nicht allgemein auf Zustimmung stößt, sollte bei der diesbezüglichen Planung besonders umsichtig vorgegangen werden.

8. Die relativ hohe Aufgeschlossenheit gegenüber alternativen Formen der Heizenergiegewinnung und Stromerzeugung hängt eng mit den Energiekosten zusammen. Insofern sollten sich Anstrengungen auf Kosteneinsparpotenzial bei der Energiegewinnung richten, um Mieterhöhungen auszugleichen.

1.	Grundlegendes zur Bauphysik	76
1.1	Bauphysikalische Fragestellungen	76
1.2	Modell Plato-Wild-Ensemble	76
1.3	Wärme- und Feuchteschutz	78
2.	Bestandsanalyse und Bauschäden	88
2.1	Risse und Feuchteschäden	88
2.2	Baustofffeuchtemessungen	102
2.3	Bohrkernanalysen	107
2.4	Parameter für den Wärmeschutz	108
2.5	Schallschutzmessungen	112
3.	Berechnungen und Simulationen	116
3.1	Kritische Anschlussdetails	116
3.2	Glaser-Verfahren (Außenwand)	116
3.3	Thermische Berechnungen	119
3.4	Hygrothermische Simulationen	128
3.5	Alternativen zur Innendämmung	137
4.	Brandschutz	140
4.1	Grundlagen	140
4.2	Plato-Wild-Ensemble	144



Teil D  
Bauphysik und Bauschadensanalyse

# 1. Grundlegendes zur Bauphysik

## 1.1 Bauphysikalische Fragestellungen

Bauphysik und Bauschadensanalyse hängen eng miteinander zusammen. Die meisten alterungsbedingten Bauschäden sind Folgen von Kapillarkondensation, Durchfeuchtung oder thermomechanischen Belastungen.

Abb. 71 zeigt ein Schema zur bauphysikalischen Bewertung der vorhandenen Bausubstanz und potenzieller Sanierungs- bzw. Instandsetzungsmaßnahmen. Dabei wird zwischen typologischen, empirisch-analytischen und rechentechnischen Vorgehensweisen unterschieden, die je nach Situation angemessen sind.

Im Fokus steht zunächst die wärmeschutztechnische Ertüchtigung der Gebäudehülle. Dabei kommt es jedoch nicht nur auf die Reduktion der Transmissionswärmeverluste und der Verluste durch Gebäudeundichtigkeiten und Lüftung an, sondern auch auf einen stabilen Feuchtehaushalt, sodass Schimmelpilzwachstum in den Wohnräumen vermieden und Tauwasser in den Bauteilen der Hülle begrenzt wird.

Aufsteigende (kapillare) Feuchte aus dem Erdreich führt zu stark erhöhter Mauerwerksfeuchte im Keller und im Sockelbereich bzw. Erdgeschoss, ja gelegentlich sogar noch im 1. Obergeschoss durch den Einfluss schädlicher Salze. Als Folgeschäden sind Fäulnis, Putzabplatzer, Brüche und Risse sowie (im Inneren des Gebäudes) Schimmelbildung zu beobachten. Die Ursachen für mechanische Schäden sind Salzkristallisation und Hydratation. Die Bauschadensanalyse umfasst schließlich neben Untersuchungen zu Rissbildung und Putzschäden an der Fassade auch Feuchteschäden im Dachstuhl.

Tab. 4 enthält die relativen Häufigkeiten von Bauschäden an verschiedenen Bauteilen in Alt- und Neubauten.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (1995): Dritter Bauschadensbericht der Bundesregierung.

Bauschäden an...	Altbau	Neubau
Fenster und Türen	4%	5%
erdberührte Bauteile	15%	19%
Fußboden	5%	12%
Decken	5%	4%
Dach und Böden	33%	27%
Fassade	38%	33%

Tab. 4 Aus dem Dritten Bauschadensbericht der Bundesregierung (1995): Schadensanteil in % bei Bauschäden (Vergleich Altbau/Neubau)

Durch Mauerwerksabdichtung, Trockenlegung und Injektionsverfahren können Verbesserungen erzielt werden<sup>2</sup>, es gibt aber auch alternative Verfahren, die auf dem Konzept einer Bauteiltemperierung beruhen („thermische Horizontalsperre“).<sup>3, 4</sup> Diese Methoden werden in den Abschnitten 2.1 und 2.2 noch genauer beleuchtet und kommen beim Sockelheizungskonzept zur Anwendung (siehe Abschnitt 3.4.1 und Kapitel E).

Neben den Wärmeverlusten und Feuchteproblemen an flächigen Bauteilen sind auch kritische Konstruktionsdetails im Anschlussbereich von Fenstern, einbindenden Innenwänden und vor allem Tragbalken der Holzdecken in der Außenwand zu untersuchen. Schimmel und Fäulnis an Holzbalkenköpfen können gravierende Auswirkungen auf die Statik des Gebäudes haben. Sanierungsmaßnahmen dürfen hier keinesfalls zu höheren Risiken führen.

Schließlich sind auch Schallschutz und Brandschutz zu überprüfen. Nach Aussagen des Deutschen Mieterbundes legen 82% der Mieter besonderen Wert auf einen ausreichenden Schallschutz. Damit steht dieses Kriterium an der Spitze der genannten Kriterien, vor Keller (75%), Wohnfläche (65%), Balkon (61%) oder Garage (42%). Während der Schallschutz durch das Massivmauerwerk von Altbauten meist sehr gut ist, bieten undichte bzw. schalldurchlässige Fenster und Türen sowie unzureichend gedämmte Holzbalkendecken<sup>5</sup> weniger befriedigenden Schutz gegen Straßenlärm und Trittschall.

## 1.2 Modell Plato-Wild-Ensemble

Anhand des Regensburger Plato-Wild-Ensembles soll die Vorgehensweise in diesem Kapitel exemplarisch dargestellt werden.

<sup>2</sup> Frössel, Frank (2011): Mauerwerkstrockenlegung und Kellersanierung. Wenn das Haus nasse Füße hat. 3., komplett überarb. und erw. Aufl. Stuttgart [auch Baulino-Verl., Leest/Werder (Havel)]: Fraunhofer IRB Verlag.

<sup>3</sup> Großschmidt, Henning (2004): Das temperierte Haus. Sanierter Architektur – Behagliche Räume – „Großvitrine“. Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (BLfD). Wien (Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn, 9).

<sup>4</sup> Künzel, Helmut (2007): Bauphysik und Denkmalpflege – Teil 9. Bauteiltemperierung nach Großschmidt. In: Der Bausachverständige 3 (2), S. 14–17.

<sup>5</sup> Gösele, Karl (1989): Verbesserung des Schallschutzes von Holzbalkendecken bei der Modernisierung von Gebäuden. Untersuchungen im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Forschungsberichte Bau- und Wohnforschung, F 2144).

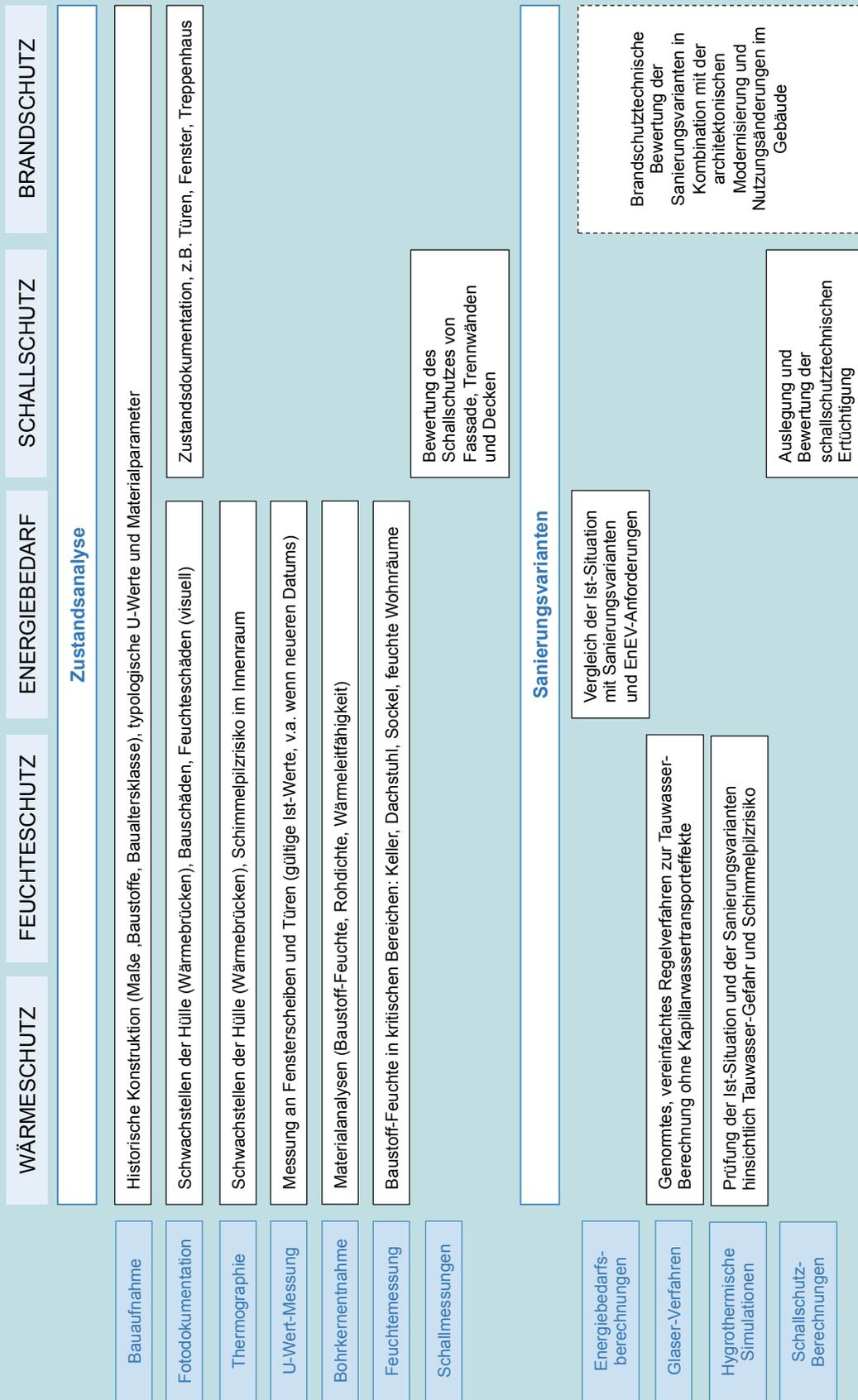


Abb. 71 Schematische Übersicht über Aspekte und Verfahren für die bauphysikalische Analyse

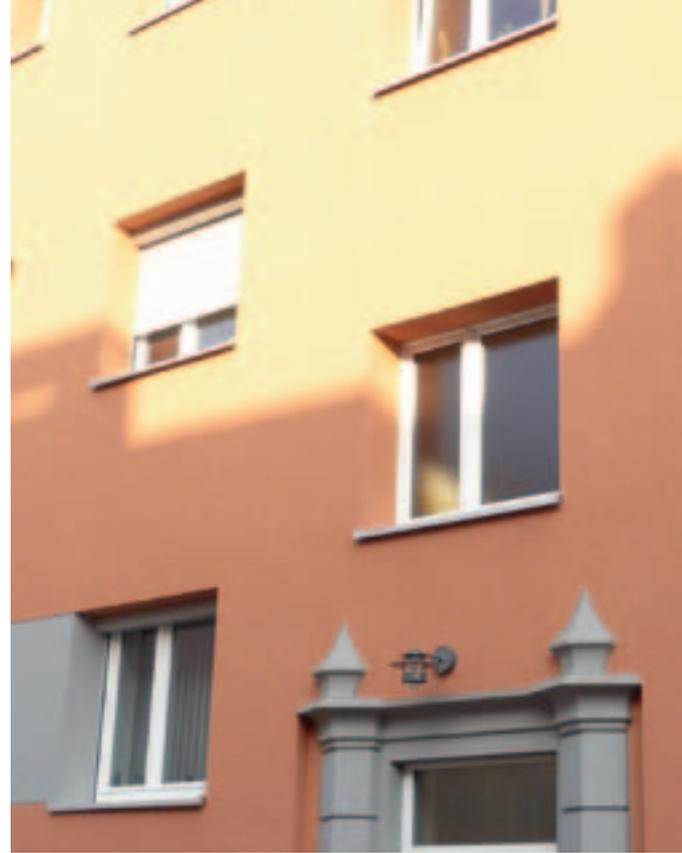


Abb. 72 Wärmedämmverbundsysteme zerstören wesentliche Elemente der historischen Fassadengestaltung und führen zu einer Verzerrung der Proportionen (Fotos: Steffens)

Eine ausführliche Fotodokumentation der Befundsituationen in (zugänglichen) Innenräumen und von Fassade, Dach und Keller dient der Definition und Priorisierung spezifischer Restaurationsmaßnahmen.

Schäden an der Außenseite des Gebäudes und thermografische Analysen unterstützen die Identifikation von Schwachstellen in der Gebäudehülle. Diese werden durch Baustofffeuchtemessungen und weitere Analysen ergänzt.

Besonderes Augenmerk sollte auf die Situation in den Wohnräumen gerichtet werden. Hier geben Raumklimamessungen, Oberflächenfeuchte- und Temperaturmessungen sowie konkrete Nutzerbefragungen (siehe Kapitel C) Aufschluss über kritische Zustände.

Danach müssen die Konstruktionsdetails der Gebäudehülle und der Zwischendecken sowie deren Bauteile erfasst werden. Hier können wir von der umfassenden Bauaufnahme aus Kapitel A ausgehen. Die Bauteileigenschaften werden typologisch abgeschätzt und teilweise durch analytische Messungen im Detail untersucht, z. B. Bohrkernentnahmen. U-Wert-Messungen an den Fenstern, thermografische Aufnahmen diverser Fassaden und Feuchtemessungen im Innenbereich ergänzen diese Analysen. Die so erhobenen Parameter werden später für die Berechnung des Wärmebedarfs vor und nach Sanierung und für die bauphysikalischen Wärme-Feuchte-Simulationen verwendet.

Weitere Untersuchungen wie Schallschutzmessungen und brandschutztechnische Bewertungen des

Bestands schließen den experimentellen Teil der Bestandsaufnahme ab.

Im theoretischen Teil werden Berechnungen und bauphysikalische Simulationen für die Ist-Situation und mögliche Sanierungsvarianten durchgeführt, um die Wirksamkeit von Wärmeschutzmaßnahmen und ihre Ausführung an kritischen Anschlussdetails quantitativ zu beurteilen. Damit können unterschiedliche Lösungskonzepte verglichen und objektspezifisch ausgewählt werden.

### 1.3 Wärme- und Feuchteschutz

Dem Wärmeschutz kommt eine große Bedeutung in der Altbausanierung zu. Die Hauptaufgabe des Wärmeschutzes ist die Trennung von Innen- und Außenklima. Dabei soll ein hygienisches, behagliches Innenklima sichergestellt und die Bauteilsicherheit unter Begrenzung des dafür erforderlichen Energieaufwands gewährleistet werden.

Der Anteil der Wohngebäude in Deutschland, die vor der 1. Wärmeschutzverordnung aus dem Jahre 1977 erbaut wurden, beträgt nach Informationen der Deutschen Energie-Agentur GmbH ca. 70%.<sup>6</sup> Darunter fällt auch der Anteil von etwa 15% des Wohngebäude-

<sup>6</sup> Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), www.kfw.de. Abgerufen am 27. November 2012 von [http://www.kfw.de/kfw/de/1/11/Download\\_Center/Foerderprogramme/versteckter\\_Ordner\\_fuer\\_PDF/Leitfaden\\_Waermebruecken\\_in\\_der\\_Bestandssanierung.pdf](http://www.kfw.de/kfw/de/1/11/Download_Center/Foerderprogramme/versteckter_Ordner_fuer_PDF/Leitfaden_Waermebruecken_in_der_Bestandssanierung.pdf) (04/2008).

bestandes, der zwischen 1919 und 1948 erbaut wurde.

Die Teilaufgaben des baulichen Wärmeschutzes sind nach Krätschell und Anders (2012):<sup>7</sup>

- Erzielen eines behaglichen Raumklimas
- Vermeidung von Zwängungsspannungen
- Vermeidung von Tauwasser
- Vermeidung von Schimmelpilzbildungen
- Vermeidung von Diffusionsschäden

Grundlegende Maßnahmen zur Sicherstellung des dauerhaften, mangelfreien Wärmeschutzes umfassen entsprechend:

- Wärmedämmung zur Vermeidung kritischer Oberflächentemperaturen (innen)
- Luftdichtheit zur Tauwasservermeidung aufgrund einströmender Luft durch Außenbauteile
- Diffusionstechnisch korrekter Aufbau der einzelnen Bauteilschichten zur Vermeidung von Tauwasserausfall im Inneren des Bauteils
- Mindestluftwechsel zur kontrollierten Feuchteabfuhr
- Sonnenschutzmaßnahmen gegen Überhitzung

Zwar können die Wärmeverluste über die Gebäudehülle durch nachträgliche Dämmmaßnahmen reduziert werden, um heutige Anforderungen zu erfüllen. Für historisch wertvolle Fassaden verbietet sich jedoch eine außenseitig angebrachte Wärmedämmung in der Regel. Nachträglich aufgebrachte Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) oder Dämmplatten führen zu deutlich tieferen Fensterlaibungen, verringerten Dachüberständen und vor allem verdecken sie Fassadendetails wie Gesimse oder Lisenen, Eingangsportale usw. und verändern so den Charakter des Gebäudes erheblich (Abb. 72). Die Montage eines WDVS ist auch meist mit zerstörerischen Eingriffen an der Substanz verbunden, ist also auch aus konservatorischer Sicht kritisch zu sehen. Die verwendeten speziellen Putzmaterialien (die geprüft nach der europäischen Richtlinie ETAG 004 eine Lebensdauer von 25 Jahren aufweisen

<sup>7</sup> Krätschell, Michael; Anders, Frank (2012): Schäden durch mangelhaften Wärmeschutz. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Schadenfreies Bauen, Bd. 32).

sollten) stellen nicht nur einen Bruch in der Materialität der Bestandsstruktur dar, sondern im Bereich von Anschlüssen an Gebäudeöffnungen, Stoßkanten (z. B. Gesimsen) besteht die Gefahr von Putzrissen und vorzeitigen Schäden; für die Anschlussausbildung gibt es keine bauaufsichtliche Regelung.<sup>8</sup> Entsprechend sind bei unsachgemäßer Ausführung diverse Schadensphänomene zu beobachten.<sup>9, 10</sup>

Daher müssen alternative Dämmmöglichkeiten untersucht werden. Eine besondere Rolle spielt hier die kapillaraktive Innendämmung auf Calciumsilikat-Basis. Alternative diffusionsoffene Lösungen aus Mineralwolle oder Naturmaterialien wie Holzfaser oder Zellulose kommen u.U. auch in Betracht. Eine diffusionsdichte Konstruktion beinhaltet bei fehlerhafter Verarbeitung, z.B. undichten Anschlussfugen, ein höheres Risiko lokaler Tauwasserbildung in der Konstruktion und so dauerhafter Schädigung der Substanz. Bei Schlagregenbelastung des Wandquerschnitts sind kapillaraktive Innendämmungen den nur diffusionsoffenen bzw. diffusionsdichten Dämmungen ohne Kapillaraktivität allerdings überlegen, weil nur hier eine wirksame Austrocknung nach innen möglich ist.<sup>11</sup> Dies ist insbesondere zu berücksichtigen, weil sich Wasseraufnahmefähigkeit und Austrocknungseigenschaften infolge der langfristig kühleren Außenwandschale maßgeblich verändern können.<sup>12</sup>

Für die Bestandskonstruktion sind drei Größen ausschlaggebend für die wärme- und feuchtetechnische Beurteilung:

- Wärmedurchlasswiderstand bzw. U-Wert (siehe „Wärmeschutz“)
- Wasserdampf-Diffusionswiderstand
- Schlagregenaufnahme

Durch Schlagregen kann eine beträchtliche Wasser-

<sup>8</sup> Buecher, Bodo (2012): Regelmäßig warten und instand setzen. Sanierung alter und schadhafter Wärmedämm-Verbundsysteme. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (2), S. 14–18.

<sup>9</sup> Bady, Sabine (2010): Der Fehlerteufel liebt das Detail. Detailplanung bei WDVS-Anschlüssen. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (4), S. 11–13.

<sup>10</sup> Jehl, Wolfgang (2013): Anschluss gesucht und gefunden. Fenstermontagen in Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS). In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (5), S. 32–35.

<sup>11</sup> Bangerter, Heinz (2011): Kampf der Systeme. Dampfdichte Innendämmung. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (5), S. 61–64.

<sup>12</sup> Worch, Anatol (2010): Innendämmung = Tauwasser? In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (4), S. 26–29.

menge in die Konstruktion eingebracht werden. Worch (2014) nennt hier in Abhängigkeit der klimatischen Bedingungen Werte bis zu  $100 \text{ kg/m}^2$ , im Vergleich zu typischen Tauwassermengen infolge von Wasserdampfdiffusion in der Größenordnung von  $1 \text{ kg/m}^2$  pro Jahr.<sup>13</sup>

Dass bei richtiger Ausführung einer kapillaraktiven Innendämmung die typischen Probleme von erhöhter Tauwasserbildung oder Schimmelbildung im Bereich von Anschlussfugen vermieden werden können, wird durch viele Beispiele in der Literatur belegt.<sup>14, 15, 16</sup> Durch hygrothermische Simulationen lassen sich kritische Konstruktionen besser verstehen und korrekt dimensionieren.

Zu Beginn steht eine genaue Analyse des Gebäudebestands hinsichtlich der verwendeten Materialien und Konstruktion und deren Wärmeschutzeigenschaften.

Nach Bestimmung bzw. typologischer Festlegung der Wärmeleitfähigkeiten und der aus der Konstruktion abgeleiteten Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) lassen sich erste Aussagen über den Wärmebedarf und die Sanierungspotenziale ableiten.

### 1.3.1 Wärmebrücken

Wärmebrücken gehören zu den Schwachstellen in einer Baukonstruktion. Sie stellen örtlich begrenzte Bereiche dar, die eine größere Wärmestromdichte im Vergleich zu den angrenzenden Bauteilbereichen aufweisen. Dabei ändert sich auch die Richtung des Wärmestroms: Die Stromlinien sind nicht mehr (wie durch ein homogenes plattenförmiges Bauteil) gerade und senkrecht zur Bauteiloberfläche, sondern verlaufen gekrümmt (konvergent oder divergent). Im Vergleich zum ungestörten Bauteil verursacht diese erhöhte Wärmestromdichte nicht nur einen zusätzlichen Wärmeverlust, sie verringert im betreffenden Bereich auch die Oberflächentemperatur des Bauteils.

Damit sind Wärmebrücken häufig Ursache für Tauwas-

<sup>13</sup> Worch, Anatol (2014): Innen dämmen – außen gucken. Prüfen des Schlagregenschutzes. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (1), S. 16–19, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

<sup>14</sup> Gänßmantel, Jürgen (2010): Von draußen sieht man nichts. Marktübersicht Innendämmung. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (4), S. 30 ff.

<sup>15</sup> B+B (2012): Marktübersicht Innendämmung. In: Bauen im Bestand B+B/Trockenbau Akustik Spezial, S. 42–53.

<sup>16</sup> Krus, Martin; Silberhorn, Oswald; Kilian, Ralf; Kratzmeier, Matthias (2013): Innovative Innendämmung im Denkmalschutz. Energetische Sanierung des Augsburger Landesamts für Finanzen – Simulation und messtechnische Begleitung. In: Bausubstanz (1), S. 24–33.

erschäden und Schimmelbildung. Die Lokalisation kritischer Wärmebrücken in der Konstruktion und deren wärmeschutztechnische Verbesserung ist eine entscheidende Sanierungsaufgabe.

Die Schutzmaßnahmen leiten sich ab aus:

- allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik sowie den technischen Regeln, eingeführt von den obersten Baubehörden durch öffentliche Bekanntmachung als Technische Baubestimmungen (insbesondere DIN 4108-2:2013-02)
- Fachliteratur über Wärmebrücken und deren Auswirkung auf den Wärmeschutz, z. B. Feldmann und Becker (2008)<sup>17</sup> oder Hauser und Stiegel (2006)<sup>18</sup>
- rechnerischen Untersuchungen von Wärmebrücken mit entsprechenden Rechnerprogrammen (Wärmebrückenberechnung) nach den Vorgaben der DIN EN ISO 10211:2008-04<sup>19</sup>

Man unterscheidet (siehe Abb. 75):

- Konstruktiv bedingte bzw. materialbedingte (stoffliche) Wärmebrücken

Materialbedingte Wärmebrücken entstehen im Übergangsbereich zwischen nebeneinanderliegenden Materialien mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten. Insbesondere kleine Strukturelemente wie Stahlbetonstützen oder Holzpfeiler in einer Mauerwerkswand, Mörtelfugen im Mauerwerk oder dämmschichtunterbrechende Innenwände wirken selbst als Wärmebrücken innerhalb der regulären Bereiche.

- Formbedingte/geometrische Wärmebrücken

Sobald ein Bauteil von der ebenen Form (Platte) abweicht, beispielsweise wenn die kühlere, wärmeaufnehmende Innenoberfläche größer ist als die wärmeabgebende Außenoberfläche, entste-

<sup>17</sup> Feldmann, Rainer; Becker, Thomas (2008): Wärmebrücken in der Bestandssanierung – Leitfaden für Fachplaner im Gebäudebereich. Deutsche Energie-Agentur. Berlin.

<sup>18</sup> Hauser, Gerd; Stiegel, Horst (2006): Wärmebrücken-katalog für Modernisierungs- und Sanierungsmaßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzen. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (74).

<sup>19</sup> Die DIN EN ISO 10211 definiert die Anforderungen und beschreibt die theoretischen Grundlagen zur numerischen Berechnung von Wärmebrücken in zwei und drei Dimensionen mittels Finite-Element-Methode.

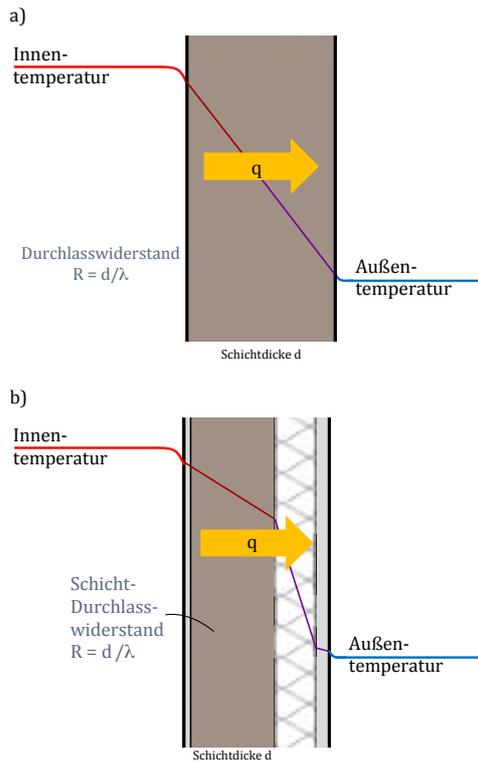


Abb. 73 a) Wärmedurchgang durch ein einschichtiges (homogenes) Bauteil  
b) Situation für ein mehrschichtiges Bauteil mit gleichem U-Wert und gleicher Wärmestromdichte q

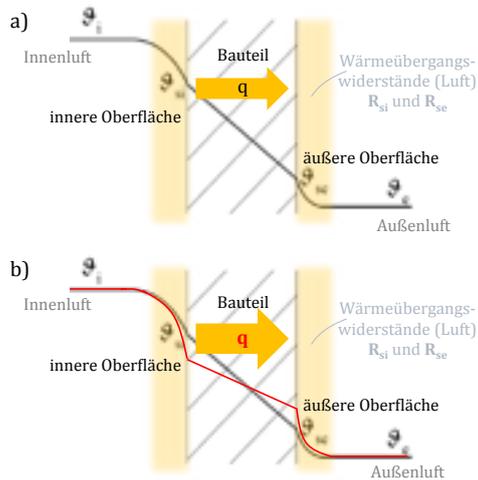


Abb. 74 Wärmeübergang:  
a) Temperaturverlauf für ein homogenes Bauteil zwischen Innen- und Außenluft. Die Übergangsbereiche sind farblich hervorgehoben.  
b) Änderung der Oberflächentemperaturen bei höherem U-Wert infolge eines geringeren Durchlasswiderstands (rote Linie). Die Absenkung an der inneren Oberfläche kann zu höherem Schimmelpilzrisiko oder gar Tauwasser führen.

## Wärmeschutz

### Wärmeleitfähigkeit und Wärmestromdichte

Durch eine Schicht der Dicke  $d$ , deren Seitenflächen einen Temperaturunterschied  $\Delta\Theta$  (in K) aufweisen, fließt durch einen  $m^2$  ein Wärmestrom, der proportional zu  $\Delta\Theta$  und indirekt proportional zu  $d$  ist. Diese zeitlich konstante Wärmestromdichte

$$q = \lambda \Delta\Theta / d \quad (\text{in } W/m^2)$$

stellt sich unter zeitlich stabilen Temperaturverhältnissen, d.h. für eine „stationäre Situation“ ein. Die Wärmeleitfähigkeit zeigt in der Baupraxis nur eine geringe Temperaturabhängigkeit, sie kann sich aber in Abhängigkeit des Durchfeuchtungsgrades deutlich ändern.<sup>a</sup>

### Wärmedurchlasswiderstand

Der Wärmedurchlasswiderstand einer Schicht berechnet sich aus  $R = d/\lambda$  (in  $m^2 K/W$ ), es gilt:  $q = \Delta\Theta/R$ . Ein höherer Wärmedurchlasswiderstand reduziert also die Transmissionswärmeverluste. Er wird erreicht mit einer größeren Schichtdicke und/oder kleinerer Wärmeleitfähigkeit. Werden mehrere Bauteilschichten hintereinander gesetzt, so ergibt sich der Durchlasswiderstand  $\Sigma R$  der Gesamtkonstruktion aus der Summe der einzelnen Durchlasswiderstände.

### Wärmeübergangswiderstand

Der Wärmeübergang von den Oberflächen eines Bauteils an die Umgebungsluft wird durch den Wärmeübergangswiderstand  $R_s$  beschrieben. Er hängt stark von der Luftbewegung ab und unterscheidet sich daher deutlich an der Innen- und Außenoberfläche. Rechnerisch werden z.B. gemäß DIN EN ISO 6946 die Werte  $R_{si} = 0,13 m^2K/W$  für innen und  $R_{se} = 0,04 m^2K/W$  für außen angesetzt (im Fall einer Außenwand).

### Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)

Der Wärmedurchgangswiderstand ergibt sich aus der Summe von Durchlass- und Übergangswiderständen:

<sup>a</sup> Krätschell, Michael; Anders, Frank (2012): Schäden durch mangelhaften Wärmeschutz. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Schadenfreies Bauen, 32).

$$R_T = R_{si} + \Sigma R + R_{se}, \quad U = 1 / R_T$$

Der Kehrwert wird als Wärmedurchgangskoeffizient oder U-Wert bezeichnet. Er ist ein Maß für den Wärmeverlust durch eine Konstruktion:

$$q = \Delta\Theta / R_T = U \Delta\Theta$$

### Oberflächentemperaturen

Die raumseitige Oberflächentemperatur  $\Theta_{si}$  eines Außenbauteils wird bestimmt vom Wärmedurchgangskoeffizienten  $U$ , der Temperatur von Innen- und Außenluft  $\Theta_i$  und  $\Theta_e$  (mit Temperaturunterschied  $\Delta\Theta = \Theta_i - \Theta_e$ ) sowie dem innenseitigen Übergangswiderstand  $R_{si}$ . Im stationären Fall gilt:

$$\begin{aligned} \Theta_{si} &= \Theta_i - q R_{si} = \Theta_i - U \Delta\Theta R_{si} \\ &= \Theta_i - \Delta\Theta R_{si} / R_T \end{aligned}$$

Mit steigendem Wärmeübergangswiderstand  $R_{si}$  im Verhältnis zu  $R_T$  (z.B. bei höherem U-Wert der Konstruktion oder schlecht belüfteten Oberflächen) sinkt die innere Oberflächentemperatur. Damit steigt das Risiko des Tauwasserausfalls und des Schimmelpilzwachstums (siehe 2.1.3). Kühlere Oberflächen werden zudem als unbehaglich empfunden aufgrund der geringeren Wärmeabstrahlung. Kritisch sind vor allem Wärmebrücken (siehe 1.3.1) mit örtlich verringerten Oberflächentemperaturen. Für die außenseitige Oberflächentemperatur gilt:

$$\begin{aligned} \Theta_{se} &= \Theta_e + q R_{se} = \Theta_e + U \Delta\Theta R_{se} \\ &= \Theta_e + \Delta\Theta R_{se} / R_T \end{aligned}$$

Mit größerem U-Wert steigt die Oberflächentemperatur, was durch thermografische Aufnahmen sichtbar gemacht werden kann. Eine detaillierte Darstellung findet man in Bauphysik-Lehrbüchern, z.B. Fischer et al. (2008).<sup>b</sup>

<sup>b</sup> Fischer; Freymuth; Häupl; Homann; Jenisch; Richter; Stohrer (2008): Lehrbuch der Bauphysik. Schall – Wärme – Feuchte – Licht – Brand – Klima. 6. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.

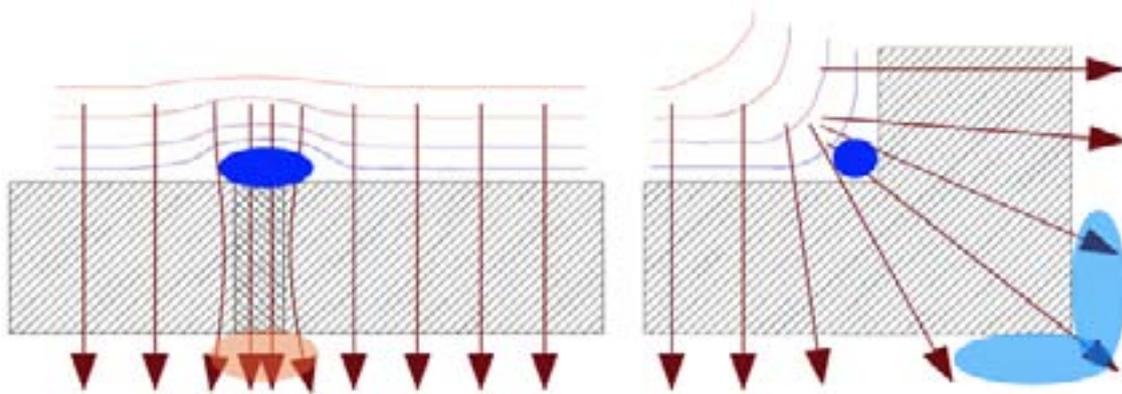


Abb. 75 Links: Materialbedingte Wärmebrücke durch konstruktive Elemente. Rechts: Geometrische/formbedingte Wärmebrücke, z. B. Außenecke eines Gebäudes. Rote Pfeile symbolisieren die Wärmestromdichte, blaue und rötliche Felder die Zonen erniedrigter bzw. erhöhter Oberflächentemperatur. Die farbigen Linien markieren Orte gleicher Temperatur (Isothermen).

hen an den geometrischen Abweichungen (z. B. Ecken, Kanten) Wärmebrücken. Der Effekt dieser Wärmebrücken ist dabei abhängig von dem Größenverhältnis zwischen Innen- und Außenfläche im Bereich der Wärmebrücke. Der ungünstigste Fall tritt an dreidimensionalen Bauteilanschlüssen auf. Hier weitet sich der Querschnitt für den Wärmestrom nach außen hin auf, es entstehen hohe Wärmestromdichten an der Anschlussstelle im Innenbereich („Kühlrippeneffekt“<sup>20</sup>).

Es gibt auch Mischformen, bei denen die beiden oben genannten Erscheinungen zusammen auftreten. Als Beispiel hierfür können Außenwanddurchdringungen bei Balkonplatten oder Deckendurchdringungen von Stützen genannt werden. Sie werden allgemein als konstruktive Wärmebrücken bezeichnet.

Wärmebrücken sind Schwachstellen in der Baukonstruktion. Im Vergleich zu den ungestörten Bauteiloberflächen liegt im Bereich von Wärmebrücken stets eine niedrigere Oberflächentemperatur vor. Bedingt durch den erhöhten Wärmestrom kommt es zudem zu erhöhten Wärmeverlusten. Ihre Auswirkungen auf die Temperatur an der Oberfläche hängen davon ab, wie stark der Wärmeschutz an dieser Stelle geschwächt ist. Bei Absinken der Oberflächentemperatur bis unter die Taupunkttemperatur treten meist Tauwasserschäden auf. Ist deren Oberflächentemperatur nicht niedriger als die Taupunkttemperatur der Raumluft, bleiben Tauwasserschäden aus. Trotzdem machen sich Bereiche solcher Wärmebrücken durch verstärkte Staubablagerungen an diesen Stellen sichtbar.

#### Erhöhte Wärmeverluste

Der Wärmeverbrauch eines Gebäudes steigt durch den erhöhten Wärmeverlust, der im Bereich von Wärmebrücken verursacht wird (Abb. 77). Im ungünstigsten Fall können bei Bestandsgebäuden, welche nachträglich

<sup>20</sup> Feldmann, Rainer; Becker, Thomas (2008): Wärmebrücken in der Bestandssanierung – Leitfaden für Fachplaner im Gebäudebereich. Deutsche Energie-Agentur. Berlin.

mit einem hohen Wärmeschutz ausgestattet wurden, zusätzliche Wärmeverluste von weit über 30% des Energiebedarfs über Wärmebrücken entstehen.

#### Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit

Aufgrund der niedrigeren Wärmestrahlung werden kalte Oberflächen als unbehaglich empfunden. Viele Nutzer versuchen dies durch eine höhere Lufttemperatur, also erhöhte Heizleistung, zu kompensieren. Die Oberflächen sollten um nicht mehr als 3 Kelvin gegenüber der Raumluft absinken und 10 °C keinesfalls unterschreiten.

#### Mangelhafte Wohnhygiene

Aufgrund der erniedrigten Oberflächentemperaturen im Bereich der Wärmebrücken kann es dort zu Tauwasserausfall kommen (siehe 1.3.2). Tauwasser bildet sich, wenn feuchtwarme Luft auf eine kalte Oberfläche trifft und dort unter den Taupunkt abgekühlt wird (dieser Effekt ist typischerweise im Winter anhand beschlagener Scheiben gut zu beobachten).

In Verbindung mit Staub und organischen Verunreinigungen, Tapetenkleister oder Farbe können an feuchten Oberflächen sehr schnell Schimmelpilze wachsen (siehe Abb. 87). Die abgeschiedenen Sporen von Schimmelpilzen können bei den Bewohnern allergische Erkrankungen verursachen.<sup>21</sup> Besonders in Räumen mit nutzungsbedingten hohen Feuchtelasten wie Küche oder Bad ist die Gefahr von Schimmelbildung groß. Aus hygienischer Sicht sollte die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 30% und 60% liegen. Schimmelpilze können wegen der Kapillarkondensation in den Baustoffporen bereits ab 80% Oberflächenfeuchte wachsen.

#### Gefährdung der Bausubstanz

Tauwasser im Bereich von Wärmebrücken kann zu einer dauerhaften Durchfeuchtung des Bauteils führen.

<sup>21</sup> Frössel, Frank (2010): Schimmelpilze in Wohnungen. Waldshut-Tiengen: Baulino.

## Entstehung von Tauwasser

Luft enthält neben den Hauptbestandteilen Stickstoff und Sauerstoff sowie (in geringerer Menge) Kohlendioxid und weiteren Spurengasen eine je nach Feuchtegrad unterschiedliche Menge Wasserdampf. Der maximale Gehalt an Wasserdampf, der in der Luft aufgenommen werden kann, ist temperaturabhängig. Die von der Luft aufnehmbare Feuchtemenge steigt mit zunehmender Temperatur an. Ein Kubikmeter Luft kann bei einer Temperatur von +20°C maximal 17,3 g Wasserdampf aufnehmen, bei 0°C lediglich 4,8 g. Der tatsächlich vorliegende Wasserdampfgehalt ist meist deutlich geringer und wird durch die relative Luftfeuchte  $\phi$  beschrieben: Das ist der Prozentsatz, den der vorliegende Wasserdampfgehalt  $c$  (in  $\text{g}/\text{m}^3$ ) vom sogenannten Sättigungsgehalt  $c_s$  ausmacht. Da der Wasserdampf-Teildruck  $p$  (Partialdruck, gemessen in Pascal [Pa]) proportional zum Gehalt  $c$  ist, kann die relative Feuchte auch über den Bezug auf den temperaturabhängigen Sättigungsdampfdruck  $p_s$  (bei Sättigung der Luft) ausgedrückt werden:

$$\phi = c/c_s = p/p_s$$

Bei Änderung der Temperatur ändert sich der Sättigungsgehalt bzw. der Sättigungsdampfdruck und damit die relative Luftfeuchte, ohne dass sich der absolute Feuchtegehalt bzw. der Partialdruck verändert.

Die Temperatur, bei der die Sättigungskonzentration  $c_s$  bzw. der Sättigungsdampfdruck  $p_s$  den Wert des vorhandenen Wasserdampfgehalts  $c$  bzw. des Partialdrucks  $p$  annimmt, heißt Taupunkttemperatur  $\theta_s$ . Bei dieser Temperatur hat man eine relative Luftfeuchte von 100%, Tauwasser beginnt sich zu bilden. Bei üblichem Wohnklima (20°C und 50% relativer Luftfeuchte) beträgt die Taupunkttemperatur 9,3°C. Sobald bestimmte Oberflächen diese Temperatur unterschreiten, fällt auf diesen Tauwasser aus.

Schimmelpilzwachstum kann bereits bei einer dauerhaften Oberflächenfeuchte von 80% auftreten (durch

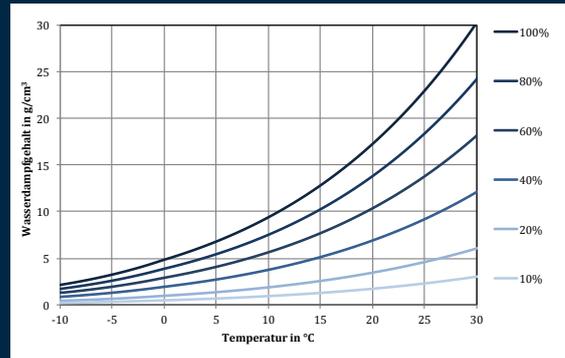


Abb. 76 Carrier-Diagramm: Darstellung des Sättigungsgehalts und des Feuchtegehalts bei gegebener relativer Luftfeuchte

„Kapillarkondensation“ in den Poren des Baustoffs). Dies entspricht einer Temperatur von 12,6°C. Daher dürfen offenporige Oberflächen diesen Wert nicht unterschreiten (Anforderungen der DIN 4108-2:2013-02 („Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“) und DIN EN ISO 13788:2012 („Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren“).

Zur Beurteilung der Oberflächentemperatur wird für festgelegte thermische Randbedingungen im stationären Zustand der Temperaturfaktor

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$$

definiert. Dabei ist die Innenlufttemperatur  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$  und die Außenlufttemperatur  $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ . Für die geforderte Mindestoberflächentemperatur  $\theta_{si} = 12,6^\circ\text{C}$  bei einer Luftfeuchte von  $\phi = 50\%$  im Raum findet man dann die Bedingung  $f_{Rsi} > 0,7$ . Mithilfe dieses Parameters lassen sich auch thermisch berechnete Wärmebrücken charakterisieren (DIN EN ISO 10211, siehe 3.3.5).

Die Folge sind z. B. mürbes Mauerwerk oder verfaultes Holz, sodass die Tragfähigkeit oder die Standsicherheit nicht mehr gewährleistet ist (manche Schimmelarten zersetzen organische Baustoffe und können damit ein statisches Versagen auslösen).<sup>22</sup> Zudem stellt sich bei durchfeuchteten Bauteilen eine höhere Wärmeleitfähigkeit ein, wodurch man eine Verstärkung des Wärmebrückeneffekts erhält und die Innenoberfläche noch weiter abkühlt.<sup>23</sup>

22 Gärtner, Gabriele; Lotz, Antje (2010): Wärmeschutz in der Praxis. Energetische Optimierung von Gebäuden. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl. (Basiswissen Bauphysik).

23 Krätschell, Michael; Anders, Frank (2012): Schäden durch mangelhaften Wärmeschutz. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Schadenfreies Bauen, 32).

Durch konstruktive Maßnahmen lassen sich viele Wärmebrücken vermeiden bzw. minimieren.<sup>24</sup>

Entsprechend der Fragestellung wird in den DIN-Normen von verschiedenen Übergangswiderständen ausgegangen. Tab. 5 zeigt eine Übersicht. Je höher der raumseitige Übergangswiderstand  $R_{si}$  ist, desto niedriger wird die Oberflächentemperatur. Gerade bei der Schimmelpilzgefahr wird der raumseitige Übergangswiderstand höher angesetzt, um der größeren Schimmelpilzgefahr in Bereichen mit geringer Luftbewegung in

24 Feldmann, Rainer; Becker, Thomas (2008): Wärmebrücken in der Bestandssanierung – Leitfaden für Fachplaner im Gebäudebereich. Deutsche Energie-Agentur. Berlin.



Abb. 77 Thermogramm eines Gebäudes des Plato-Wild-Ensembles mit erkennbaren Wärmebrücken im Bereich der Fensterstürze bzw. Rollladenkästen und schlecht gedämmten Fassadenteilen (Foto: Steffens)

Ecken und hinter Mobiliar Rechnung zu tragen.

### 1.3.2 Tauwasser

Übermäßige Feuchte in den Bauteilen gefährdet die dauerhafte Gebrauchstauglichkeit eines Gebäudes, wie schon im letzten Abschnitt diskutiert wurde. Die Planung und Umsetzung eines mängelfreien Wärmeschutzes erfordert grundlegende Kenntnisse über die Entstehung und die Vermeidung von Tauwasser.

Zur sicheren Vermeidung von Tauwasserbildung bzw. Bauschäden infolge einer zu hohen Raumluftfeuchte muss der Raum regelmäßig gelüftet werden. Ohne mechanische Lüftungsanlage muss der Nutzer die erforderliche Lüftungsintensität selbst an den Grad seiner Feuchteproduktion anpassen. Dies stellt ein Problem im Bereich des Geschosswohnungsbaus dar, weil viele Nutzer über korrektes Lüften zu wenig Bescheid wissen (vgl. Kapitel C „Sozialstudie“).

Aus gesundheitlichen Gründen sollte bei der Lüftung von Wohnräumen die relative Luftfeuchte im Winter immer über 40% liegen. Werte zwischen 45% und maximal 50% relativer Luftfeuchte sind nach Krätschell und Anders (2010)<sup>25</sup> optimal. Während der Heizperiode sollte das Absinken der Luftfeuchte unter 30%

<sup>25</sup> Krätschell, Michael; Anders, Frank (2012): Schäden durch mangelhaften Wärmeschutz. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Schadenfreies Bauen, 32).

### Wärmeübergangswiderstände für Wärme- und Feuchtschutzberechnungen und zur Berücksichtigung der Gefahr von Schimmelpilz-Wachstum

#### Wärmeschutzberechnung DIN EN ISO 6946:2003

[m <sup>2</sup> K/W]	Richtung des Wärmestroms		
	aufwärts	horizontal	abwärts
R <sub>si</sub> (raumseitig/innen)	0,10	0,13	0,17
R <sub>se</sub> (außenseitig)	0,04	0,04	0,04

#### Feuchtschutzberechnung (Tauwasser im Bauteilinneren) DIN 4108-3:2001

[m <sup>2</sup> K/W]	Richtung des Wärmestroms		
	aufwärts	horizontal	abwärts
R <sub>si</sub>	0,10	0,13	0,17
R <sub>se</sub>	0,04	0,04	0,04
R <sub>se</sub> an belüftete Luftschicht	0,08	0,08	0,08
R <sub>se</sub> ans Erdreich	0,00	0,00	0,00

\* z.B. hinterlüftete Fassade

#### Wärmebrückenberechnung zur Risikobewertung für Schimmelpilzbildung DIN 4108-2:2013 und DIN EN ISO 13788

[m <sup>2</sup> K/W]	für alle Richtungen des Wärmestroms		
	unbeheizte Räume*	beheizte Räume	Fensterrahmen**
R <sub>si</sub>	0,17	0,25	0,13
R <sub>se</sub>	0,04	0,04	0,04
R <sub>se</sub> ans Erdreich	0,00	0,00	0,00

\* nur DIN 4108-2

\*\*nur DIN EN ISO 13788

Tab. 5 Wärmeübergangswiderstände aus den DIN-Normen zur Berechnung von Wärmeschutz, Feuchtschutz (Tauwasser) und Schimmelpilzgefahr von Bauteilen und Wärmebrücken

vermieden werden. Eine zu niedrige Luftfeuchtigkeit führt zur Austrocknung der Schleimhäute und Reizerscheinungen in den Atemwegen sowie einer erhöhten Infektionsgefahr.

Neben der Feuchteabfuhr durch Lüftung muss eine ausreichende Beheizung erfolgen. Sowohl auf der Bauteiloberfläche als auch im Bauteil darf die Taupunkttemperatur im Winter nicht dauerhaft unterschritten werden. Dies sollte im Planungsprozess durch die Technischen Baubestimmungen (DIN 4108-2) mithilfe von Mindestdämmstandards, aber auch durch mehrdimensionale, instationäre (also zeitabhängige) wärme- und feuchtegekoppelte Bauteilsimulationen (siehe Abschnitt 3.4) im Detail sichergestellt werden.

Aufgrund des hohen Temperaturgefälles von innen nach außen ist eine Tauwasserbildung innerhalb eines Bauteils nie völlig ausgeschlossen. Insbesondere bei Innendämmung ist dies sogar der Regelfall. Daher wird in den Regelwerken lediglich von einer möglichst geringen, auf ein unschädliches Maß begrenzten Tauwasserbildung gesprochen.

## Wasserdampf-Diffusion durch Bauteile

Besteht zwischen den beiden Oberflächen eines Bauteils ein Unterschied in der Wasserdampfkonzentration in der Luft, was unterschiedlichen Wasserdampf-Partialdrücken ( $p$ ) entspricht, so kommt ein Wasserdampf-Diffusionsstrom durch das Bauteil zustande. Dieser Feuchtestrom ist proportional zum Partialdruckunterschied und indirekt proportional zum Diffusionswiderstand  $Z$  des Bauteils. Bezogen auf Luft kann der vorhandenen Bauteildicke  $s$  eine äquivalente Luftschichtdicke  $s_d = \mu s$  zugeordnet werden, die denselben Diffusionswiderstand liefert. Der Umrechnungsfaktor wird als Krischer'sche Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  bezeichnet. Der Diffusionswiderstand eines Bauteils aus  $n$  Schichten errechnet sich aus der Summe der äquivalenten Luftschichtdicken  $\mu_k s_k$  ( $k = 1$  bis  $n$ ).

Dann ergibt sich bei einem Partialdruckgefälle  $p_i - p_e$  zwischen der inneren und äußeren Oberfläche der Feuchtestrom  $g$ , bezogen auf  $1 \text{ m}^2$  des Bauteils, in  $\text{kg}/(\text{m}^2\text{h})$ :

$$g = \frac{p_i - p_e}{Z} \quad \text{mit } Z = 1,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Pa} \cdot \text{h} \cdot \text{m}}{\text{kg}} \sum_{k=1}^n \mu_k s_k$$

Der Partialdruck fällt über die äquivalente Luftschichtdicke des Bauteils gleichmäßig linear ab, sofern sein Wert nicht den lokalen Sättigungsdruck erreicht. Genau dies passiert jedoch, wenn infolge eines starken Temperaturabfalls über das Bauteil der Sättigungsdruck zu stark abfällt.

Dann kann der Partialdruck nicht mehr einer geraden Linie folgen, sondern muss gekrümmt verlaufen; in einer vereinfachten Darstellung kann man den Verlauf durch einen geknickten Linienzug approximieren. An der Knickstelle herrscht 100% relative Feuchte mit Partialdruck  $p_z$  (Tauwasserbildung).

Innerhalb bzw. außerhalb dieser Knickstelle im Bauteil hat man die Diffusionswiderstände  $Z_i$  bzw.  $Z_e$  (gebildet aus den jeweiligen Bauteilschichten), und man erhält unterschiedliche Feuchtestrome innen ( $g_i$ ) und außen ( $g_e$ ),

$$g_i = (p_i - p_z)/Z_i \quad \text{und} \quad g_e = (p_z - p_e)/Z_e,$$

deren Differenz die anfallende Tauwassermenge  $g_t$  pro Zeit darstellt:

$$g_t = g_i - g_e \quad \text{in } \text{kg}/(\text{m}^2\text{h}).$$

### 1.3.3 Feuchtetransport durch Bauteile

Feuchte kann mittels Diffusion, laminarer Luftströmung, kapillarer Wasserwanderung oder elektrokinetischer Einflüsse (Osmose) in ein Bauteil eindringen.<sup>26</sup>

#### Wasserdampf-Diffusion

Wasserdampf-Diffusion ist vom Ort höheren Wasserdampfgehalts (bzw. Partialdrucks) zum Ort niedrigeren Wasserdampfgehalts gerichtet. Es handelt sich um einen langsamen, statistischen Transportprozess durch die thermische Bewegung der Wassermoleküle. Der Vorgang ist vor allem im Winter von Bedeutung, weil in beheizten Räumen der Wasserdampfgehalt höher ist als in der kalten Außenluft. Dadurch wird Feuchte von innen ins Bauteil eingebracht. Da die Temperatur im Bauteil nach außen hin abfällt, kann es zu Tauwasserbildung kommen, wenn die Taupunkttemperatur unterschritten wird. Die Diffusion wird durch den Diffusionswiderstand der Baustoffe begrenzt. Dieser lässt sich durch die „diffusionsäquivalente Luftschichtdicke“  $s_d$  des Bauteils beschreiben (siehe Infobox).

Zur Vermeidung von Tauwasserbildungen im Bauteilquerschnitt müssen diese dampfdiffusionstechnisch richtig aufgebaut und insbesondere luftdicht ausgebildet sein. Ein hoher  $s_d$ -Wert von innen liegenden Bauteilschichten (diffusionsbremsende Schichten) führt zu einer starken Absenkung des Partialdrucks und kann die

Tauwasserbildung unterbinden, diffusionsoffene innen liegende Schichten mit niedrigem  $s_d$ -Wert erhöhen das Risiko der Tauwasserbildung bzw. die zu erwartende Tauwassermenge. Problematisch sind Undichtigkeiten in der Ausführung von dampfbremsenden Schichten, weil hier eine hohe Gefahr des Hinterströmens der Schicht besteht.

Es stehen zur Sicherstellung der Tauwasserfreiheit von Außenbauteilen mehrere Nachweisverfahren zur Verfügung; in der DIN 4108-3 ist die als „Glaser-Verfahren“ bekannte Nachweismethode verankert (vgl. z.B. Fischer et al., 2008).<sup>27</sup> Allerdings wird in diesem Verfahren das Feuchtespeicherverhalten der Baumaterialien nicht berücksichtigt, sodass in der Praxis zunehmend instationäre thermisch-hygrische Bauteilsimulationen zur Anwendung kommen.

### 1.3.4 Kapillare Wasserwanderung

In den Poren (Kapillaren) von Baustoffen kann sich aufgrund der Oberflächenspannung Flüssigwasser durch Kondensation bilden, wodurch ein Wassertransport in Form von „Oberflächendiffusion“ in dünnen Wasserfilmen bis hin zu einem gesättigten Flüssigwassertransport in den gefüllten Kapillaren erfolgen kann. Dieser

<sup>26</sup> Lohmeyer, G. C. O.; Post, Matthias; Bergmann, Heinz (2010): Praktische Bauphysik. 7., überarb. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.

<sup>27</sup> Fischer, Heinz-Martin; Freymuth, Hanns; Häupl, Peter; Homann, Martin; Jenisch, Richard; Richter, Ekkehard; Stöhrer, Martin (2008): Lehrbuch der Bauphysik. Schall – Wärme – Feuchte – Licht – Brand – Klima. 6., aktualisierte und erw. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, S. 196–200.

Mechanismus ist in der Lage, ein Vielfaches der Feuchtemenge im Vergleich zur reinen Diffusion zu bewegen. Der Transport ist von Orten höherer relativer Feuchte zu Orten niedrigerer relativer Feuchte gerichtet.<sup>28</sup>

Lohmeyer et al. (2010)<sup>29</sup> führen einige Beispiele auf, die in der Praxis von großer Bedeutung sind:

- aufsteigende Feuchte im Mauerwerk bei fehlender waagerechter Abdichtung
- nach innen wandernde Feuchte bei schlechter lotrechter Abdichtung im Erdreich
- nach innen wandernde Feuchte bei Außenwänden im Schlagregen
- kapillare Leitung von Tauwasser im Bauteil
- Feuchtespeicherung bei kurzfristig anfallender Feuchte in Küche, Bad etc. (Pufferwirkung)

Die rechnerische Behandlung von kapillarem Wassertransport kann durch hygrothermische (gekoppelte Wärme-Feuchte-)Simulationen, z. B. mit WUFI, mithilfe aktueller Materialdatenbanken durchgeführt werden.<sup>30</sup>

### 1.3.5 Kapillaraktive Innendämmung

Nach Aufbringen einer innenseitigen Wärmedämmung liegen die Temperaturen in der Massivmauerwerkschicht deutlich niedriger als ohne Dämmung, was einerseits zu einem erhöhten Tauwasserrisiko führt, andererseits die von außen eindringende Niederschlagsfeuchte langsamer abtrocknen lässt.

Das Risiko der Feuchteanreicherung kann bei luftdichter Ausführung und flächiger Verklebung der Dämmschicht durch diffusionshemmende Dämmstoffe oder Faserdämmungen mit konventioneller Dampfbremse minimiert werden. Allerdings wird dabei das Trocknungspotenzial nach innen ebenfalls reduziert. Ausführungsbedingte Undichtigkeiten schaffen zudem ein unwägbares Risiko. Daher galt in der Vergangenheit

28 Häupl, Peter; Willems, Wolfgang J. (2013): Lehrbuch der Bauphysik. Schall – Wärme – Feuchte – Licht – Brand – Klima. 7., vollst. überarb. und aktual. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 204.

29 Lohmeyer, G. C. O.; Post, Matthias; Bergmann, Heinz (2010): Praktische Bauphysik. 7., überarb. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, S. 219.

30 Binder, Andrea; Künzel, Hartwig; Zirkelbach, Daniel (2012): Ein abschätzender Blick in die Zukunft. Hydrothermische Simulationen. In: Bauen im Bestand B+B/Trockenbau Akustik Spezial, S. 11–17.

eine Innendämmung als bauphysikalisch ungünstig.

Für die Innendämmung stehen grundsätzlich drei unterschiedliche Varianten zur Verfügung:

- innenseitige Wärmedämmstoffe in Verbindung mit einer Dampfsperre und einer raumseitigen Plattenbekleidung
- dampfdichte Wärmedämmstoffe (z. B. Schaumglasdämmplatten)
- kapillaraktive Dämm- und Funktionsschichten ohne Verwendung von Dampfsperren (z. B. Calciumsilikatplatten, expandierte Perlite-Dämmplatten, Holzweichfaserdämmplatten, aufgeschäumte Minerale-Wärmedämmplatten u. a.)<sup>31</sup>.

Während dampfdichte Innendämmungen infolge der niedrigeren Partialdruckverhältnisse im Bereich des Mauerwerks für eine Entschärfung der Situation sorgen (mit dem Risiko des Hinterströmens bei undicht ausgeführter Dämmung), müssen diffusionsoffene Dämmungen kapillaraktive Eigenschaften aufweisen, um den Abtransport anfallender Tauwassermengen (zurück in den Innenraum) zu gewährleisten.

Mit zunehmender relativer Luftfeuchte der Umgebung bildet sich die Oberflächendiffusion aus; wenn der Wassergehalt weiter steigt, kommt es zur Kapillarleitung infolge der kapillaren Saugspannung in den bereits vollständig mit Wasser gefüllten Poren. Dieser Effekt tritt zunächst in den kleineren Kapillaren auf, während sich die größeren noch im Oberflächendiffusionsmodus befinden. Beide Phänomene werden zusammenfassend als Kapillaraktivität bezeichnet.<sup>32</sup>

Eine weitere Gefahr bei zu starker Innendämmung ist das Auskühlen von tragenden Holzbalken, die in das Mauerwerk ragen. Hier kann aufgrund der erhöhten relativen Luftfeuchte Schimmelbefall die Bausubstanz

31 Krätschell, Michael; Anders, Frank (2012): Schäden durch mangelhaften Wärmeschutz. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Schadenfreies Bauen, 32).

32 Zirkelbach, Daniel; Binder, Andrea (2011): Mit neuen Kennwerten genauer rechnen. Kapillaraktive Innendämmungen. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (2), S. 42–47.

zerstören.<sup>33, 34, 35, 36</sup> Hygrothermische Simulationen sind hier ein wichtiges Hilfsmittel, um Risiken auszuschließen.

#### Calciumsilikat-Dämmplatten

Eine mittlerweile in der Praxis erprobte Lösung dieses Problems wird im Einsatz einer kapillaraktiven Innendämmung auf Calciumsilikat-Basis gesehen.

Häupl et al. (2003)<sup>37</sup> haben dieses Material als innenseitig in Form aufgeklebter Platten angebrachte Dämmschicht untersucht. Diese werden in einem energieintensiven Prozess (Nasspressen, Autoclave, Trocknen) aus CaO, SiO<sub>2</sub>, Zellulosefasern und Wasser hergestellt. Die erhaltene Feststoffmatrix wurde bisher genutzt für die Isolation von Hochöfen, im Bereich der Metallgießerei und für den Brandschutz (1 100 °C). Die Platten haben eine niedrige Wärmeleitfähigkeit, eine hohe Kapillaraktivität und günstige Feuchtespeichereigenschaften für 40 bis 80 % rel. Feuchte. Das alkalische Milieu mit einem pH-Wert von über 10 erhöht zudem den Schutz vor Schimmelpilzwachstum.

In den kalten Monaten erzeugt das Temperatur- und Dampfdruckgefälle einen Wärme- bzw. Dampfstrom von innen nach außen. Innerhalb des Bauteils kommt es dann zur Kondensation, wenn der berechnete Wasserdampfdruck den direkt von der Temperatur abhängenden Sättigungsdruck überschreitet. Dies geschieht in der Regel auf der kalten Seite der Innendämmung. Sobald Tauwasser in der Konstruktion entsteht, setzt kapillares Saugen ein, wodurch das Wasser großflächig verteilt wird. Der Wandaufbau von innen nach außen besteht aus der kapillaraktiven Dämmplatte, dem Klebemörtel, der Massivwand und dem Außenputz. Die flächige Verbindung des Klebemörtels mit der vorhandenen Bausubstanz ist entscheidend, um Tauwasserbildung in einem Luftspalt zwischen Dämmschicht und Massivwand zu vermeiden.

33 Adriaans, Heinrich: Bauphysikalische und raumklimatische Betrachtungen in historischen Gebäuden – Holzbalkenköpfe und Innendämmung.

34 Kehl, Daniel (2012): Holzbalkenköpfe im Mauerwerk. Stand der Erkenntnisse. In: Holzbau Quadriga (6), S. 40–44.

35 Ruisinger, Ulrich (2011): Risikofaktor Balkenkopf? Holzbalkendecken und die Innendämmung. In: Holzbau (1), S. 18–22.

36 Ruisinger, Ulrich; Kautsch, Peter; Plagge, Rudolf (2012): Und es funktioniert doch! Innendämmung trotz Holzbalkenköpfen. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (4), S. 56–59.

37 Häupl, Peter; Fechner, Heiko; Jurk, Karsten; Petzold, H.; Stopp, H.; Finkenstein, C. (2003): Entwicklung leistungsfähiger Wärmedämmsysteme mit wirksamem physikalischen Feuchteschutz. Abschlussbericht Projekt Nr. 0329663B/0, BEO (Projekträger). Forschungszentrum Jülich.

Ruisinger et al. (2004)<sup>38</sup> erhalten aus Simulationsrechnungen ohne Berücksichtigung der Kapillarität im Fall einer Ziegelwand bis zu 2,3 kg/m<sup>2</sup> Tauwasser, unter Einbeziehung des Kapillarwassertransports dagegen max. 0,66 kg/m<sup>2</sup>. Diese deutliche Reduktion durch Kapillaraktivität wurde auch in mehreren Testhäusern nachgewiesen. Die empirischen Untersuchungen zeigen, dass in der ersten Heizperiode eine Austrocknung der Einbaufeuchte (Klebemörtel) stattfindet. Dabei betragen die relativen Luftfeuchten im Winkelbereich noch bis zu 85 % (langsamere Austrocknung), in der zweiten Heizperiode nur noch ca. 65 %. In Abstimmung mit ihren Simulationen empfehlen die Autoren eine Dämmstärke von 5 cm.

Für die im Plato-Wild-Ensemble eingesetzte Innendämmung wurden für die kritischen Details hygrothermische Simulationen mit WUFI<sup>39</sup> durchgeführt, die in Abschnitt 3 diskutiert werden.

38 Ruisinger, Ulrich; Petzold, Hans; Grunewald, John; Häupl, Peter (2004): Energetische Bewertung von Gebäuden mit raumseitiger Wärmedämmung aus Calciumsilikat. In: Landesregierung Thüringen (Hg.): Tagungsband Energiefachtagung. Bauhaus-Universität Weimar.

39 Künzel, Hartwig (1994): Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation. Stuttgart: Universität Stuttgart.

## 2. Bestandsanalyse und Bauschäden

### 2.1 Risse und Feuchteschäden

Im Zuge der Bauaufnahme entstand eine umfassende Fotodokumentation von Bauschäden und Feuchteschäden. Exemplarische Messungen des Innenraumklimas über mehrere Tage hinweg belegen ein hohes Schimmelpilzrisiko in den Wohnräumen, das auch durch das Nutzerverhalten beeinflusst wird.

Bau- und Feuchteschäden an Sockel, Putz, Dachkonstruktion, Keller und Innenräumen wurden fotografisch dokumentiert und in einem Schadenskatalog zusammengestellt und bewertet.<sup>40, 41, 42</sup>

Die Risse in den Mauerwerksaußenwänden und Schäden im Natursteinsockelbereich werden dokumentiert, auf einem Plan verortet und hinsichtlich der Schadensursachen klassifiziert. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse kann ein angemessenes Instandset-

40 Semmler, Thomas; Cemedanov, Sandra (2014): Bestandsmodernisierung Plato-Wild-Ensemble: Bauschadensanalyse an Sockel, Fassade, Mauerwerk. Master-Projektarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.

41 Licha, Maximilian; Wallner, Christian; Ziegler, Thomas (2014): Bestandsmodernisierung Plato-Wild-Ensemble: Schimmel in Wohnräumen, Raumklima. Master-Projektarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.

42 Höflich, Daniel (2013): Thermische Berechnungen und hygrothermische Detail-Simulationen für eine Gebäudemodernisierung mit kapillaraktiver Innendämmung. Masterarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.



Abb. 78 Dehnungsriß (konstruktiv bedingter, vertikal verlaufender Riss vom Ringbalken abwärts)  
(Foto: Semmler/Cemedanov)

zungskonzept entwickelt werden, das alle Faktoren (Denkmalschutz, Bauteilfunktion und Kosten) berücksichtigt.

#### 2.1.1 Risse in der Fassade

Risse im Mauerwerk alter Gebäude haben oftmals mehrere Ursachen und lassen sich in der Literatur entsprechend katalogisieren.<sup>43, 44</sup> Zur Unterscheidung der Rissarten und deren Ursachen gibt es vier Gruppen (Tab. 6): baugrundbedingte, konstruktiv bedingte, untergrundbedingte und putzbedingte Risse (Frössel 2009):<sup>45</sup>

- Bei nicht oder nur gering bindigen Böden ist eine spätere Setzung in der Regel nicht zu erwarten. Der Boden besitzt ein Lastsetzungsverhalten, d.h., die größten Setzungen sind während der Rohbauphase zu erwarten. Nachträgliche Setzungen sind in der Regel so gering, dass sie vernachlässigt werden können. Feinkörnige bzw. stark bindige Böden besitzen zusätzlich zu dem bereits erwähnten Lastsetzungsverhalten noch ein Zeitsetzungsverhalten. Flachgegründete Bauwerke können daher auch Jahrzehnte nach Fertigstellung noch Setzungen aufweisen, die stark von den Wasserverhältnissen im Untergrund abhängen (z.B. Schwindsetzung bei Austrocknung des Bodens). Stark sandige Böden, die aus locker gelagertem Material bestehen, sind extrem erschütterungsempfindlich, d.h. dass es zum Beispiel durch Erschütterungen in der näheren Umgebung (z.B. Gründungsarbeiten beim Nachbarhaus) zu Setzungen kommen kann.
- Konstruktiv bedingte Risse haben ihren Ursprung in der Konstruktionsebene bzw. dem Bauteil und werden durch den Verbund auch auf angrenzende Bauteile übertragen. Die Ursachen sind meistens äußere Lasteinwirkungen und lastunabhängige Verformungen, wie Setzungen, Durchbiegungen aufgrund von Eigengewicht, Feuchtehaushalt oder Temperatur. Für die dabei entstehenden Risse gibt es jeweils sehr unterschiedliche und typische Rissbilder, wie sie auch am Plato-Wild-Ensemble festgestellt werden konnten. Man unterscheidet:

43 Schubert, P. (2002): Schadenfreies Bauen mit Mauerwerk – Katalog von Risschäden und Maßnahmen zu deren Vermeidung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

44 Schubert, Peter (2004): Mauerwerk – Risse vermeiden und instandsetzen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

45 Frössel, Frank (2009): Risse in Gebäuden. Damit aus einer Fassade kein Ris(s)iko wird. 1. Aufl., unveränd. Nachdr. Waldshut-Tiengen: Baulino Verlag; Baulino, S. 196–290.



Abb. 79 Auszug aus dem Schadenskatalog mit Lageplan zur Verortung der Rissbilder  
 Quelle: Semmler, Thomas; Cemodanov, Sandra (2014)



a) vertikal verzahnte Risse, welche zumeist durch Schwinden oder Ausdehnen des Ringbalkens oberhalb des Mauerwerks verursacht werden (Abb. 78), d.h. durch unterschiedliche Längenänderungen benachbarter Bauteilkomponenten;  
 b) schräge, abgestufte Risse als Folge von Schubspannungen, die beispielsweise bei der Verwendung von unterschiedlichen Mauersteinen für Außen- und Innenmauerwerk entstehen können;  
 c) horizontale Risse, die sehr häufig aus Deckendurchbiegungen resultieren. Letztere entstehen, wenn sich die Decke z.B. aufgrund ihres Eigengewichts stark durchbiegt. Dann bildet sich am Mauerwerksauflager eine klaffende Fuge zwischen Decke und Mauerwerk, welche in der Regel als horizontaler Riss sichtbar wird.

- Der Untergrund oder auch Putzträger stellt die tragende Schicht für die nachfolgende Beschichtung dar. Darunter fällt eine Vielzahl von Werkstoffen (Kalkstein, Sandstein, Beton, Holz, Gips, Leichtbauplatten usw.). Aber auch Putze, wie etwa Kalkputze, Zementputze, Lehmputze, Sanierputze und viele mehr, können wiederum als Untergrund bzw. als „Unterputz“ für den Oberputz dienen. Der Oberputz wiederum dient meistens als Untergrund für die Anstriche, die meistens mehrschichtig sind und somit für sich selbst wieder ein Untergrund für die nächste Schicht sind. Untergrundbedingte Risse sind somit ein Grenzflächenthema zwischen zwei aneinander grenzenden Schichten. Sie müssen nicht durch alle Schichten und Tiefen verlaufen. Ursächlich sind die Materialeigenschaften Saugfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Festigkeit des Untergrunds (Volumenänderung aufgrund von Wasseraufnahme/Quellen oder Wasserabgabe/Schwinden und temperaturbedingte Volumenänderungen, aber auch handwerkliche Mängel wie z. B. nicht fachgerech-



Abb. 80 Kerbriss am Plato-Wild-Ensemble (Foto: Semmler/Cemodanov)

te Mauerwerksfugen führen dazu, dass aufgrund der unterschiedlichen Putzdicke und der daraus resultierenden Aushärtungszeit Risse provoziert werden. Eine genaue Unterscheidung konstruktiv bedingter und untergrundbedingter Risse ist oftmals nicht so einfach, da sich in den meisten Fällen deren Ursachen überlagern. Dafür typisch sind Risse mit sich überlagernden Ursachen wie z.B. Kerbrisse, Fugenrisse und Stein-Putz-Risse. Kerbrisse treten meist als diagonal verlaufende Risse auf, die am häufigsten bei Mauerwerköffnungen im Eckbereich entstehen. Wenn die Risse im Steinfugenbereich verlaufen, sind diese eher linienförmig; im Fugenbereich zwischen den Mauersteinen verlaufen sie zickzackförmig. Überlagern sich vertikale Druckspannungen mit den horizontal verlaufenden Zugspannungen, kommt es zu Spannungsspitzen, die im Eckbereich am größten sind. Infolge dessen entsteht an der schwächsten Stelle des Mauerwerks ein Riss, der sich in diagonalen Richtung fortsetzt. Es kann auch vorkommen, dass ein vertikaler Riss in der Mitte des Brüstungsbereichs auftritt (Abb. 80).

Rissart	baugrundbedingt	konstruktiv bedingt	untergrundbedingt	putzbedingt
Ursachen	Baugrund	Äußere Lasteinwirkungen	Untergrund	Sackrisse
	- nicht oder gering bindig	Lastunabhängige Verformungen	- Saugfähigkeit	- weiche Putzkonsistenz
	- feinkörnig/stark bindig	- Setzungen	- Wärmeleitfähigkeit	- zu lang eingerieben
	- stark sandig	- Durchbiegungen	- Festigkeit	Schwindrisse
	Lastsetzungen	- Schwinden	Kerbrisse	- schlechte Nachbehandlung
	Zeitsetzungen	- Temperatur	- Öffnungen im Mauerwerk	- Verdunstung
	Grundwasserspiegel	- Kriechen	Fugenrisse	Fettrisse
	Erdbeben		- schlechte Verfugung/Putz	- zu starkes Glätten der Oberfläche
	Unterspülungen		Stein-Putz-Risse	
	Verwurzelung (Bäume)		- Temperatur, Feuchte	
fehlerhafte Planung				

Tab. 6 Übersicht der Rissarten und deren Ursachen. Nach Frössel, Frank (2009): Risse in Gebäuden. Damit aus einer Fassade kein Ris(s)iko wird. 1. Aufl., unveränd. Nachdr. Waldshut-Tiengen: Baulino Verlag; Baulino.

Fugenrisse sind sehr regelmäßig und spiegeln zumeist den Fugenverlauf des Untergrundes wider. In der Regel kann man diese Art von Rissen bei einem Untergrund aus Mauerwerk beobachten, jedoch auch auf Dämmplatten eines Vollwärmeschutzes. Fugenrisse entstehen innerhalb der ersten zwei Jahre und können sich mit Schwindrissen oder aber auch konstruktiv bedingten Rissen überlagern, woraus nicht mehr ganz so eindeutige Rissbilder entstehen. Deshalb müssen Fugenrisse nach Frössel (2009)<sup>46</sup> bei genauerer Analyse zwischen untergrundbedingten und putzbedingten Ursachen unterschieden werden. Temperaturvariationen auf der Außenseite von hoch wärmedämmenden Mauerwerken mit sehr dünnwandigen Ziegeln führen zu stärkeren Verformungen der Steine auf der Außenseite im Verhältnis zur Innenseite. Durch die außenseitigen Dehnungen bzw. Verkürzungen zeichnet sich das Fugenbild im Putz ab, sog. Stein-Putz-Risse entstehen. (Dieses Phänomen kann bei Bestandsgebäuden der 1920er-Jahre nicht auftreten.)

- Putzbedingte Risse beschränken sich auf das Putzsystem selbst. Sie treten schon relativ früh (innerhalb der ersten sechs Monate) auf. Die komplexen Anforderungen an ein Putzsystem sind z. B. von Hartmann (2013)<sup>47</sup> dargestellt. Zur besseren Klassifizierung gibt es eine Einteilung der verschiedenen Rissarten in Sackrisse, Schrumpfrisse, Schwindrisse und Fettrisse (siehe Tab. 6). Am Plato-Wild-Ensemble wurden putzspezifische (historische) Rissbilder nicht identifiziert.

Konstruktiv bedingte Risse zeigen sich meistens erst nach sechs Monaten bis hin zu fünf Jahren nach Fertigstellung. Es ist durchaus möglich, dass die vorgefundenen Risse am Plato-Wild-Ensemble schon 80 Jahre und älter sind. Selbst wenn dies nicht der Fall ist, liegt die Vermutung nahe, dass zumindest ein Teil der Risse auf die Konstruktion, speziell auf Ausdehnungen aus dem Ringbalken, zurückzuführen ist. Am Plato-Wild-Ensemble wurden an vielen Stellen Risse entdeckt, die ganz oben am Gebäude beginnen und bis unten durchlaufen, ihren Ursprung somit vermutlich in Längenänderungen im Ringbalken haben. Diese Risse verlaufen von ganz oben bis unten und wandern über die Schwachstellen im Mauerwerk, insbesondere die Eckbereiche von Fenster- und Türöffnungen.

46 Frössel, Frank (2009): Risse in Gebäuden. Damit aus einer Fassade kein Ris(s)iko wird. 1. Aufl., unveränd. Nachdr. Waldshut-Tiengen: Baulino Verlag; Baulino.

47 Hartmann, Oliver (2013): Besser vorbeugen als nur Symptome bekämpfen. Putzrisse erkennen, analysieren und sanieren. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (5), S. 16–19.

## Schadenskartierung

Der Kartierung und genauen Verortung von Bauschäden kommt bei der Schadenserfassung eine wichtige Rolle zu.<sup>48</sup> Für das Plato-Wild-Ensemble wurde eine einfache, aber effektive Methode zur Darstellung der vorhandenen Schäden gewählt.<sup>49</sup> Anhand des Ampelprinzips wurden die Risschäden kategorisiert, wobei Rot für viele Schäden und großen Sanierungsaufwand steht, während Grün für Schadensfreiheit und keinerlei Sanierungsbedarf steht.

Bei der Besichtigung des Plato-Wild-Ensembles und der durchgeführten Schadenskartierung der Risse sind immer wieder die gleichen Schadensbilder aufgefallen, in der Regel konstruktiv bedingte Dehnungsrisse und untergrundbedingte Kerbrisse. Diese Risse treten zumeist in den ersten Jahren nach Fertigstellung auf, sie könnten also durchaus seit den 1920er-Jahren bestehen. Abb. 79 zeigt einen Auszug aus dem Schadenskatalog.

## Weitergehende Analysen und Instandsetzung

Um letztendlich herauszufinden, welche Ursachen nun tatsächlich für die Risse verantwortlich sind und über welchen Zeitraum sie sich entwickeln, muss eine genaue Analyse vorgenommen werden. Dabei werden die Risse mit einem Rissmaßstab versehen, kontrolliert und für eine spätere Dokumentation fotografiert und festgehalten. Wie Frössel (2009) beschreibt, können Risse unter 0,2 mm Breite mit einer rissüberbrückenden Beschichtung geschlossen werden, breitere Risse müssen jedoch durch Füllen oder Injizieren verschlossen werden.

Stichprobenartig kann an vereinzelt Stellen der Putz abgeschlagen oder aufgebohrt werden, um zu kontrollieren, bis in welche Schicht der Riss vordringt.

Besonders sollte vor einer Instandsetzung geprüft werden, ob die Risse noch in Bewegung sind. Dies kann mithilfe einer Gipsmarke oder eines Rissmonitors nachgewiesen werden, welcher über dem Riss angebracht wird. Mithilfe moderner Rissmessgeräte erhält man nicht nur die Information, ob der Riss in Bewegung ist, sondern man kann auch messen, wie stark sich der Riss verändert hat.

48 Schäfer, Hermann (2013): Von A bis Z die Übersicht behalten. Digitale Unterstützung bei der Bauwerkskartierung. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (5), S. 36–40.

49 Semmler, Thomas; Cedomarov, Sandra (2014): Bestandsmodernisierung Plato-Wild-Ensemble: Bauschadensanalyse an Sockel, Fassade, Mauerwerk. Master-Projektarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.



Abb. 81 Intakte Sockelmauer im Bereich von Grünflächen und Kiesschüttung (Fotos: Semmler/Cemodanov)

Meist sind kosmetische Reparaturen von Rissen (schnelles Verspachteln) nicht von langer Dauer. An manchen Rissen lassen sich auch frühere Reparaturversuche erkennen. Die Risse müssen fachgerecht behandelt werden. Eine Möglichkeit zur Sanierung der Risse im Außenmauerwerk ist die Rissinjektion. Diese erfolgt durch Verpressen des Risses unter Druck, mithilfe von sog. Packern geschehen. Diese werden abwechselnd links und rechts entlang des Risses angebracht. Zuvor werden Löcher diagonal von rechts nach links bzw. von links nach rechts verlaufend vorgebohrt, durch die später das Injektionsmittel eingepresst wird. In die vorgebohrten Löcher werden die Packer eingebohrt und verspannt, geklebt oder eingeschlagen. Anschließend werden an den Packern die Injektionsschläuche angebracht und mittels einer Verpressmaschine die Risse unter Druck verschlossen. Dadurch wird gewährleistet, dass auch der kleinste Riss und Hohlraum verschlossen wird.

Ruhende Risse lassen sich kraftschlüssig mittels eines Zementleims verschließen. Dieser wird im sogenannten Niederdruckverfahren eingebracht. Wenn die Risse sich allerdings stetig bewegen, ist eine Rissinjektion mit einem elastischen Injektionsharz zu empfehlen.

Nachdem das Injektionsgut ausgehärtet ist, sollte ein rissüberbrückendes Putzsystem über dem Riss angebracht werden. Dazu muss der Putz entlang des Risses im Umkreis von ca. 20 cm abgefräst oder abgeschlagen, ein Haftgrund aufgebracht und anschließend ein rissüberbrückendes Gewebe eingeputzt werden. Dadurch können kleinere Bewegungen und Spannungen im Riss und Putzsystem aufgefangen und ein erneutes Aufreißen verhindert werden.

Eine weitere Möglichkeit der Rissanierung bietet der Einbau eines Spiralankers. Dieser besteht aus austenitischem Edelstahl, der gewalzt und verdrillt wird. Dieses System weist eine hohe Zugtragfähigkeit und hinreichend elastisches Verhalten auf. Es kann für ruhende Risse verwendet werden, es kann aber ebenso bei beweglichen Rissen eingesetzt werden.

## 2.1.2 Sockelschäden

Baumaterialien im Bereich von Straßen und Gehwegen sind besonderen Beanspruchungen durch Spritzwasser, Tausalze, Harn und mechanische Kräfte ausgesetzt. Dies kann im Laufe der Zeit zu Schäden führen, wie sie auch am Plato-Wild-Ensemble zu beobachten sind. Die meisten schwärzlichen Verfärbungen des Natursteins sind harmlos und auf Hundeharn zurückzuführen. Neben diesen ästhetischen Beeinträchtigungen konnten jedoch auch Schäden, deren Ursprung auf Tausalze und Frost zurückgeführt werden muss, festgestellt werden.

Die vorgefundenen Schäden wurden kartiert und nach dem Ampelprinzip eingestuft, um anschließend ein Instandsetzungskonzept zu entwickeln. Die Einordnung der Schadensklasse rot bis grün erfolgte anhand der Häufigkeit und dem Zerstörungsgrad des Sockelbereichs, Beispiele aus dem Schadenskatalog zeigt Abb. 82.

Am Plato-Wild-Ensemble wurde im Sockelbereich hauptsächlich Sandstein verbaut (Abb. 83), an manchen Häusern aber auch Travertin. Travertin ist ein poröser Kalkstein von gelblicher bis brauner Farbe, der fast ausschließlich aus Calciumcarbonat besteht. Er ist trotz seines hohen Wassergehalts von 0,3 bis 3,0 Masseprozent frostfest. In saurem Milieu wird er jedoch schnell angewittert.

Die Kenntnis über die vorliegende Steinsorte ist nach Schrepfer und Gscheidle (2007)<sup>50</sup> essenziell: „Abhängig von der Exposition des Natursteins am Bauwerk und dem verbauten Natursteinmaterial ist eine Vielzahl an Schäden bekannt. Dabei ist vor allem zu beachten, dass aus einem Schadensbild ohne Kenntnis des verbauten Natursteinmaterials nicht auf die Schadensursache geschlossen werden kann.“

Die vorgefundenen Schäden traten alle beim Sandstein auf und wiesen alle ein ähnliches Schadensbild

<sup>50</sup> Schrepfer, Thomas; Gscheidle, Harald (2007): Schäden beim Bauen im Bestand. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Schadenfreies Bauen, 41), S. 184.

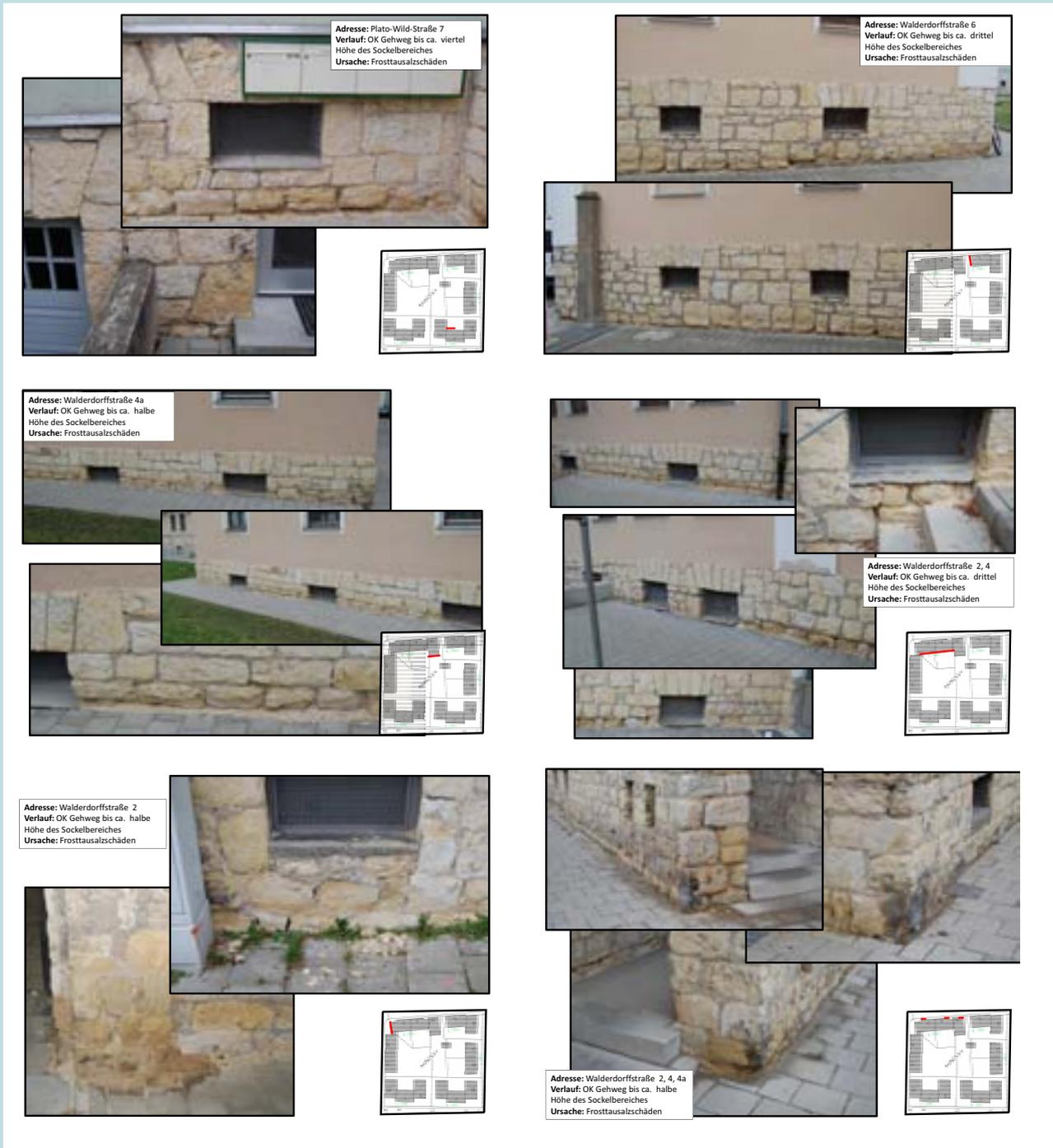


Abb. 82 Auszug aus dem Schadenskatalog für die Natursteinsockelmauern  
 Quelle: Semmler, Thomas; Cemodanov, Sandra (2014)





Abb. 83 Schäden am Sandsteinsockel im Bereich von Hauseingängen, Treppen und Gehwegen (Fotos: Semmler/Cemodanov)

auf. Schrepfer und Gscheidle (2007) nennen folgende für Natursteine typische Schadensbilder:

- Absanden (Verwitterung)
- Abblättern (Schichtenbildung)
- Abspregungen
- Ausblühungen
- Krustenbildung

Die am Plato-Wild-Ensemble vorgefundenen Schäden können gemäß dieser Einordnung in die Kategorie Absanden und Abspregungen eingeordnet werden. Die Oberflächen der Steine versanden zunehmend mit den Jahren, die Abspregungen durch gefrierendes Wasser und austrocknende Salze unterstützen diesen Prozess. Dies liegt sehr wahrscheinlich auch an den für den Sockelbereich ungünstigen bzw. ungeeigneten Eigenschaften des Sandsteins. Er besitzt eine sehr hohe kapillare Saugfähigkeit und verfügt darüber hinaus noch über eine extrem hohe Speicherfähigkeit von Wasser. Diese Eigenschaften bieten die optimalen Voraussetzungen für Frostabplatzungen und Frostschäden, die durch Volumenausdehnung des gefrierenden Wassers in den Poren des Sandsteins entstehen.

Die vorgefundenen Schäden im Sockelbereich liegen



Abb. 84 Sockelmauer aus Sandstein (Foto: Semmler/Cemodanov)

alle im unmittelbaren Verlauf von Gehwegen im Innenhof, an Treppen und im Bereich der öffentlichen Gehwege an der Straße (Abb. 84). Man beobachtet, dass die unteren zwei bis drei Steinreihen dunkler sind als die darüberliegenden. Dies ist ein Indiz für eine erhöhte Wasseraufnahme.

Die Verkehrswege müssen in den Wintermonaten von Schnee und Eis befreit werden. Aus diesem Grund liegt die Vermutung nahe, dass auch Tausalze bei den Schäden eine bedeutende, wenn nicht sogar die ausschlaggebende Rolle spielen. Diese bahnen sich beim Abtauen in wassergelöster Form ihren Weg in den Sandstein. Dort werden sie aufgrund der hohen Saug- und Speicherkapazität eingelagert. Egloffstein (2013)<sup>51</sup> stellt dazu fest, dass „[...] spritzwassergefährdete Bereiche häufig mit Halit aus Streusalz belastet sind“. Halit ist ein beinahe farbloser, kubischer Salzkristall, der beim allmählichen Austrocknen des Wassers zurückbleibt. Dabei kommt es zu einer Volumenvergrößerung. Der damit verbundene Kristallisationsdruck führt schließlich zu Abplatzungen im Sandstein. Das Salz kann aufgrund seiner Hygroskopizität wieder Wasser einspeichern, wodurch es bei Kälte wiederum zu Frostschäden kommt.

Eine chemische Analyse der Anionen oder eine Röntgen-Diffraktometrie der Salzphase kann Aufschluss darüber geben, in welchem Umfang Streusalze bzw. Halit im Mauerwerk vorhanden sind.

Interessanterweise sind im Plato-Wild-Ensemble alle Stellen, wo kein Gehweg o.Ä. unmittelbar angrenzt, also neben Gras- und Kiesflächen, nahezu unbeschädigt (Abb. 81). Beide Bereiche liegen im Spritzwasserbereich, jedoch ist nur der Sandstein entlang der Verkehrswege betroffen. Dies deutet darauf hin, dass die Tausalze Verwitterung und Zerstörung der Sandsteine im Sockelbereich verursacht haben. Aufsteigende Feuchte aus dem Erdreich kann man ebenso wie Spritz-

<sup>51</sup> Egloffstein, Petra (2013): Unerwünschte Würze. Flankierende Maßnahmen bei feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (6), S. 28–33.



Abb. 85 Horizontalsperre gegen aufsteigende Mauerwerksfeuchte (Foto: Semmler/Cemodanov)

wasser als alleinige Schadensursache ausschließen. Beide können jedoch fördernd im Zusammenwirken mit den Tausalzen zur Zerstörung des Sandsteins beitragen.

Begünstigt wird die Zerstörung des Sandsteins im Sockelbereich außerdem dadurch, dass die Fugen einen Allmählichkeitsschaden durch Verwitterung erleiden. Das Fugenmaterial wird mit der Zeit porös, bröckelt nach und nach aus der Fuge heraus und verliert seine abdichtende Funktion. Die dadurch entstehenden Hohlräume zwischen Fugennetz und Sandstein bieten ebenfalls ideale Voraussetzungen dafür, dass Wasser auch in die hinteren Regionen des Sandsteins vordringen kann und dort durch gefrierendes Wasser und eingebrachte Salze Schäden am Sandstein und im Fugennetz entstehen können.

#### Instandsetzung

Bei salzgeschädigtem Mauerwerk wird in der Regel ein Sanierputzsystem empfohlen.<sup>52</sup> Zur Wahl des geeigneten

52 Kollmann, Helmut (2012): Im System putzen. Marktübersicht Sanierputze. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanie-

ten Materialsystems kann man das WTA-Merkblatt 2-9-04/D Sanierputzsysteme<sup>53</sup> zurate ziehen. Soll jedoch das verputzte Mauerwerk wie bei einem Natursteinsockel erhalten bleiben, muss man alternative Möglichkeiten nutzen. Bei Egloffstein (2013)<sup>54</sup> findet man eine Aufstellung verschiedener Verfahren (siehe Tab. 7).

Der mechanische Austausch ist aufwendig, aber im vorliegenden Fall die einzig sinnvolle Methode. Zuerst müssten die verwitterten Sandsteine komplett herausgenommen oder je nach Zustand teilweise entfernt werden. Die Verwitterung beschränkt sich zumeist auf die unteren zwei bis drei Steinreihen, die unmittelbar im Spritzwasserbereich liegen. Folglich ist nicht der komplette Austausch der Sandsteine nötig. Die oberen Steinreihen wurden bereits durch ein Überhangblech geschützt (siehe Abb. 83), welches den Wasserzutritt von oben an den Sandstein erschwert.

Zusätzlich zu dem Überhangblech ist etwa in der Mitte des Sockelmauerwerks eine Horizontalsperre angebracht, um aufsteigende Feuchtigkeit zu unterbinden. Ausgehend vom optischen Befund ist davon auszugehen, dass diese Horizontalsperre in Form einer Bitumenpappe funktioniert (Abb. 85). Die im Zuge der Instandsetzung herausgenommenen Sandsteine müssten durch neue Steine ersetzt werden, wobei bei einem Teilausbau auch nur ein neuer, kleinerer Sandstein vorgesetzt werden kann. Sollten Steine im Bereich der Horizontalsperre ausgetauscht werden, muss man beim Aus- und Einbau darauf achten, die Horizon-

rung) (2), S. 47–57.

53 Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA) (2006): Sanierputzsysteme. Unter Mitarbeit von Sylvia Stürmer. Dt. Fassung vom 24.10.2005, endgültige Fassung: Dez. 2005. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl (WTA-Merkblatt 2-9-04/D).

54 Egloffstein, Petra (2013): Unerwünschte Würze. Flankierende Maßnahmen bei feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanie- rung) (6), S. 28–33.

Verfahren	Vorteile	Nachteile
1 Mechanisches Entfernen (Abbürsten, Absaugen, Abkratzen, Austauschen)	vollständig	Beschädigung der Oberfläche
2 Chemische Salzumwandlung in unlösliche Verbindungen mit Bleihexafluorsilicat oder Bariumhydroxid	Bildung von schwerlöslichen Sulfatverbindungen	teilweise auch leicht lösliche Verbindungen
3 Wasserbad zur Auswaschung der Salze	Effizienz abhängig vom Porenraum, Salzart, Objektgröße, Wassertemperatur und Badwechsel	nur für bewegliche Objekte
4 Kompresse aus Zellulose mit Bentonit, Perlit, Kaolinit	leichtes manuelles oder maschinelles Aufbringen, Fertigprodukte	benötigt mehrere Zyklen, lange Standzeiten
5 Unterdruckverfahren (Absaugung des wassergesättigten Objekts, Entfernung der gelösten Salze)	Entfernung auch großer Mengen Salz	Abdichtungsproblematik für Unterdruck, Effizienz unklar
6 Kulturen mit denitrifizierenden Bakterien: Umwandlung von Nitraten zu gasförmigen Stickstoff, Kationen werden in Carbonate umgewandelt und verbleiben im Objekt	Reduktion von Nitraten	langwierig, zurückbleibende Kationen können Alkalikarbonate bilden
7 Opferputze (Sanierputz): a) Kalkputze b) Kompressenputze	a) effektive Trocknung durch Kapillarität, befundgerecht b) Trocknung durch Kapillarität, höhere Festigkeit (zementär)	geringe Dauerhaftigkeit

Tab. 7 Verfahren zur Mauerwerkssanie rung bei Versalzungsschäden Nach Egloffstein, Petra (2013): Unerwünschte Würze. Flankierende Maßnahmen bei feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanie rung) (6), S. 28–33.

talsperre nicht zu zerstören oder gegebenenfalls zu erneuern. Eine nachträgliche Horizontalabdichtung erreicht man u. U. auch durch Mauerwerksinjektionen.<sup>55</sup> Dazu müssen allerdings Löcher in die Natursteinsockelwand gebohrt werden.

Um ein einheitliches und sauberes Bild zu erhalten, müssen auch die Fugen vor allem in den verwitterten Bereichen komplett erneuert werden. Nach Trocknung des Fugenmaterials kann der Stein mit einem geeigneten Produkt hydrophobiert werden. Eine Hydrophobierung kommt einer Lackierung gleich, der Stein wird mit einer unsichtbaren Schutzschicht überzogen. Hierfür werden Stoffe wie Paraffin, Siloxan, Silan o. Ä. verwendet, die den Kapillartransport in den Baustoffen unterbinden sollen.<sup>56</sup> Handelsübliche Produkte sollen die Wasser- und Schadstoffaufnahme reduzieren, den Befall durch Mikroorganismen einschränken und die Frost-Tausalz-Beständigkeit deutlich verbessern. Allerdings muss aus Sicht des Denkmalschutzes der Einsatz zusätzlicher Hydrophierungsschichten kritisch hinterfragt werden, da die Langzeitwirkung nicht immer garantiert ist und ein Eindiffundieren chemischer Substanzen in das Bestandsmaterial nicht ausgeschlossen werden kann.

Abschließend ist festzuhalten, dass eine Sanierung des Sockelmauerwerks nicht nur aus ästhetischen und denkmalpflegerischen Gründen sinnvoll ist. Zwar hat das Sandsteinmaterial als Verblendmauerwerk hier keine tragende Funktion, der Anschluss an das verputzte Mauerwerk und der Schutz vor Schlagregen und Stauwasser werden jedoch mit fortschreitender Zerstörung nachhaltig beeinträchtigt, wodurch andere Bauteile (Vollziegelmauerwerk und Kellerwand) betroffen sein können.

### 2.1.3 Feuchteschäden in Wohnräumen

Die Analyse von Feuchteschäden in den Innenräumen offenbart wesentliche Ansatzpunkte für eine energetische Modernisierung. Dabei handelt es sich in der Regel um Schimmelbefall von Innen- und Außenwänden, der in Verbindung mit ungünstiger Möblierung (schlechter Oberflächenbelüftung) und falschem Lüftungsverhalten der Nutzer besonders dramatisch sein kann. Tab. 8 enthält die Hauptquellen von Feuchtigkeit im Haushalt

55 Mauerwerksinjektion gegen kapillare Feuchtigkeit (2006). Dt. Fassung vom März 1996, endgültige Fassung: Aug. 2004. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag (WTA-Merkblatt 4-4-04/D).

56 Egloffstein, Petra (2013): Unerwünschte Würze. Flankierende Maßnahmen bei feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (6), S. 28–33.

durch alltägliche Vorgänge.

Abb. 86 und Abb. 87 zeigen Aufnahmen von Feuchteschäden einer Obergeschosswohnung im Plato-Wild-Ensemble.<sup>57</sup>

Grundsätzlich kann Feuchtigkeit in und an Bauteilen durch Wasseraufnahme in flüssiger oder in dampfförmiger Form erfolgen. Die durchfeuchteten Stellen in der Wohnung, die bereits einen Schimmelbefall aufweisen, sind zum einen auf kondensierende Feuchtigkeit aus fehlerhaftem Nutzerverhalten (wie übermäßige Feuchteproduktion oder unzureichendes Lüften), zum anderen auf die Kondensationsfeuchte, die durch die konstruktiven Wärmebrücken entstanden sind, zurückzuführen. Eindringende Feuchtigkeit von außen kann aufgrund der gut erhaltenen Fassade ausgeschlossen werden.

#### Schimmelbefall

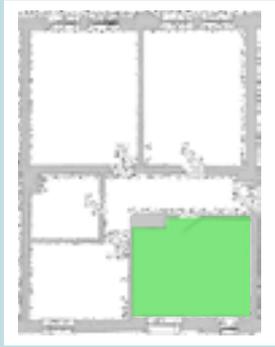
Wesentliche Voraussetzung für Schimmelbefall ist die verfügbare Feuchtigkeit. Bereits bei einer relativen Luftfeuchte von 80% auf der Bauteiloberfläche kann sich Schimmel bilden. Bei einer innenseitigen relativen Luftfeuchte von 50% und einer Temperatur von 20°C ist dieser Wert bei einer Bauteiltemperatur von 12,6°C erreicht. Wenn die Sporenkeimung erst einmal stattgefunden hat, sind bestimmte Schimmelpilze auch noch bei einer relativen Luftfeuchte von ca. 70% entwicklungsfähig. Regelmäßige Tauwasserbildung fördert somit den Schimmelbewuchs. Aufgrund des für die Schimmelpilzbildung erforderlichen frei verfügbaren Wassers kann die Entstehung von Schimmelpilz immer als Indikator für eine mangelhafte bauliche oder nut-

57 Höflich, Daniel (2013): Thermische Berechnungen und hygrothermische Detail-Simulationen für eine Gebäudemodernisierung mit kapillaraktiver Innendämmung. Masterarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.

Quelle	Wasserproduktion
Wannenbad	ca. 1,0 Liter/Person
Duschbad	ca. 1,5 Liter/Person
Trocknende Wäsche (4,5 kg geschleudert)	1,0 - 1,5 Liter
Trocknende Wäsche (4,5 kg tropfnass)	2,0 - 3,0 Liter
Kurzgericht (1 Mahlzeit)	0,4 - 0,5 Liter
Langgericht (1 Mahlzeit)	0,5 - 0,8 Liter
Braten (1 Mahlzeit)	ca. 0,6 Liter
Spülmaschine	ca. 0,2 Liter/Spülgang
Waschmaschine	0,2 - 0,3 Liter/Waschgang
Zimmerpflanzen	0,5 - 1,0 Liter/Tag
Aquarium, Zimmerbrunnen	0,9 - 1,2 Liter/(m <sup>2</sup> und Tag)
Atmung (1 Person, ruhend)	ca. 0,1 Liter/Stunde

Tab. 8 Typische Wasserproduktion im Haushalt. Nach Bieberstein, Horst (2009): Schimmelpilz in Wohnräumen – was tun? 4. Aufl. Stuttgart: Bieberstein, S. 43.

Küche



a)



a) Innenansicht der nordöstlichen Außenwand der Küche, großflächig mit Schimmel bedeckt im unteren Bereich

b)



b) Detail aus a)  
Vermutlich waren hier Schränke oder eine Eckbank aufgestellt, sodass nur eine unzureichende Luftzirkulation vorhanden war

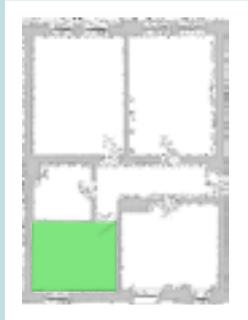
c)



c) Innenwand der Küche zum Treppenhaus, im unteren Bereich mit Schimmel bedeckt, vermutlich ebenfalls durch vorgestellte Möbel hervorgerufen

Abb. 86 Feuchteschäden (Schimmelbefall) in der Küche einer Obergeschosswohnung am früheren Standort einer Sitzgruppe  
Quelle: Höflich, Daniel (2013)

Schlafzimmer

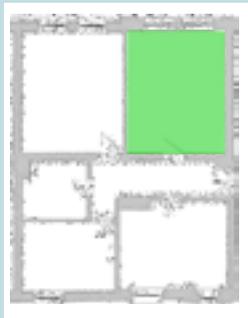


a)



a) Innenseitiger Schimmelbefall an der Schlafzimmereußenwand mit Nordost-Ausrichtung in der Ecke zum Nachbarhaus

Wohnzimmer



b)



c)



d)



e)



b) Innenansicht der südwestlichen Wohnzimmereußenwand mit Schimmelbefall an vielen Stellen

Details:

c) hinter dem Heizkörper

d) in der Fensterlaibung, hinter der Tapete

e) in der Ecke zur Nachbarwohnung

Abb. 87 Feuchteschäden (Schimmelbefall, evtl. *Stachybotrys chartarum*) in Schlaf- und Wohnzimmer einer Obergeschosswohnung. Quelle: Höflich, Daniel (2013)



Abb. 88 Schimmelbefall im Bad: Wachstum auf Fliesenfugen und auf dem Holzfensterrahmen (Fotos: Licha/Wallner/Ziegler)

zungsbedingte Situation angesehen werden.

Der Untergrund stellt ebenfalls einen wichtigen Faktor für das Schimmelpilzwachstum dar: Poröses, kapillar saugendes Material bietet eine gute Feuchtespeichereigenschaft. Darüber hinaus können organische Substanzen wie Tapetenkleister, Farben, Kleber oder Kunststoffe das Schimmelwachstum fördern (siehe Abb. 87 c und d), da diese als reiche Stickstoff- und Kohlenstoffquelle dienen (Lignine, Zellulose, Zucker, Weichmacher).

Im Innenbereich findet man meist Schimmelpilze der Gattungen *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Cladosporium* und *Stachybotrys*. Letztere gedeiht gut auf zellulosehaltigem Untergrund (Abb. 87), führt zu schwärzlichen Verfärbungen, bildet Mykotoxine und ist als Erreger der Stachybotrymykose (Symptome: Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit) gefürchtet. Die Toxine können durch Atmung und Hautkontakt aufgenommen werden. In Feuchträumen treten auch die Pilzarten *Alternaria tenuis*, *Botrytis cinerea* (verursacht Grauschimmel auf Lebensmitteln) und *Cladosporium herbarum* auf, deren Sporen durch die Außenluft eingefangen werden. Als Schwärzepilze bilden sie Beläge auf Fensterdichtungen oder Fliesenfugen (Abb. 88).<sup>58</sup>

Hankammer und Lorenz (2003)<sup>59</sup> vergleichen in einer Studie über 104 gerichtlich vorgebrachte Schimmelpilzfälle – rein bauliche mit rein nutzerabhängigen Ursachen für mikrobiellen Befall. Aus diesem Vergleich geht hervor, dass bauliche Ursachen in 50% und bauliche Ursachen in Kombination mit Nutzerverschulden in 35% der Fälle für den Befall verantwortlich sind. 15% der Fälle sind allein nutzerverhaltensbedingt, d. h. Folge unzureichender Lüftung und/oder ungenügender Beheizung.

#### Schadensbilder

58 Frössel, Frank (2011): Mauerwerkstrockenlegung und Kellersanierung. Wenn das Haus nasse Füße hat. 3., komplett überarb. und erw. Aufl. Stuttgart [auch Baulino-Verl., Leest/Werder (Havel)]: Fraunhofer IRB Verlag, S. 438.

59 Hankammer, Gunter; Lorenz, Wolfgang (2003): Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden. Erkennen und Beurteilen von Symptomen und Ursachen. Köln: Müller, S. 62.

Die im Plato-Wild-Ensemble vorgefundenen Schimmelpilzschäden lassen sich folgendermaßen kategorisieren und möglichen Ursachen zuordnen:<sup>60</sup>

- Fenstersturz: flächige Ausbreitung an der Sturzuntersicht mit zunehmender Intensität im unmittelbaren Anschlussbereich zu den Fensterblendrahmen

Mögliche Ursachen: Wärmebrücke im Blendrahmen-Anschlussbereich, Fenster sitzt nicht in der Wärmedämmebene, sondern in der Luftschicht-Ebene, unzureichend gedämmter Rollladenkasten (in manchen Gebäuden vorhanden)

- Außenwand: flächig, rasenartig befallen

Mögliche Ursachen: geringe Wärmedämmung der Außenwände, überhöhte Luftfeuchtigkeit, unzureichende Lüftung oder Beheizung

- Außenwanddecke: linear-vertikale Ausbildung von Schimmelrasen im senkrechten Außenwandeckbereich mit größter Ausdehnung oberhalb der Fußleiste

Mögliche Ursachen: Tauwasserausfall, ggf. aufgrund von senkrechten geometrischen Wärmebrücken, evtl. unzureichendes Heiz- und Lüftungsverhalten

- Fenster: Schimmelpilzbefall der Glasleiste und auf der Scheibendichtung

Mögliche Ursache: unzureichendes Heiz- und Lüftungsverhalten, Abdeckung der Heizkörper

- Fensterbank: Schimmelpilz im Eck der Fensterbank

Mögliche Ursache: Tauwasserausfall, Wärmebrücke am Fenster (Undichtigkeit)

60 Licha, Maximilian; Wallner, Christian; Ziegler, Thomas (2014): Bestandsmodernisierung Plato-Wild-Ensemble: Schimmel in Wohnräumen, Raumklima. Master-Projektarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.



Abb. 89 Schimmelwachstum an einer Außenwand (vermutlich *Cladosporium herbarum*) in Verbindung mit unzureichender Belüftung hinter den Unterschränken einer Einbauküche. Chemische Reinigungsmittel können das Problem nicht dauerhaft lösen. (Fotos: Licha/Wallner/Ziegler)

Aus diesem Befund lassen sich folgende Maßnahmen ableiten:

- An den Außenwänden sollte auch in möblierten Räumen ausreichend Luftzirkulation möglich sein (Problem: Einbauküche, Eckbänke, Schrankwände); auf ausreichende Raumbeheizung und Lüftung ist zu achten
- Außenwände und Wände, die ans unbeheizte Treppenhaus angrenzen, sollten einen verbesserten Wärmeschutz bieten, am besten in Verbindung mit einer schimmelpilzhemmenden Oberfläche

Während der erste Punkte das Nutzerverhalten (und damit eine entsprechende Aufklärung der Mieterschaft) adressiert, kann der zweite Punkte durch bauliche Maßnahmen umgesetzt werden.

Aufgrund der gegliederten, erhaltenswerten Fassadenstruktur muss die Wärmedämmung von der Raumseite her erfolgen. Durch bauphysikalische Simulationen (siehe Abschnitt 3) wird eine minimale, bauphysikalisch verträgliche Dämmstärke festgelegt. Als Dämmmaterial sind hierbei kapillaraktive Materialien zu bevorzugen (siehe 1.3.5). Calciumsilikat als kapillaraktives Material weist zudem den Vorteil auf, dass die Oberfläche alkalisch ist (pH 14). Ein pH-Wert im sauren Bereich (pH 4,5 bis 6,5) ist nach Frössel (2009)<sup>61</sup> optimal für das Schimmelpilzwachstum. Der Einfluss des pH-Werts auf die Schimmelbildung wird von Hankammer und Lorenz (2003)<sup>62</sup> allerdings als untergeordnet angesehen.

61 Frössel, Frank (2011): Mauerwerkstrockenlegung und Kellersanierung. Wenn das Haus nasse Füße hat. 3., komplett überarb. und erw. Aufl. Stuttgart [auch Baulino-Verl., Leest/Werder (Havel)]: Fraunhofer IRB Verlag, S. 439.

62 Hankammer, Gunter; Lorenz, Wolfgang (2003): Schimmelpilze und Bakterien in Gebäuden. Erkennen und Beurteilen von Symptomen und Ursachen. Köln: Müller.

## 2.1.4 Raumklima-Monitoring

Um den mannigfaltigen Ursachen für Schimmelprobleme auf die Spur zu kommen, wurden im Plato-Wild-Ensemble in einzelnen Wohnungen Raumklimamessungen über einen längeren Zeitraum durchgeführt.<sup>63,64</sup>

Die im Bad (Abb. 88) festgestellten Werte liegen etwa bei 55% relativer Feuchte und 19°C Lufttemperatur. Damit erhält man bei ca. 13°C Oberflächentemperatur eine relative Feuchte von 80%, ab welcher mit Schimmelwachstum zu rechnen ist. Oberflächentemperaturmessungen zeigen, dass in den Bereichen der Raumecken auf den Fliesen und am Fenster die Temperatur unter 12°C liegt (gemessen bei winterlichen Außentemperaturen).

Abb. 90 gibt einen 24-h-Ausschnitt aus den Langzeit-Monitoring-Messungen wieder. Diese erstrecken sich jeweils über einen Zeitraum von ca. sechs Wochen bei winterlichen Außentemperaturen.

An jeden Datenlogger waren zwei Messfühler angesteckt, einer im Bereich der Raummitte, der andere näher an der Außenwand. Der Fühler nahe der Außenwand zeigt in allen Räumen eine niedrigere Temperatur und eine höhere relative Luftfeuchtigkeit an.

In der Küche zeigen sich zu den Zeiten 5:30 Uhr, 14:00 Uhr und 18:00 Uhr erhöhte Werte der relativen Luftfeuchte, was zu diesen Tageszeiten auf Kochaktivitäten schließen lässt. Hierbei wird auch eine relative Luftfeuchtigkeit von 100% erreicht.

Nach Aussage der Bewohner wird das Schlafzimmer einmal vormittags ca. 1 Stunde gelüftet, während der Wäschetrockner im Badezimmer läuft, „um die Feuchte aus dem Bad über das Schlafzimmer nach außen zu leiten“ (Aussage des Bewohners). Dies lässt sich anhand des Verlaufs der relativen Luftfeuchte sehr gut erkennen. Vor 9:00 Uhr wurde das Fenster geöffnet, ein Luftaustausch fand statt. Neben der relativen Luftfeuchte sinkt auch die Temperatur ein wenig ab. Gegen 9:30 Uhr steigt die Luftfeuchte aufgrund des Trockners. Dann wird wieder das Fenster geöffnet. Die Temperatur im Schlafzimmer ist im Vergleich zu den zwei anderen Räumen kühler, „da hier die Heizung nicht funktioniert und nur ab und zu mit einem Heizlüfter geheizt wird“.

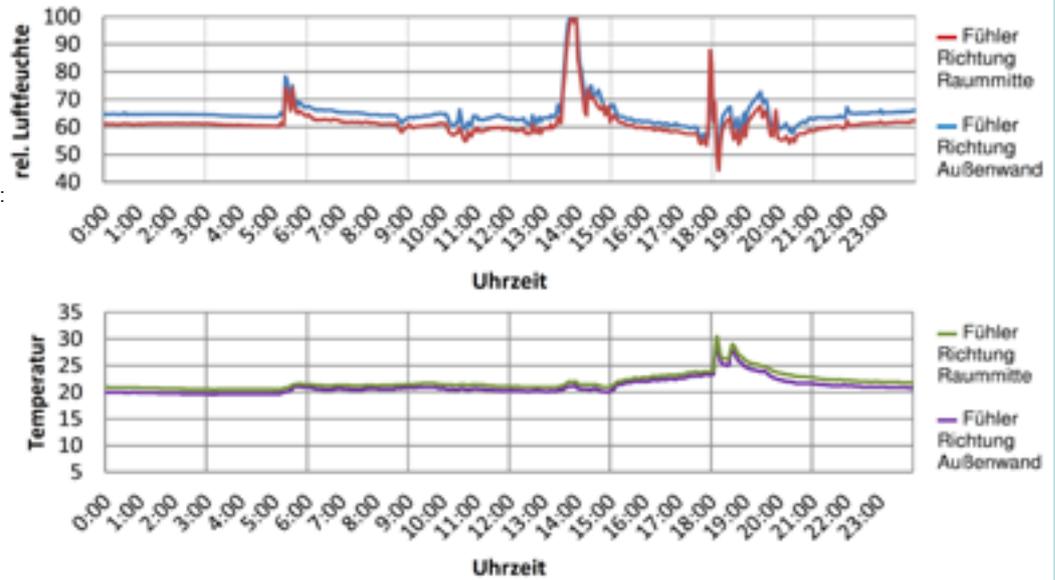
Im Wohnzimmer steigt die relative Luftfeuchte am 24.12.2014 (Heiligabend) wohl aufgrund einer größeren Personenzahl an. Die Temperatur beträgt bis zu

63 Höflich, Daniel (2013): Thermische Berechnungen und hygrothermische Detail-Simulationen für eine Gebäudemodernisierung mit kapillaraktiver Innendämmung. Masterarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.

64 Licha, Maximilian; Wallner, Christian; Ziegler, Thomas (2014): Bestandsmodernisierung Plato-Wild-Ensemble: Schimmel in Wohnräumen, Raumklima. Master-Projektarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.

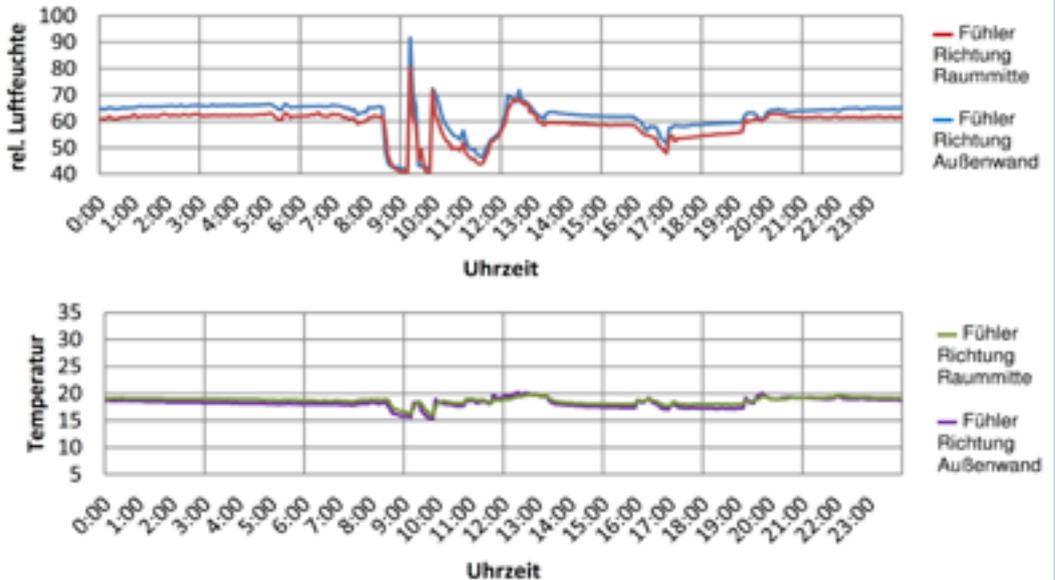
**Küche**  
(12.11.2012)

Außen:  
Lufttemperatur:  
min. 5,0 °C, max. 9,2 °C  
Rel. Luftfeuchte (außen):  
min. 84 %, max. 100 %



**Schlafzimmer**  
(22.12.2012)

Außen:  
Lufttemperatur:  
min. 0,1 °C, max. 1,3 °C  
Rel. Luftfeuchte:  
min. 98 %, max. 100 %



**Wohnzimmer**  
(24.12.2012)

Außen:  
Lufttemperatur:  
min. 4,9 °C, max. 10,0 °C  
Rel. Luftfeuchte:  
min. 80 %, max. 95 %

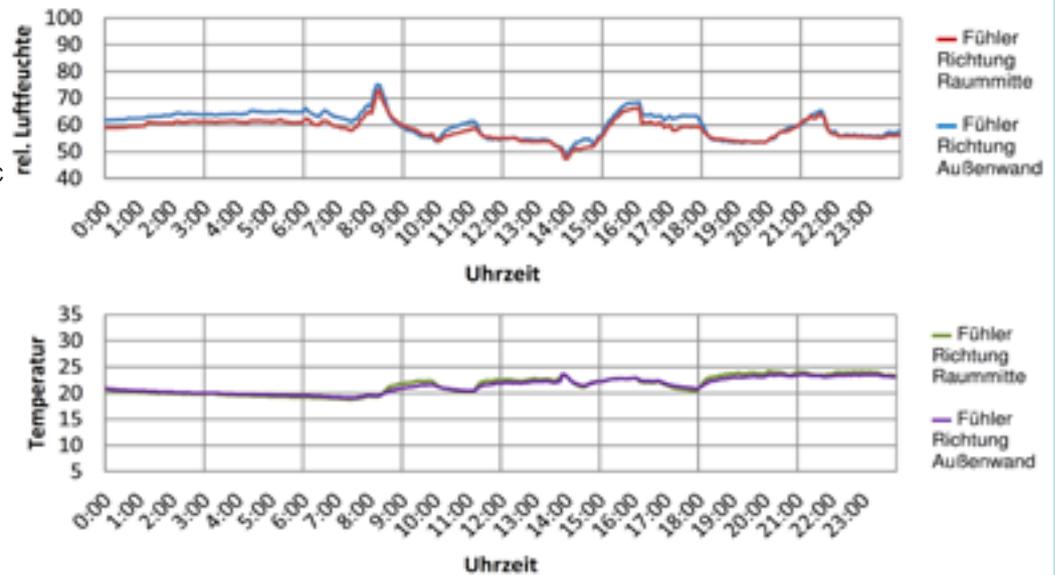


Abb. 90 Auszug aus Langfristmessungen für eine Wohneinheit des Plato-Wild-Ensembles  
Quelle: Höflich, Daniel (2013)





Abb. 91 Oben: Feuchteschäden im Keller an der Nordost-Seite des Plato-Wild-Ensembles. Massive Durchfeuchtung hat zu schweren Putzschäden und mehligem innenseitiger Mauerchale vor der Natursteinaußenschale geführt. Unten links: Schäden an Putz und Farbanstrich durch aufsteigende Bodenfeuchte im Keller. Unten rechts: Salzablagerungen und Verkalkung durch aufsteigende Bodenfeuchte auf dem geziegelten Kellerboden. (Fotos: Steffens)

24 °C. Festzuhalten ist, dass je nach Nutzerverhalten der Verlauf der Temperatur sowie der relativen Luftfeuchte über den Tag unterschiedlich ist. Die relative Luftfeuchte ist im Winter mit über 60 % im Mittel zu hoch. An den kalten Außenwänden erreicht man hier langfristig über 80 % relative Luftfeuchte.

## 2.2 Baustofffeuchtemessungen

Neben raumklimatischen Messungen können auch Baustofffeuchtemessungen Aufschluss über Problemzonen geben.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung einer Wohnung im 1. Obergeschoss war diese schon seit einigen Tagen unbewohnt, unmöbliert und gut durchlüftet. Gemessen wurde jeweils an drei Stellen im Raum in verschiedenen Höhen (5 bis 90 cm über dem Fußboden; siehe Abb. 92).

Die Bestimmung der Baustofffeuchte an der innenseitigen Oberfläche der Außenwände erfolgte mittels einer kapazitiven Oberflächensonde. Dabei wurde die Baustofffeuchte an mehreren Stellen gemessen, nicht nur an den mit Schimmel befallenen Gebieten. Ent-

sprechende Untersuchungen wurden auch im Keller und im Dachgeschoss durchgeführt.<sup>65</sup>

Die kapazitive Materialfeuchtemessung beruht auf einer einfachen und schnellen Methode, mit der zerstörungsfreie Messungen möglich sind. Jedoch ist als Nachteil die begrenzte Genauigkeit zu erwähnen. Faktoren wie Dichteschwankungen, unterschiedliche Bestandteile und die Dicke von Beschichtungen (Putz) beeinflussen das Messergebnis. Die kapazitive Messmethode eignet sich daher besonders für Vergleichsmessungen, um schnell Problembereiche zu identifizieren. Die Materialfeuchtesonde nutzt die hohe Dielektrizitätskonstante von Wasser, um die Feuchtigkeit in Baustoffen zu ermitteln. Dabei wird das zu messende Material durch ein hochfrequentes elektrisches Feld durchdrungen, welches ein Spannungssignal liefert, das proportional zur wirksamen Kapazität des Materials und damit zu dessen Wassergehalt ist. So lässt sich die Feuchte bis zu einer Eindringtiefe von ca. 25 mm erfassen.<sup>66</sup>

65 Höflich, Daniel (2013): Thermische Berechnungen und hygrothermische Detail-Simulationen für eine Gebäudemodernisierung mit kapillaraktiver Innendämmung. Masterarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.

66 Fa. Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH (2011): Almemo Handbuch (9. Ausg.). Holzkirchen.

## Feuchtemessungen (September 2012)

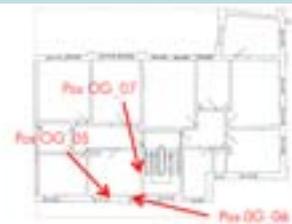
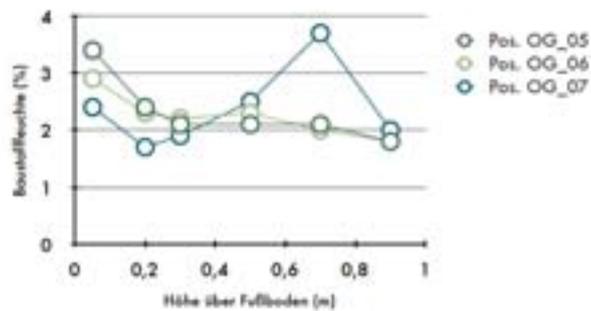
### Obergeschoss, Küche (Nord-Ost-Ausrichtung)

Unbewohnt, keine Einrichtung,  
bis auf eine kleine Küchenecke; belüftet

Lufttemperatur 22 °C

Oberflächentemperatur 19 - 21 °C

Luftfeuchte 39 - 42 %



Praktischer Feuchtegehalt:  
Vollziegel 1... 2,5 vol-%

## Feuchtemessungen (September 2012)

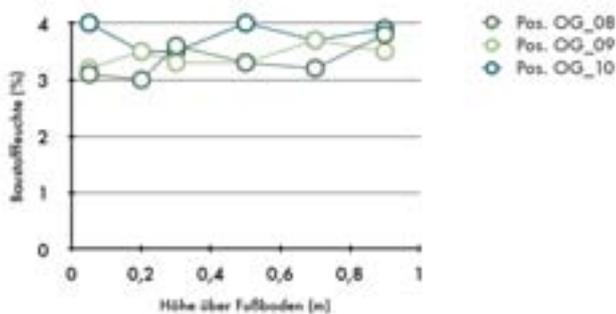
### Obergeschoss, Wohnzimmer (Süd-West-Ausrichtung)

Unbewohnt, keine Einrichtung; belüftet

Lufttemperatur 21 - 22 °C

Oberflächentemperatur 20 - 22 °C

Luftfeuchte 39 - 43 %



Praktischer Feuchtegehalt:  
Vollziegel 1... 2,5 vol-%

## Feuchtemessungen (09/12)

### Kellergeschoss

Lufttemperatur 19 °C

Oberflächentemperatur 18 - 19 °C

Luftfeuchte 59 %

Temperatur Boden: 18,5 °C

Baustoffeuchte Boden

Ziegel: 15 %

Fuge: 24 %

Praktischer Feuchtegehalt:  
Beton ca. 5 vol-%

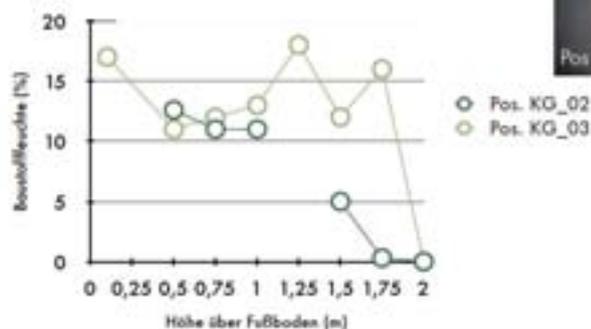


Abb. 92 Baustofffeuchtemessungen in verschiedenen Räumen des Fünfhäuserblocks im Plato-Wild-Ensemble  
Quelle: Höflich, Daniel (2013)

Raum	Baustofffeuchte (%)
Küche	1,7 - 3,7
Schlafzimmer	1,2 - 2,6
Wohnzimmer	3,0 - 4,0
Keller	
- Wand	bis 18,0
- Ziegelboden	15,0
- Fugen	24,0
Dach	12,8 - 13,0 (Holz)

Tab. 9 Baustofffeuchtemessung in verschiedenen Räumen eines Gebäudes des Plato-Wild-Ensembles  
Quelle: Höflich (2013)

Das Ergebnis der Messungen ist in Tab. 9 zusammengefasst. Die Werte stellen die minimalen und maximalen Messwerte im jeweiligen Raum dar.

Beim Vergleich der Räume im Obergeschoss kann festgehalten werden, dass in den Räumen mit Schimmelbefall (Wohnzimmer und Küche, siehe Abb. 86 und Abb. 87) ein erhöhter Feuchtegehalt analysiert wurde. Als Referenz dient hier der „praktische Feuchtegehalt“, der bei der Untersuchung hinreichend vieler ausgetrockneter Bauten unter ständiger Bewohnung von Menschen in 90% aller Fälle nicht überschritten wird.

Im Keller sind die Luftfeuchte sowie die Baustofffeuchte erwartungsgemäß höher als im Obergeschoss. Aufsteigende Baustofffeuchte ist an der hier untersuchten Stelle nicht feststellbar, vermutlich aufgrund der vorhandenen, noch intakten Horizontalsperre (Abb. 85). In anderen Räumen wurden allerdings abgeplatzter Putz und mehliges Mauerwerk als Folge aufsteigender Bodenfeuchte an der Innenschale der Kellermauern beobachtet sowie mineralische Ablagerungen auf dem Ziegelboden (Abb. 91).

### Sanierung

Die aufsteigende Feuchte im Kellermauerwerk (insbesondere in Bereichen, wo die Innenschale nicht in Beton ausgeführt wurde, sondern geziegelt wurde) stellt ein verbreitetes Problem in älteren Bestandsbauten dar. Neben den von Frössel (2011)<sup>67</sup> und anderen Autoren<sup>68, 69</sup> beschriebenen Verfahren wie Abdichtung, Sanierputze, hydrophobierende Injektionen oder elektrochemischen Verfahren wurde von Großes Schmidt et

67 Frössel, Frank (2011): Mauerwerkstrockenlegung und Kellersanierung. Wenn das Haus nasse Füße hat. 3., komplett überarb. und erw. Aufl. Stuttgart [auch Baulino-Verl., Leest/Werder (Havel)]: Fraunhofer IRB Verlag.

68 Engel, Jens (2013): Feuchtigkeitssperrecremes für trockene Häuser. Nachträgliche Horizontalabdichtung. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (SPEZIAL – Sanierung von Feuchtschäden), S. 16–19.

69 Marx, Stefan (2012): Eine Prise zu viel. Mauerwerksabdichtung. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (6), S. 42–44.

al. (2004)<sup>70, 71</sup> eine Bauteiltemperierung zur Trocknung und energetischen Sanierung vorgeschlagen, auf das im **Kapitel E (Energetische Modernisierung)** noch genauer eingegangen wird.

Die Injektionsverfahren beruhen auf dem Einbringen hydrophobierender Substanzen (abhängig vom Durchfeuchtungsgrad der Baustoffporen mit oder ohne Druck) in die Hohlräume des Baustoffs, d.h. Risse, Hohlräume, Poren, Kapillaren. Klassisch werden hier alkaliarme Kieselsäurepräparate eingesetzt, seit ca. 20 Jahren auch Silicon-Micro-Emulsionen. Die jüngste Entwicklung<sup>72</sup> von Emulsionen in cremartiger Konsistenz erlaubt das drucklose Einbringen in nahezu horizontal verlaufende Bohrlöcher.

### Thermografie

Die Gebäudethermografie hat sich als effektive Methode zur Visualisierung von wärmeschutztechnischen Schwachstellen der Gebäudehülle erwiesen. Sie bildet die Oberflächentemperatur des Objekts ab, die mithilfe dessen thermischer Ausstrahlung (Infrarotstrahlung) errechnet wird. Außenaufnahmen machen schlecht gedämmte Fassadenteile und Wärmebrücken erkennbar, aber auch im Innenraum sind feuchte kritische Oberflächen mit dieser Technik leicht zu identifizieren.

Um eine möglichst gute Unterscheidbarkeit von gut gedämmten und wärmedurchlässigeren Zonen zu erzielen, sollte der Temperaturunterschied zwischen innen und außen mindestens 10 Kelvin betragen. Ferner sollte darauf geachtet werden, dass die Oberflächen nicht durch vorhergehende Sonnenbestrahlung aufgeheizt wurden oder einfallende Sonnenstrahlung vom Objekt reflektiert wird. Daher sind bewölkte Tage, am besten in den Morgenstunden, für die Messung am besten geeignet.

Der Einfluss von starkem Regen und Wind (konvektiver Wärmetransport) auf die Messung ist ebenfalls zu berücksichtigen. Ohne fachliche Vorkenntnisse sind die Thermografien daher nur bedingt korrekt interpretierbar.<sup>73</sup> Laut EN 13187 („Wärmetechnisches Verhalten von

70 Großes Schmidt, Henning (2012): Energetische Gebäudesanierung, Raumbeheizung, Kondensat-/Schimmelschutz und Trockenlegung durch Einsatz von Sockelheizrohren (Temperieranlage). Fallbeispiele und Anwendungshinweise. Online verfügbar unter: <http://www.temperierung.net/temperierung/energetische-gebäudesanierung-raumbeheizung-kondensat-schimmelschutz-und-trockenlegung>, zuletzt geprüft am 21.08.2013.

71 Kottler, Michael; Großes Schmidt, Henning; Boody, F. P.; Kippes, Wolfgang (2004): Klima in Museen und historischen Gebäuden: Die Temperierung/Climate in Museums and Historical Buildings. Wien: Schloß Schönbrunn Kultur- und Betriebsges.m.b.H. [in Kooperation mit Kunstforum Ostdeutsche Galerie Regensburg] (Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn, 9).

72 Hölzen, Franz-Josef (2012): Gegen die Feuchtigkeit cremen. Nachträgliche Holzabdichtungen mittels Injektionsverfahren. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (3), S. 22–25.

73 Fouad, Nabil A.; Richter, Torsten (2008): Leitfaden Thermografie

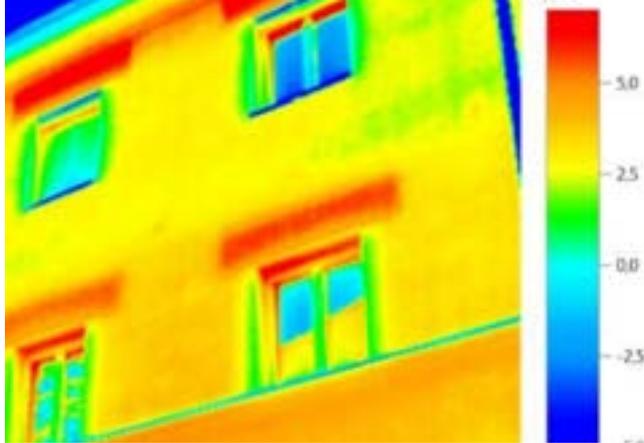


Abb. 93 Thermogramme der Fensterstürze (Plato-Wild-Ensemble). Quelle: Matthias Schmalzbauer (2012)

Gebäuden – Nachweis von Wärmebrücken in Gebäuden – Infrarotverfahren – Thermographischer Bericht“) sollten in einer Dokumentation insbesondere berücksichtigt und aufgeführt werden: Arten der im Bauwerk verwendeten Oberflächenwerkstoffe (Emissionsgrad), Orientierung des Gebäudes bezogen auf die Himmelsrichtungen, Außenlufttemperatur (mindestens mit dem Minimal- und Maximalwert 24 h vor und während der Untersuchung), Angaben zur Sonneneinstrahlung (beobachtet während der 12 h vor Beginn und während der Untersuchung), Niederschlag, Windrichtung und Windgeschwindigkeit während der Untersuchung, Innenlufttemperatur und Lufttemperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenseite der Umschließungsflächen während der Untersuchungen.

#### Fassade

Die Fassadenaufnahmen (Abb. 93 und Abb. 94) zeigen im Allgemeinen eine relativ gleichförmige Dämmwirkung der Fassadenteile. Es lassen sich erhöhte Wärmeverluste an folgenden Details erkennen:

- Fensterstürze
- Fassadenteile im Brüstungsbereich von Fenstern, teilweise aufgrund von Heizkörpern in Nischen unter den Fensterbänken
- Fassadenteile im Bereich einbindender Innenwände
- Inhomogenitäten in der Fassade in anderen Bereichen, die allerdings auch auf unterschiedliche Temperierung der Wohnräume zurückgeführt werden können oder auf unterschiedliche Temperaturzonen innerhalb eines Raumes durch starke Luftströmungen

Generell sind diese Befunde typisch für Bestandswände mit sehr hohen Transmissionsverlusten.

#### Innenräume

Die Aufnahmen von Innenräumen des Plato-Wild-Ensembles erfolgten am 31. Oktober 2012 um ca. 9.30 Uhr.<sup>74</sup> Auch wenn zu diesem Zeitpunkt der Temperaturunterschied von innen nach außen weniger als 10 Kelvin betrug (ca. 12 °C Außentemperatur), lassen sich die

Wärmebrücken gut erkennen. Die blauen Bereiche in den Thermogrammen repräsentieren im Fall der Innenaufnahmen Flächen mit niedriger Oberflächentemperatur. Hier ist von einem örtlich erhöhten Wärmestrom auszugehen.

In Abb. 95 und Abb. 96 sind sehr gut die starken Temperaturunterschiede der Außen- und Innenwandoberflächen im Anschlussbereich zu erkennen. Der erhöhte Wärmeverlust über die gesamte Außenwand entsteht aufgrund des hohen U-Werts der ungedämmten Vollziegelwand. Entlang der Kante ist der Wärmeverlust durch die geometrische Wärmebrücke noch größer. Abb. 97 zeigt die Wärmeverluste an der Fensterlaibung zwischen Außenwandmauer und Fensterrahmen. Auch am Übergang von Fensterglas zum Rahmen entstehen Wärmeverluste.

Weitere Aufnahmen erfolgten am 05. Dezember 2012 um ca. 9.30 Uhr. Der Temperaturunterschied betrug bei dieser Messung über 10 Kelvin (bei 5 °C Außentemperatur). In Abb. 98 erkennt man gut die abgekühlte Bodenkante an der Außenwand. Durch den darunter liegenden Keller kühlt diese Kante ganz besonders stark ab.

### 2.3 Bohrkernanalysen



in vorliegendem Fall mit einer durchgehenden wasserführenden Fassade. Neben dem Wärmeverlust durch die Fensterstürze sind auch die Heizkörpernischen als weitere Inhomogenitäten der Fassade erkennbar, die zu unterschiedlichen Oberflächentemperaturen führen (siehe).

Zur Bestimmung der Trockenrohdichte (Verhältnis Trockenmasse zu Volumen in kg/m<sup>3</sup>) wurden die zwei ca. 20 cm langen Bohrkern (5 cm Durchmesser) der

im Bauwesen. Theorie, Anwendungsgebiete, praktische Umsetzung, 3., unveränd. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

74. Höflich, Daniel (2013): Thermische Berechnungen und hygrother-

75. Höflich, Daniel (2013): Thermische Berechnungen und hygrother-

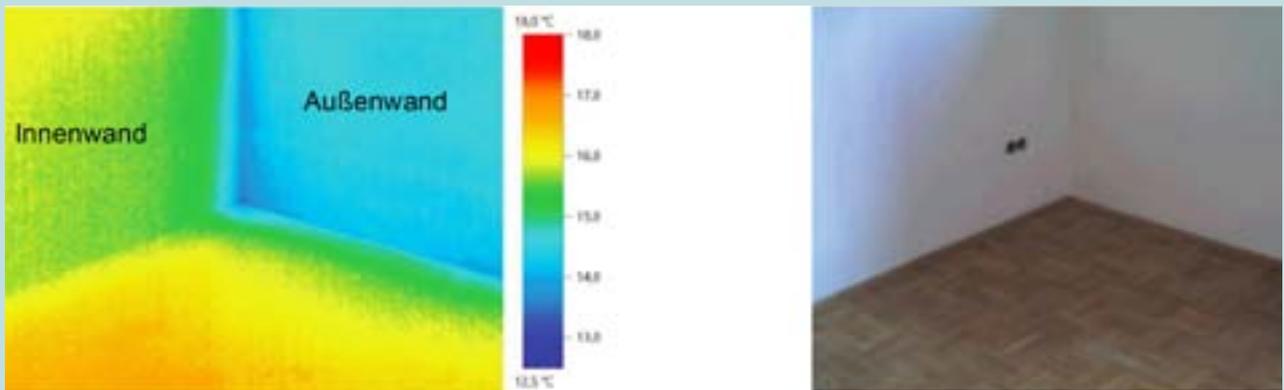


Abb. 95 Thermografie- und Echtbild Raumecke, Obergeschoss, Ausrichtung Norden



Abb. 96 Thermografie- und Echtbild Raumecke, Obergeschoss, Ausrichtung Osten

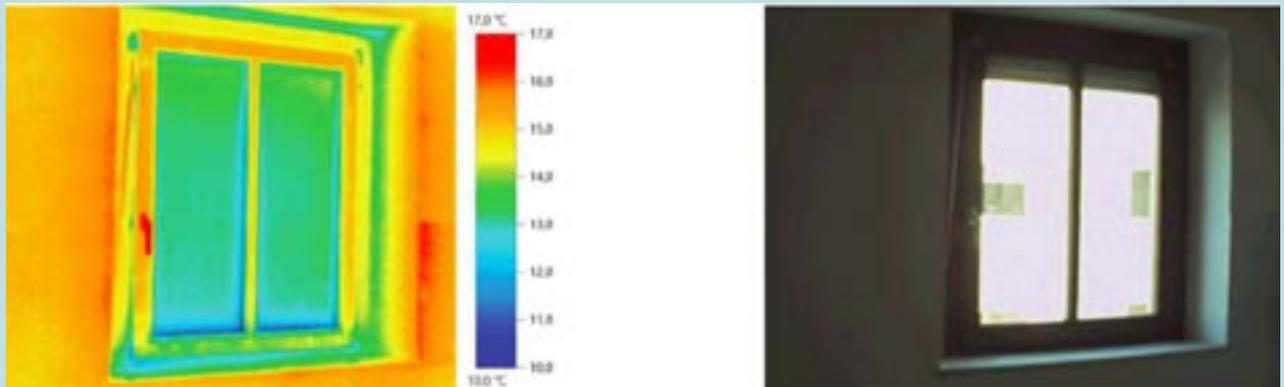


Abb. 97 Thermografie- und Echtbild Fenster, Obergeschoss, Ausrichtung Nordost

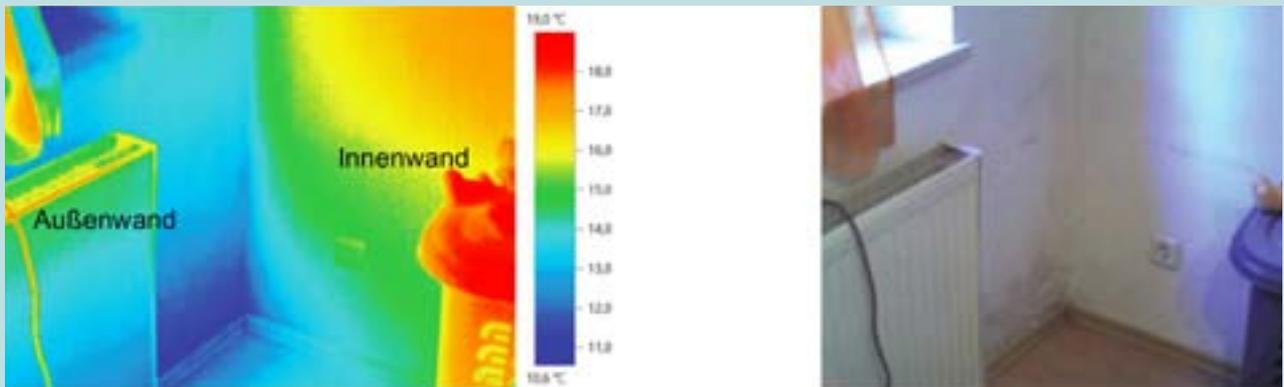


Abb. 98 Thermografie- und Echtbild Raumecke, Schlafzimmer im Erdgeschoss, Ausrichtung Nordost  
Quelle: Höflich, Daniel (2013)

Ziegelwand und der Betonwand auseinandergesägt, um zwei gleich große Proben desselben Materials zu erhalten. Danach wurden die vier Proben bei 105 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wurden die Probekörper gewogen und vermessen, um das Volumen zu bestimmen. Neben der Trockenrohddichte kann zudem das Größtkorn  $D_{max}$  des Betons festgestellt werden. Es beträgt im vorliegenden Betonbohrkern 32 mm.

Beispiel: Bohrkernentnahme im Haus Walderdorffstr. 2 (Daniel Höflich, 2013)<sup>76</sup>

a) 1. OG, Küche, Außenwand zur Walderdorffstraße

Bohrkerndurchmesser: 2,5 cm und 5 cm

Wandaufbau: Vollziegel (40 cm – 55 cm)  
Innenputz ca. 1,5 cm  
Fugen aus sehr sandigem Mörtel,  
Breite ca. 2,5 cm

b) Kellergeschoss, Außenwand zur Walderdorffstraße

Bohrkerndurchmesser: 2,5 cm und 5 cm

Wandaufbau: Beton (ca. 35 cm) und  
Natursteinmauerwerk (ca. 20 cm)

Ergebnisse für die Trockenrohddichte  $\rho$ :

	Vollziegel		Beton	
	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4
[kg/m <sup>3</sup> ]	1818	1827	2130	2179

Ergebnisse für den Wasseraufnahmekoeffizienten  $w$ :

	Vollziegel		Beton	
	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4
[kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]	15,7	16,4	3,0	3,8

#### Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten

Der Wasseraufnahmekoeffizient  $w$  wurde in Anlehnung an DIN 1015-18 „Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk – Teil 18: Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme von erhärtetem Mörtel (Festmörtel)“ ermittelt. Dazu wurden die trockenen Probekörper (Bohrkerne) mit einer Folie umwickelt und nochmals ihre Trockenrohddichte (mit Folie) bestimmt. Danach wurden sie in 30-Sekunden-Abständen in ein 0,5 cm tiefes Wasserbad gestellt. Zu den Ablesezeitpunkten (5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120 Minuten) wurden die Bohrkerne entnommen, abgetupft, gewogen und sofort wieder in das Wasser zurückgesetzt.

Der Wasseraufnahmekoeffizient  $w$  in kg/(m<sup>2</sup>·h<sup>0,5</sup>) gibt an, welche Menge Wasser  $m_w$  (in kg/m<sup>2</sup>) von 1 m<sup>2</sup> Saugfläche nach einer Wirkungszeit von  $t$  (Stunden) aufgesogen werden:<sup>77</sup>

$$m_w(t) = w \sqrt{t}$$

<sup>76</sup> Höflich, Daniel (2013): Thermische Berechnungen und hygrothermische Detail-Simulationen für eine Gebäudemodernisierung mit kapillaraktiver Innendämmung. Masterarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.

<sup>77</sup> Fischer, Heinz-Martin; Freymuth, Hanns; Häupl, Peter; Homann, Martin; Jenisch, Richard; Richter, Ekkehard; Stohrer, Martin (2008): Lehrbuch der Bauphysik. Schall – Wärme – Feuchte – Licht – Brand – Klima. 6., aktualisierte und erw. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.



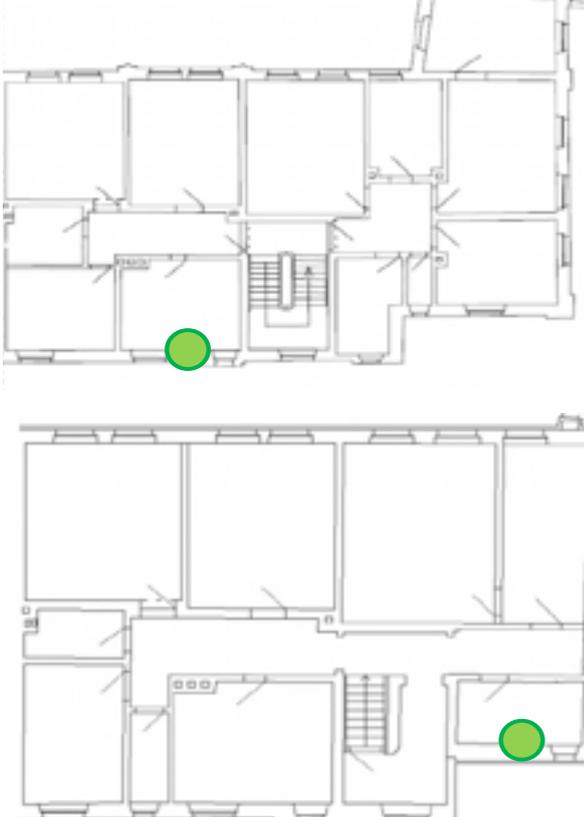


Abb. 99 Grundriss Obergeschoss (oben) und Kellergeschoss (unten) sowie entsprechende Fotos der Kernbohrungen (Grundrisse: Annika Zeitler; Fotos: Daniel Höflich)

Der Zahlenwert von  $w$  entspricht der Wassermenge, die zwischen einer Wirkungszeit von 10 und 120 Minuten aufgesogen wird.

Die ermittelte Trockenrohdichte des Vollziegels und Betons liegt im typischen Bereich (siehe DIN 4108-4 und Tab. 10). Dennoch gibt es Unterschiede zwischen der Trockenrohdichte und der realen Dichte in feuchter Umgebung. Aufgrund der Feuchte des Baustoffs in der Konstruktion ist die Dichte dort höher. Beide untersuchten Baustoffe sind wassersaugend. Der Vollziegel saugt kapillar allerdings fast das Fünffache an Wasser im Vergleich zum Beton. Bei der Feuchtezunahme von 1 Masse-% bei Ziegelsteinen ( $1\,200$  bis  $2\,000\text{ kg/m}^3$ ) erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit um 15 bis 20%. Ein trockener Baustoff besitzt im Vergleich zu einem feuchten Baustoff eine geringere Wärmeleitfähigkeit. Die in den Poren eingeschlossenen Stoffe (Luft, Wasserdampf oder Wasser) beeinflussen die Wärmeleitfähigkeit. Luft

hat eine geringere Leitfähigkeit als Wasser.<sup>78</sup> Eine höhere Wasseraufnahme bedeutet damit auch eine höhere Wärmeleitfähigkeit.

## 2.4 Parameter für den Wärmeschutz

In der Literatur finden sich zahlreiche Aufstellungen über typologische, das heißt der Bauzeit und Konstruktionsklasse (kurz: Baualterklasse) typischerweise zukommende, Bauteilparameter. In der Regel beschränken sich die Zahlenwerke auf die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte, vgl. auf Seite 81), was für eine Wärmeschutzbeurteilung und Energiebedarfsabschätzung ausreicht (siehe Tab. 11).

<sup>78</sup> Arndt, H. (2002): Wärmeschutz und Feuchteschutz in der Praxis. 2. Aufl. Berlin: Verlag Bauwesen.

Baustoff	Rohdichte $\rho$ in $\text{kg/m}^3$	Wasseraufnahmekoeffizient $w$ in $\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5})$	Eigenschaft
		< 0,001	wasserdicht
Kunststoffdispersion		0,05 - 0,2	wasserabweisend (< 0,5)
Bimsbeton	600	1,5 - 2,5	wasserhemmend (0,5 bis 2,0)
Zementputz	2100	2 - 3	wassersaugend (> 2,0)
Kalkzementputz	1800	2 - 4	
Polystyrol (XPS/EPS)		3	(bis 0,5 vol-%)
Kalksandstein	1800	4 - 8	
Porenbeton	400	4 - 8	
Weißkalkputz	1200	7	
Vollziegel	1800	20 - 30	
Gipsbauplatten	900	35 - 70	

Tab. 10 Trockenrohdichten und Wasseraufnahmekoeffizienten einiger Baustoffe nach Fischer et al. (2008), S. 369, bzw. Christoph; Frank, Thomas (2004): Bauphysik. 2., durchges. und aktualisierte Aufl. Zürich: Vdf, Hochsch.-Verl. an der ETH (Bd. 2), S. 61.



Abb. 100 Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten der Bohrkerne (Fotos: Höflich)

Feuchteschutzbewertungen erfordern zudem genauere Angaben über den Diffusionswiderstand der Baustoffe und deren Eigenschaften hinsichtlich des kapillaren Wassertransports. Diese Parameter lassen sich für gängige Baustoffe näherungsweise aus marktüblichen Simulationsprogrammen (z.B. WUFI<sup>79</sup>) bzw. Tabellenwerken<sup>80</sup> entnehmen.

### 2.4.1 Typologische U-Werte

Die meisten Bauteilparameter werden in der Praxis durch Typologisierung der Bausubstanz abgeschätzt.

<sup>79</sup> Künzel, Hartwig (1994): Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation. Stuttgart: Universität Stuttgart.

<sup>80</sup> Schneider, Klaus-Jürgen; Goris, Alfons; Albert, Andrej (2012): Baub Tabellen für Ingenieure. Mit Berechnungshinweisen und Beispielen. 20. Aufl. Köln: Werner Verlag.

In der Literatur, z.B. bei Maier (2011)<sup>81</sup> oder Böhmer und Güsewelle (2005)<sup>82</sup>, gibt es zahlreiche Angaben zu den Durchlasswiderständen bzw. U-Werten historischer Konstruktionen, die daher im Einzelfall nicht alle empirisch ermittelt werden müssen.

Tab. 11 zeigt eine Aufstellung typischer Konstruktionen für Massivbauten verschiedener Baualtersklassen. Haas-Arndt und Ranft (2011)<sup>83</sup> teilen den Gebäudebestand in Deutschland in sieben Baualtersklassen ein:

- Gebäude vor 1900, z. B. Fachwerkhäuser;
- Gebäude zwischen 1900 und 1918 (Gründerzeithäuser)
- Zwischenkriegszeit (1919 bis 1945)
- Nachkriegszeit (1945 bis 1959)
- Sechziger Jahre (1960 bis 1969)
- Gebäude mit ersten Bestrebungen zur Energieeinsparung (1970 bis 1976)
- Gebäude nach Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung (1977 bis 1984)

Nach der Bayerischen Bauordnung (BayBO) von 1901<sup>84</sup> müssen Umfassungen aus Backsteinmauerwerk bei „2-stöckigen Wohngebäuden“ (bis 2. Obergeschoss) mindestens folgende Stärken aufweisen:

- im 2. und 1. Stockwerk je 0,38 m (1½ Stein);
- im Erdgeschoss je 0,51 m (2 Stein).

In Abgleich mit Angaben über bauzeitlich typische Konstruktionen und den in Kapitel A erarbeiteten Informationen der Bauaufnahme kommt man für den unsanierten Zustand zu einem Parametersatz, der beispielhaft in Tab. 12 dargestellt ist.

Die Tabelle enthält bereits Dimensionierungen für die

<sup>81</sup> Maier, Josef (2011): Energetische Sanierung von Altbauten. 2., ergänzte Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

<sup>82</sup> Böhmer, Heike; Güsewelle, Frank (2005): U-Werte alter Bauteile. Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

<sup>83</sup> Haas-Arndt, Doris; Ranft, Fred (2011): Altbauten sanieren – Energie sparen. BINE-Fachbuch. 3., aktual. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

<sup>84</sup> Luitpold, Prinzregent von Bayern (1901): Bayerische Bauordnung. BayBO. Online verfügbar unter: <http://www.stadtgrenze.de/s/bbo/baybo1901/15.htm>, zuletzt geprüft am 10.10.2014.

## Typologische U-Werte für Bestandsgebäude verschiedener Baualtersklassen (nach Haas-Arndt und Ranft)

	Bauteil	Beschreibung	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	Besonderheiten/ Schwachstellen	Heizwärmebedarf [kWh/m <sup>2</sup> a]
Von 1900 (Fachwerk)	Außenwand	Sichtfachwerk, Außenwände 12–16 cm aus Eiche und Leichtlehm	2,1–2,2	dünne, ungedämmte Außenwände, Undichtigkeiten gegen Wind und Schlagregen; Innendämmung bedingt möglich	230 bis 425
	Kellerdecke	Kappendecke, Dielenboden, gestampfter Lehm zum Erdreich	2,3		
	Oberste Geschossdecke	Holzbalkendecke mit Lehmschlag, Dielenboden, unterseitiger Putz auf Schilfrohrmatte	1,5		
	Dachschräge	Schalung Putz auf Putzträger	1,8–2,9		
	Fenster	Holzfenster mit Sprossen, einfach verglast	5,2		
1900 - 1918	Außenwand	beidseitig verputztes Vollziegelmauerwerk, 24 - 74 cm	0,9–1,5	Stuckornamentik der Fassaden, Innendämmung bedingt möglich	
	Kellerdecke	Holzbalkendecke mit Lehmschlag, Hohlsteindecke oder gemauertes Ziegelgewölbe	1,2		
	Oberste Geschossdecke	Holzbalkendecke mit Lehmschlag	1,0–1,5		
	Dachschräge	Sparschalung mit Putz auf Schilfrohrträger	2,9		
	Fenster	Holzfenster, einfach verglast Kastenfenster	5,0 2,5–2,6		
1919 - 1945	Außenwand	Vollziegelmauerwerk, 24 cm, beidseitig verputzt zweischaliges Mauerwerk, je 11,5 cm, mit 6–7 cm Luftschicht	1,1–2,0 1,5		200 bis 350
	Kellerdecke	Kappendecke (Beton oder gemauert), Terrazzobelag	1,2		
	Oberste Geschossdecke	Holzbalkendecke, oberseitig Dielenboden, unterseitig Putz	1,4–1,5		
	Dachschräge	Sparschalung mit Putz auf Schilfrohrträger	2,9		
	Fenster	Holzfenster, einfach verglast Kastenfenster	5,2 2,5–2,6		
1919 - 1945	Außenwand	Vollziegelmauerwerk, 24 cm, beidseitig verputzt; Hohlblockstein (meist aus Bimsstein), beidseitig verputzt, 24–30 cm zweischaliges Mauerwerk, je 11,5 cm, mit 6–7 cm Luftschicht	1,5 1,3	Massenwohnungsbau; Materialmängel, schlichte, schmucklose Bauweise, kaum Wärmedämmung	200 bis 375
	Kellerdecke	Ortbeton, oberseitig mit Dielung oder Estrich	2,0		
	Oberste Geschossdecke	Betondecke mit unterseitigem Putz	3,0		
	Dachschräge	2–5 cm verputzte Holzwolleleichtbauplatten	1,5–1,8		
	Fenster	Holzfenster, einfach verglast; Kastenfenster	5,2 2,6		
1960 - 1969	Außenwand	Hohlblockstein, beidseitig verputzt, 24–30 cm zweischaliges Mauerwerk, 24 cm mit Vormauerschale 11,5 cm und 3 cm Luftschicht	1,4–1,5 1,2	geringer konstruktiver Wärmeschutz; Heizkörpernischen in der Außenwand	150 bis 320
	Kellerdecke	Ortbeton, oberseitig mit Dielung oder Estrich	1,2–2,0		
	Oberste Geschossdecke	Betondecke mit Verbundestrich auf geringer Mineralfaserdämmung; Holzbalkendecke mit Schüttung, unterseitig geputzt	1,0		
	Dachschräge	2–5 cm verputzte Holzwolleleichtbauplatten; Warmdach mit geringer Dämmung	1,2–5,2 0,9		
	Fenster	ein- bis zweifach verglaste Holzfenster; Verbund- oder Kastenfenster	2,8–5,2 2,6–2,8		
1970 - 1976	Außenwand	Hohlblocksteine, 17,5–24 cm mit 6 cm Luftschicht und Vormauerschale Hohlblocksteine, 17,5–24 cm mit 3–4 cm Dämmung und Vorhangfassade Beton, 16 cm, 4 cm Dämmung und Vorhangfassade	1,2–1,3 0,8 0,8	geringer konstruktiver Wärmeschutz; Heizkörpernischen in der Außenwand	150 bis 200
	Kellerdecke	Betondecke mit bis zu 4 cm Dämmung, schwimmender Estrich	0,8		
	Oberste Geschossdecke	Kehlbalkenlage mit bis zu 8 cm Dämmung und unterseitigem Gipskarton Betondecke mit Verbundestrich auf geringer Mineralfaserdämmung	0,4 1,0		
	Dachschräge	6–8 cm Mineralfaserplatten, Gipskartonplatten oder Holzvertäfelungen	0,6		
	Fenster	Isolierverglasung	2,8		
1977 - 1984	Außenwand	mehrschichtige Wandaufbauten	0,8–1,3	Wärmebrücken	150 bis 200
	Kellerdecke	Betondecke mit bis zu 4 cm Dämmung, schwimmender Estrich	0,8		
	Oberste Geschossdecke	Betondecke mit schwimmendem Estrich auf 2–4 cm Dämmung	0,5–0,6		
	Dachschräge	8 cm Mineralfaserplatten, Gipskartonverkleidung	0,5–0,6		

Tab. 11 Typische U-Werte von Konstruktionen aus verschiedenen Baualtersklassen nach Haas-Arndt und Ranft (2011): Altbauten sanieren – Energie sparen. BINE-Fachbuch. 3., aktual. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

nachträgliche Wärmedämmung (hier Calciumsilikat-Innendämmplatten und Styrodur-Dämmplatten auf der obersten Geschossdecke, vgl. Abb. 101), die im Laufe des Projekts definiert wurden. Die Wahl der Dämmstoffdicke war zunächst eine überschlägige Schätzung zur Verbesserung der U-Werte und wurde mithilfe der bauphysikalischen Berechnungen im Nachhinein festgelegt.

Die dabei erreichten U-Werte entsprechen im Wesentlichen den in der Literatur vorgeschlagenen Zielwerten bei Maier (2011).<sup>85</sup>

### 2.4.2 U-Wert-Messungen

In bestimmten Situationen kann es hilfreich sein, durch exemplarische Messungen die Durchlass

<sup>85</sup> Maier, Josef (2011): Energetische Sanierung von Altbauten. 2., ergänzte Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Bauteil	Material	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	λ [W/mK]	Stärke [m]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
<b>Ist-Zustand</b>					
Außenwände EG	Kalkzementputz	1800	1	0,015	Dicke Vollziegel abh. von Geschoss
	Vollziegel	1800	0,81	0,51	
	Kalkzementputz	1800	1	0,015	
Außenwände 1. OG	Kalkzementputz	1800	1	0,015	Dicke Vollziegel abh. von Geschoss
	Vollziegel	1800	0,81	0,38	
	Kalkzementputz	1800	1	0,015	
Außenwände 2. OG	Kalkzementputz	1800	1	0,015	Dicke Vollziegel abh. von Geschoss
	Vollziegel	1800	0,81	0,38	
	Kalkzementputz	1800	1	0,015	
Außenwände Keller	Kalksandstein	1600	0,79	0,2	Kalksandstein nur bis OK Gelände außen im Sichtbereich
	Beton	2200	1,65	0,35	
	Kalkzementputz	1800	1	0,015	
Wände zum Treppenhaus	Kalkzementputz	1800	1	0,015	Konzept: unbeheiztes Treppenhaus
	Vollziegel	1800	0,81	0,25	
	Kalkzementputz	1800	1	0,015	
DG-Wohnung: Wand zum unbeheizten Dachraum	Kalkzementputz	1800	1	0,015	Dicke Vollziegel abh. von Geschoss
	Vollziegel	1800	0,81	0,25	
	Kalkzementputz	1800	1	0,015	
Kellerdecke	Dielen	500	0,13	0,03	1,13
	Lagerholz	500	0,13	0,07 x 0,10	
	Sand	1800	0,7	0,1	
	Beton	2200	1,65	0,035	
	Vollziegel	1800	0,81	0,12	
	Zementgebundene Spanplatte	500	0,13	0,02	
Geschossdecke (zwischen OG)	Lattung	-	-	0,027 x 0,05	0,46
	Balken	500	0,13	0,20 x 0,14	
	Lattung	500	0,13	0,018	
	Schilfmatte	170	0,047	0,005	
	Putz	1800	1	0,02	
	Spanplatten	500	0,13	0,02	
Oberste Geschossdecke	Styrodur-Dämmplatten	-	0,04	0,09	0,35
	Holzdielen	-	-	0,25	
	Schüttung (im Hohlraum)	-	-	-	
	Holzbretter (Fehlboden)	500	0,13	0,018	
	Schilfmatte	170	0,047	0,005	
	Putz	1800	1	0,02	
Innentrennwände	Vollziegel	1800	0,81	0,12	2,45
Wohnungstür	Holz				2,00
Fenster	Holzfenster (Fichte), Isolierverglasung (1980er Jahre)				(typologischer Schätzwert) 2,50
Haustür	Alu, Glas			1,8 W/m <sup>2</sup> K	1,80
<b>Sanierter Zustand</b>					
Außenwand (zusätzliche Schichten)	Calcium-Silikat-Innendämmung	270	0,055	0,08	Außenwände (incl. CaSiO <sub>3</sub> -Dämmung)
	Innenputz (neu) / Gipsputz ohne Zuschlag	1200	0,35	0,01	
Oberste Geschossdecke	zusätzliche Styrodur-Dämmung über OG-Decke		0,04	0,05	0,24
Fenster	Neue Fenster, 3-fach Verglasung				0,80

Tab. 12 Bauteil-Parameter für das Plato-Wild-Ensemble.

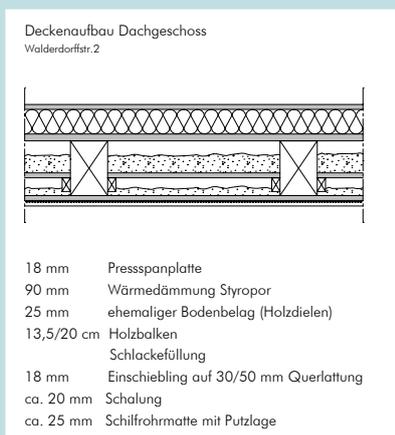


Abb. 101 Aufbau der obersten Geschossdecke im Gebäude Walderdorffstr. 2 des Plato-Wild-Ensembles. Die bereits vorhandene Dämmung auf den Holzdielen führt bereits zu einem guten Dämmstandard mit U-Wert 0,35 W/(m<sup>2</sup>K), der durch eine zusätzliche Dämmschicht von ca. 5 cm Styrodur auf einen Zielwert von ca. 0,24 W/(m<sup>2</sup>K) gebracht werden kann.

widerstände von Bauteilen bzw. den entsprechenden U-Wert empirisch zu ermitteln.

Zur Klassifikation der in den Gebäuden vermutlich Mitte der 1980er-Jahre erneuerten Fenster wurden stichprobenartig U-Wert-Messungen an den Verglasungen durchgeführt. Aufgrund der komplexen Einflüsse von Randverbund und Fensterrahmen wurden vor Ort nur die  $U_g$ -Werte der Verglasung ermittelt. Dazu werden die Oberflächentemperaturen am Glas mithilfe von Thermoelement-Sensoren gemessen und die durch das Glas fließende Wärmestromdichte mithilfe einer Wärmeflussplatte. Aus der Beziehung  $q = \Delta\Theta/R$  kann der Durchlasswiderstand  $R$  des Glases berechnet werden. In Verbindung mit den Rechenwerten für die Wärmeübergangswiderstände folgt daraus der Durchgangskoeffizient oder U-Wert.

Im Allgemeinen ist die Messung des U-Werts von Fensterbauteilen im Prüfstand mit dem Plattengerät nach DIN EN 674 (Verglasung; „Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten“) oder anhand des Heizkastenverfahrens („Hot Box“) nach DIN EN 12412-2 („Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens - Teil 2: Rahmen) und DIN EN ISO 12567-1 („Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern und Türen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens – Teil 1: Komplette Fenster und Türen“) geregelt.

Der Gesamt-U-Wert eines Fensters  $U_w$  errechnet sich aus dem U-Wert der Verglasung ( $U_g$ ) und des Rahmes ( $U_f$ ) sowie dem längenbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizienten  $\psi_g$  für den Glas-Randverbund:<sup>86</sup>

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + L_g \psi_g}{A_g + A_f}$$

Dabei bezeichnen  $A_g$ ,  $A_f$  und  $L_g$  den Flächeninhalt des Glases bzw. des Randes und die Länge des Randverbunds. Für neue Holzfensterrahmen kann man mit einem U-Wert von  $U_f = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  rechnen. Die EnEV 2014 nennt als Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von gegen Außenluft angrenzenden Fenstern, Fenstertüren, Dachflächenfenstern und Glasdächern in Wohngebäuden  $U_{w,\max} = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .<sup>87</sup> Um dies zu er-

86 DIN EN ISO 10077-1:2010 („Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten“).

87 EnEV 2014, Anlage 3 (zu den § 8 und § 9) („Anforderungen bei Änderung von Außenbauteilen und bei Errichtung kleiner Gebäude; Randbedingungen und Maßgaben für die Bewertung bestehender

reichen, müssen zumindest Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung eingesetzt werden (vgl. hierzu Gebäudetypologien des Instituts für Wohnen und Umwelt, Loga et al. 2011).<sup>88</sup>

Die Erneuerung der Fenster, die im vorliegenden Fall aus den 1980er-Jahren stammen, mit Wärmeschutzverglasung erfolgt in enger Abstimmung mit dem Konservierungskonzept (Kapitel B). Aufgrund der historischen Bausubstanz sind hier Holzfenster zu wählen, deren Beständigkeit und Lebenszykluskosten durchaus mit Kunststofffenstern verglichen werden können.<sup>89</sup> Bei einer Dreifachverglasung lässt sich ein U-Wert von  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  realisieren.

## 2.5 Schallschutzmessungen

Mit gestiegenen Komfortansprüchen sind auch die Erwartungen an die akustische Qualität der Bausubstanz gestiegen. Die in den Normenwerken DIN 4109 und VDI 4100 festgelegten Mindestanforderungen für Luftschalldämmung (Fassade und Trennbauteile zwischen Wohnungen) bzw. Norm-Trittschallpegel (Tab. 13) werden in Altbauten häufig nicht eingehalten.

Zeitgemäßer Schallschutz orientiert sich an dem Stand der Technik und allgemein akzeptierten Komfortansprüchen. Diesen werden die vergleichsweise niedrigen Anforderungen der DIN 4109 als öffentlich-rechtliches Instrument der bauaufsichtlichen Nachweisführung nicht mehr gerecht. Höhere Anforderungen wie die Schallschutzstufen II und III nach VDI 4100 spiegeln einen zeitgemäßen Schallschutz eher wider.

Die Luftschallübertragung zwischen den Wohnbereichen erfolgt über die Wände und Decken, durch offene Spalte, Rohrleitungen und undichte Türfugen. Während die Luftschallübertragung über Wände aus Massiv-Mauerwerk meist ausreichend verhindert wird – hier sind bewertete Schalldämmmaße von 60 dB keine Seltenheit –, kann die Übertragung durch leichte Bauteile wie Fenster und Türen zum Problem werden. Abb. 104 zeigt einige Ergebnisse für das Schalldämmmaß zwischen Erdgeschoss und 1. Obergeschoss bzw.

Wohngebäude“).

88 Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf (2011): Deutsche Gebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden (EU-Projekt „Typology Approach for Building Stock Energy Assessment“). Institut Wohnen und Umwelt (IWU). Darmstadt.

89 Fischer, Konrad (1991): Holzfenster. Sechzehn Argumente für die erhaltende Instandsetzung. Hg. v. Deutscher Burgenvereinigung e.V. Braubach (Praxis Ratgeber zur Denkmalpflege, 1).

zwischen benachbarten Erdgeschosswohnungen. Die Anforderung an das bewertete Luftschalldämmmaß  $R'_{w}$  von 54 dB (Wohnungstrenndecke) bzw. 53 dB (Trennwand) wird mit dem vorhandenen Schalldämmmaß durchaus erreicht. Allerdings beobachtet man bei hohen Frequenzen eine reduzierte Schalldämmung, die typisch ist für Leckagen zwischen den Wohnungen in Form von Türfugen, die den Schall über das Treppenhaus hinweg übertragen.

Zum direkt an festen Bauteilen angeregten Körperschall zählt vor allem der Trittschall. Gerade in Altbauten mit schlecht gedämmten, relativ leicht gebauten Holzbalkendecken ist diese Form der Schallübertragung zwischen den Wohnungen besonders kritisch.<sup>90</sup>

Für den vorhandenen Normtrittschallpegel  $L'_{n,w}$ , der als Maß für die Übertragung des Körperschalls (in Form von Trittschall) durch die Decke dient, finden sich durchwegs zu hohe Werte, deutlich über 60 dB (Abb. 104). Sie liegen im Bereich des von Giebler et al. (2008)<sup>91</sup> mit 65 dB angegebenen typischen Werts für Holzbalkendecken ohne ausreichende Unterdeckenkonstruktion (abgehängte Decke) bzw. schwimmenden Estrich.

Durch das Aufbringen eines schwimmenden Estrichs kann man in etwa 10 dB Verbesserung erwarten, da-

90 Fasold, Wolfgang; Veres, Eva (2003): Schallschutz und Raumakustik in der Praxis. Planungsbeispiele und konstruktive Lösungen. 2. Aufl. mit CD-ROM. Berlin: Huss-Medien, Verl. für Bauwesen.

91 Giebler, Georg; Fisch, Rainer; Krause, Harald; Musso, Florian; Petzinka, Karl-Heinz; Rudolphi, Alexander (2008): Atlas Sanierung. Instandhaltung, Umbau, Ergänzung. 1. Aufl. Basel: Birkhäuser.

mit ist aber das Ziel von 53 dB nicht ohne Weiteres zu erreichen. Daher sollte zur nachhaltigen Verbesserung eine abgehängte Unterdecke in den Aufbau integriert werden. Untersuchungen zu konstruktiven Verbesserungen wurden bereits von Gösele et al. (1989)<sup>92</sup> unternommen. Eine kostengünstige Variante besteht in der Kombination von schwimmendem Estrich und einer federnd angebrachten Unterdecke.

Eine Beschwerung der Decke zur Verringerung der Körperschallübertragung ist durch Ersatz der Fehlbodenfüllung denkbar (siehe Abb. 103); daneben können zusätzliche Absorber im Raum über der Unterdecke eingebracht werden. Problematisch ist immer noch die direkte Körperschallübertragung durch die Tragbalken; sie kann durch eine elastische Lagerung der Bodendiele verringert werden. Unerlässlich ist eine Entkopplung des schwimmenden Estrichs von den Wänden durch elastische Fugen.

Der nach DIN 4109 erforderliche Schallschutz der Fassade gegenüber Außenlärm ist vom maßgeblichen Außenlärmpegel abhängig. Bei einem Außenlärmpegel von 66 bis 70 dB(A) ist ein Fassadenschalldämmmaß von 40 dB für Wohnräume gefordert (DIN 4109). Dies wird vom Massivmauerwerk jederzeit erfüllt, problematisch sind alte Fenster mit undichten Fugen. Durch den Einbau moderner Holzfenster mit Mehrfach-

92 Gösele, Karl (1989): Verbesserung des Schallschutzes von Holzbalkendecken bei der Modernisierung von Gebäuden. Untersuchungen im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Forschungsberichte Bau- und Wohnforschung, F 2144).

#### Anforderungen an den Schallschutz gegenüber Schallübertragung innerhalb von Gebäuden

nach DIN 4109 (entspricht VDI 4100 Schallschutzstufe I), erhöhte Anforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2, VDI 4100 SSt II und III

Bauteil	erf $R'_{w}$ (min) in dB				erf $L'_{n,w}$ (max) in dB			
	DIN 4109	DIN 4109 Beiblatt 2	VDI 4100 SSt II	VDI 4100 SSt III	DIN 4109	DIN 4109 Beiblatt 2	VDI 4100 SSt II	VDI 4100 SSt III
Wohnungstrenndecken	54	55	56	59	53	46	46	39
Wohnungstrennwände	53	55	57	60	-	-	-	-
Wände zum Treppenhaus	52	55	56	59	-	-	53	46
Wohnungstür (mit Diele)	27	37	-	-	-	-	-	-
Decken über Kellern und Hausfluren	52	55	56	59	53	46	-	-

#### Anforderungen an das bewertete, resultierende Schalldämmmaß erf $R'_{w,res}$ von Außenbauteilen

für Aufenthaltsräume in Wohnungen nach DIN 4109 und VDI 4100 (nur SSt III)

Lärmpegelbereich	Maßgeblicher Außenlärmpegel in dB(A)	erf $R'_{w,res}$ (min) in dB	
		DIN 4109	SSt III
I	bis 55	30	35
II	56 bis 60	30	35
III	61 bis 65	35	40
IV	66 bis 70	40	45
V	71 bis 75	45	50
VI	76 bis 80	50	55
VII	über 80	(gesondert festzulegen)	

Tab. 13 Anforderungen an den Schallschutz im Geschosswohnungsbau nach DIN 4109 (mit erhöhten Anforderungen nach Bbl. 2) und VDI 4100 (Schallschutzstufen SSt II und III)



Abb. 102 Häusergruppe an der Walderdorffstraße (Fassade zum Innenhof des Blocks II). Hier wurden exemplarische Schallschutzmessungen zwischen den Geschossen und zwischen benachbarten Wohnungen durchgeführt. (Zeichnung: Zeitler/Wittmann)

verglasung in dichten Rahmen (Falzdichtung) lässt sich ein  $R_{w,Fenster}$  von 35 dB und mehr erreichen. Bei einem Fensterflächenanteil von 30% und einem Schalldämmmaß  $R_{w,Mauer}$  von 60 dB für das Mauerwerk ergibt ein resultierendes Fassadenschalldämmmaß  $R'_{w,R,res}$  nach DIN 4109 Beiblatt 1 von

$$R_{w,R,res} = -10 \log_{10} \left( 30\% \cdot 10^{-\frac{R_{w,Fenster}}{10}} + 70\% \cdot 10^{-\frac{R_{w,Mauerwerk}}{10}} \right) = -10 \log_{10} (30\% \cdot 10^{-3,5} + 70\% \cdot 10^{-6,0}) = 40 \text{ dB}$$

Eine nachträgliche Schallschutz-Ertüchtigung von Bestandsbauten ist meist mit hohen Kosten verbunden, wenn Decken und andere Massivbauteile betroffen sind. Daher wird hier im genossenschaftlichen Wohnungsbau und bei moderaten Wohnkosten eine umfassende Aufwertung wirtschaftlich kaum realisierbar sein. In Kapitel E werden dennoch einige Verbesserungsansätze im Rahmen der Architektonischen Modernisierung diskutiert.

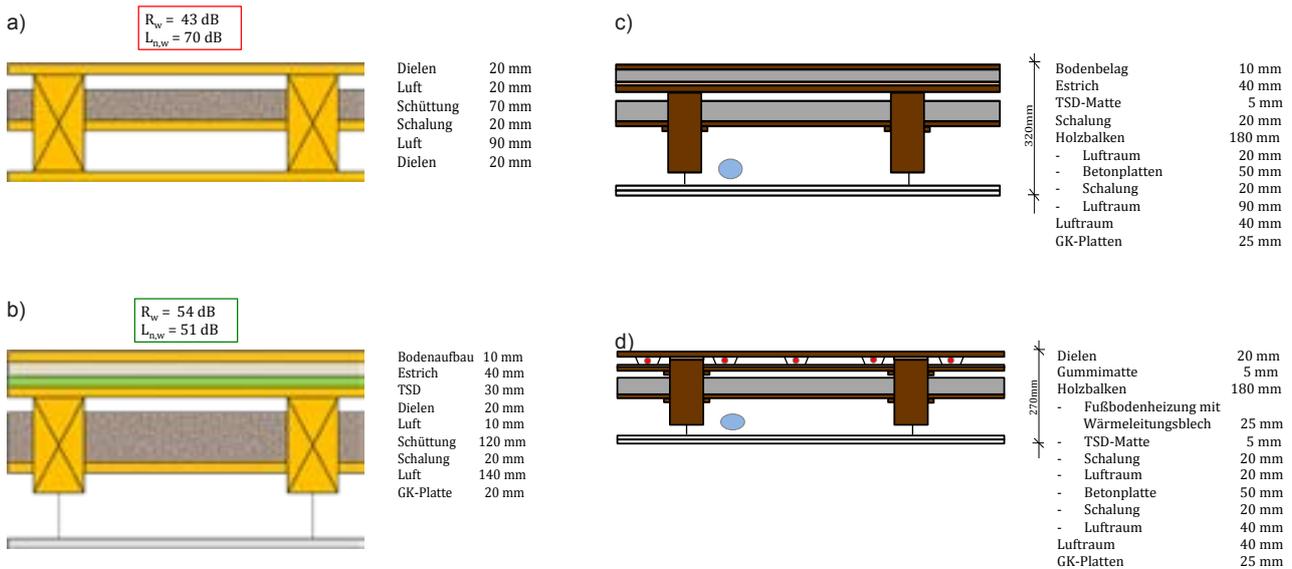


Abb. 103 a) Schallschutz-Ertüchtigung von Holzbalkendecken, ausgehend von einer Bestandssituation; b) Verbesserte Konstruktion mit schwimmendem Estrich und abgehängter Unterdecke; die Schallschutzeigenschaften entsprechen den erhöhten Anforderungen der DIN 4109 Bbl. 2; c) Mit zusätzlich eingebrachten Betonplatten im Fehlboden; d) Mit einer integrierten Fußbodenheizung als Systemlösung. Hier sind sogar die Schallschutzanforderungen der Stufe II nach VDI 100 erfüllbar. Über der Deckenabhangung können zusätzliche schalldämmende Absorbermaterialien oder – läftungskanäle eingebracht werden.

**a) Luft- und Trittschallmessung zwischen Obergeschoss und Erdgeschoss (jeweils Schlafzimmer), Walderdorffstr. 2**

Decke: Parkett (Eiche), Holzbalkendecke mit gefülltem Fehlboden, Unterdecke aus verputztem Stroh

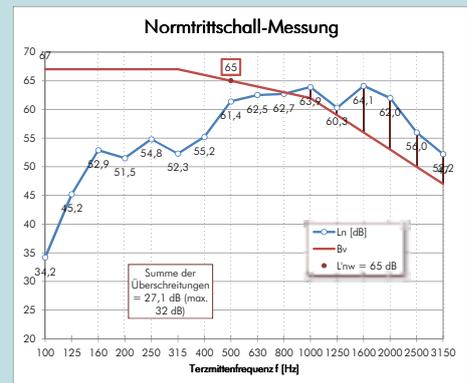
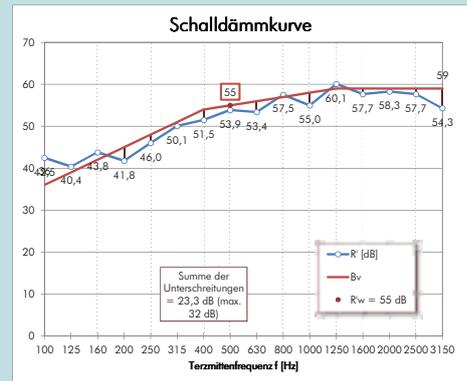
Schallübertragende Fläche: 10,0 m<sup>2</sup>  
Empfangsraumvolumen: 26,4 m<sup>3</sup>

Anforderung gemäß DIN 4109 (Wohnungstrenndecke):  
erf  $R'_w = 54$  dB

Vorhandenes bewertetes Schalldämmmaß:  
vorh  $R'_w = 55$  dB (ausreichend)

Anforderung gemäß DIN 4109: erf  $L'_{n,w} = 53$  dB

Vorhandener Normtrittschallpegel: vorh  $L'_{n,w} = 65$  dB (zu hoch)



**b) Trittschallmessung zwischen Obergeschoss und Erdgeschoss, Walderdorffstr. 2**

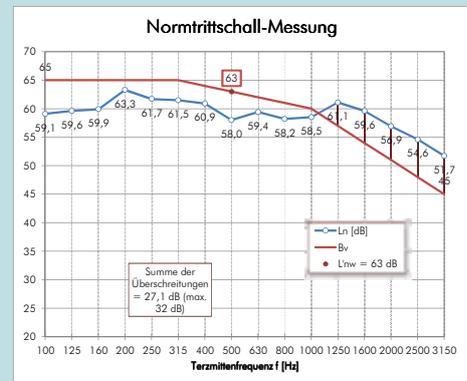
Decke: Parkett (Eiche), Holzbalkendecke mit gefülltem Fehlboden, Unterdecke aus verputztem Stroh

Schallübertragende Fläche: 17,3 m<sup>2</sup>  
Empfangsraumvolumen: 46,8 m<sup>3</sup>

Anforderung gemäß DIN 4109: erf  $L'_{n,w} = 53$  dB

Vorhandener Normtrittschallpegel: vorh  $L'_{n,w} = 63$  dB (zu hoch)

Messung am 31.10.2012  
Steffens / Höflich



**c) Schalldämmmaß zwischen benachbarten Wohnungen im Erdgeschoss, Walderdorffstr. 2**

Wand: Vollziegel, beidseitig verputzt

Schallübertragende Fläche: 8,2 m<sup>2</sup>  
Empfangsraumvolumen: 44,8 m<sup>3</sup>

erf  $R'_w = 53$  dB (Wohnungstrennwände, nach DIN 4109)

vorh  $R'_w = 54$  dB (ausreichend)

Messung am 31.10.2012  
Steffens / Höflich

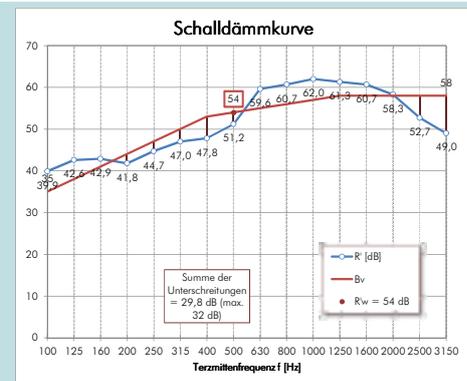


Abb. 104 Messung des Luftschalldämmmaßes (a) und des Normtrittschallpegels (b) der Holzbalkendecke zwischen 1. Obergeschoss und Erdgeschoss sowie der Luftschallübertragung (c) zwischen benachbarten Erdgeschosswohnungen



# 3. Berechnungen und Simulationen

## 3.1 Kritische Anschlussdetails

Aus bauphysikalischer Sicht ergeben sich in der Bestandssanierung mithilfe einer innenseitigen Wärmedämmung folgende Hauptproblemzonen:

- Anschluss des Daches im Traufbereich in Verbindung mit einer Dämmung der obersten Geschossdecke
- Sockel/erdberührte Bauteile in Verbindung mit einer Dämmung der Kellerdecke (Mauerwerkstrockenlegung)
- Einbindende Innenwände (Wärmebrücken);
- Holzbalkendecken, Balkenköpfe (Fäulnisgefahr bei zu hoher Holzfeuchte)
- Anschlüsse der Fenster (Wärmebrücken)
- Dämmung der strukturierten, gegliederten Fassade

Abb. 107 verdeutlicht diese Bereiche am Gebäudeschnitt.

Ausgehend von der Situation einer gegliederten, reich strukturierten Fassade verfolgen wir in Übereinstimmung mit den Empfehlungen des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege einen Lösungsansatz mit kapillaraktiver Innendämmung.

Im Folgenden sollen die genannten Zonen mithilfe von thermischen Berechnungen und hygrothermischen Simulationen bewertet und eine geeignete Dimensionierung der Stärke der Innendämmung ermittelt werden.

## 3.2 Glaser-Verfahren (Außenwand)

Zu Beginn der rechnerischen Untersuchungen wurde die Außenwand unter Einbeziehung einer 8 cm dicken Calciumsilikat-Innendämmung mit dem Glaser-Verfahren nach DIN 4108-3 berechnet. Das Glaser-Verfahren<sup>93</sup> ist ein eindimensionales Berechnungsverfahren, um die Tauwasser- und Verdunstungsmengen durch Wasserdampfdiffusion im Bauteil über den Jahreslauf grob abzuschätzen und zu bilanzieren. Im Vorwort der DIN

93 Glaser, Helmut (1958): Vereinfachte Berechnung der Dampfdiffusion durch geschichtete Wände bei Ausscheidung von Wasser und Eis. In: Kältetechnik 10 (11), S. 358–364 (Teil 1), (12), S. 386–390 (Teil 2).

4108-3 wird darauf hingewiesen, dass das Verfahren für Baustoffe, bei denen Feuchtespeicherung und -transport eine Rolle spielen, wenig geeignet ist. Bei Mauerwerk mit Innendämmung führt das Verfahren unter Umständen zu einer falschen Beurteilung der Situation. Da es den gängigen Feuchteschutznachweis darstellt, soll auf eine formale Glaser-Bewertung dennoch kurz eingegangen werden.

Wir betrachten die Bestandswand aus 38 cm dickem Vollziegelmauerwerk (mit beidseitig 1,5 cm Kalkzementputz), an die eine Calciumsilikat-Dämmschicht mit Gipsputz raumseitig angebracht ist (Tab. 14). Bereits ab einer Dämmstärke von 18 mm weist man eine kritische Tauwassermenge über  $1,0 \text{ kg/m}^2$  nach. Dieses Wasser fällt in der Ebene zwischen der Dämmschicht und dem Bestandsinnenputz des Mauerwerks an. Die Verdunstungsmenge, die diese Tauwassermenge in jedem Fall überschreiten sollte, damit das Bauteil wieder austrocknen kann, liegt selbst bei 80 mm Dämmstärke immer über der Tauwassermenge.

Man beobachtet, ungeachtet von real vorhandenem kapillarem Wassertransport, eine besonders kritische Situation für Dämmstärken zwischen 3 und 5 cm, weil hier die höchste Tauwassermenge anfällt. Bei 8 cm Dämmstärke ist diese Menge kleiner, allerdings sinkt auch die sommerliche Verdunstungsmenge, sodass bei noch höheren Dämmstärken (ab 11 cm) die anfallende Tauwassermenge formal nicht mehr austrocknen kann.

Somit empfiehlt sich eine Dämmstärke von 8 cm, die allerdings ohne detaillierte hygrothermische Tauwasserberechnung allein mit dem Glaser-Verfahren dennoch nicht zulässig wäre, weil der Grenzwert von  $1,0 \text{ kg/m}^2$  Tauwassermenge überschritten wird.

Dieser Befund wurde bereits von Binder et al. (2012)<sup>94</sup> festgestellt: „Das Beispiel der Calciumsilikat-Konstruktion zeigt, dass es in der Regel zu einer negativen Beurteilung von diffusionsoffenen, kapillaraktiven Systemen führt, wenn man Feuchtespeicherung und Flüssigtransport vernachlässigt. Deren Funktionsweise beruht ja gerade auf der Fähigkeit der Materialien, Feuchte sowohl zu speichern als auch über Flüssigtransport zurückzuleiten und somit den Feuchteintrag über Dampfdiffusion zu kompensieren.“

Die U-Wert-Berechnung der Konstruktionen zeigt, dass in jedem Fall eine 8 cm Innendämmung benötigt wird, um in den Bereich der Anforderungen der Energieeinsparverordnung an sanierte Altbauten zu kommen,

94 Binder, Andrea; Künzel, Hartwig; Zirkelbach, Daniel (2012): Ein abschätzender Blick in die Zukunft. Hygrothermische Simulationen. In: Bauen im Bestand B+B/Trockenbau Akustik Spezial, S. 11–17.

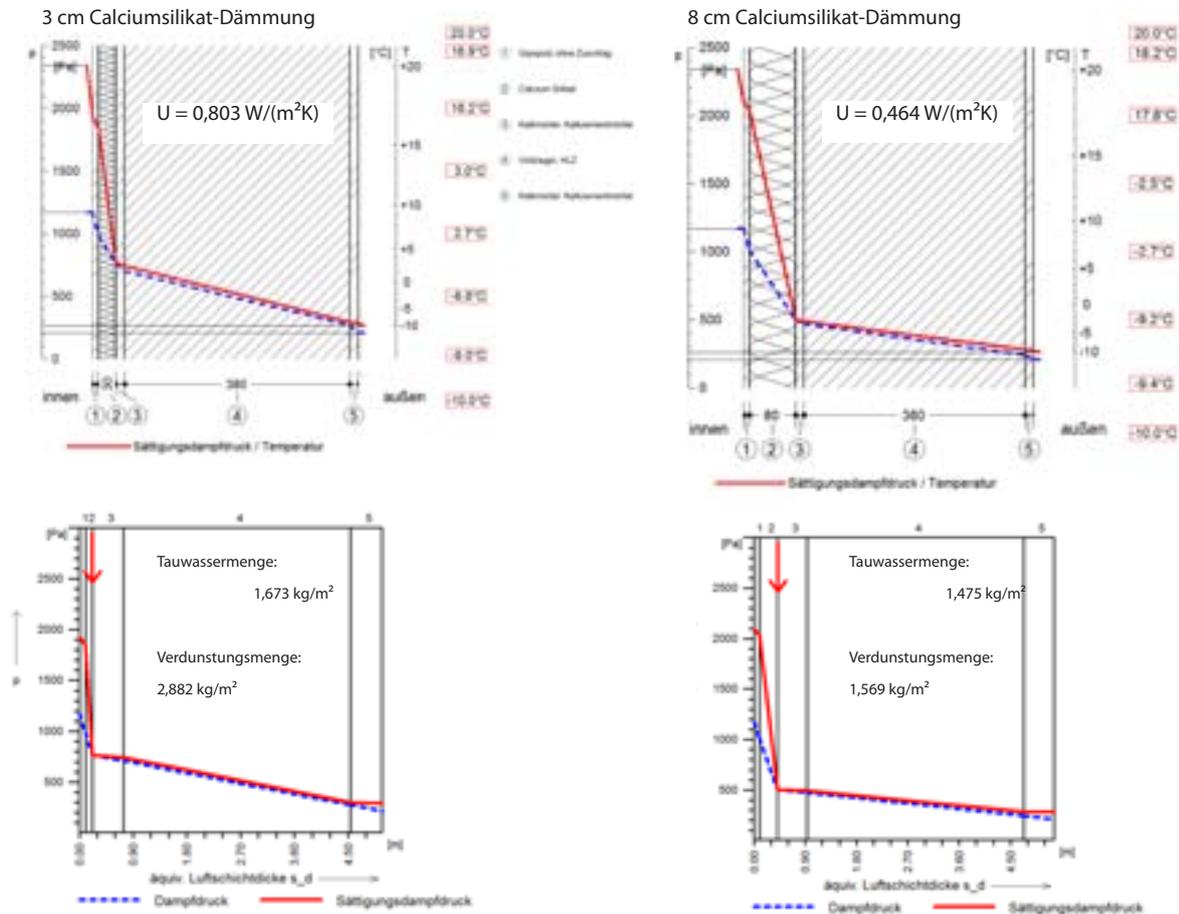


Abb. 105 Glaser-Nachweis für eine 38 cm dicke Vollziegelwand mit 3 bzw. 8 cm Calciumsilikat-Innendämmung. Oben: Wandaufbau mit Temperatur- und Partialdruckverlauf. Unten: Glaser-Diagramme über der äquivalenten Luftschichtdicke mit Tauebene (zwischen Innendämmung und Mauerwerk).

Quelle für Bilder: BMZ Technisch-Wissenschaftliche Software GmbH, Software Bautherm EnEV X 11, Tübingen (2014).

Dämmstärke CaSiO <sub>3</sub> (cm)	U-Wert (W/m <sup>2</sup> K)	Tauwassermenge (kg/m <sup>2</sup> )	Verdunstungsmenge (kg/m <sup>2</sup> )	DIN 4108-3 konform
0 (Bestandswand)	1,49	0,166*	1,441	ja
1,5	1,03	0,967	3,915	ja
2,0	0,94	1,354	3,494	nein
3,0	0,80	1,673	2,882	nein
5,0	0,62	1,692	2,147	nein
8,0	0,46	1,475	1,569	nein
11,0	0,37	1,254	1,248	nein

\*zwischen Mauerwerk und Außenputz

Tab. 14 Vergleich der U-Werte und Tauwassermengen für unterschiedliche Dicken der Calciumsilikat-Innendämmung. Offenbar ist eine Dämmstärke zwischen 3 und 5 cm am kritischsten.

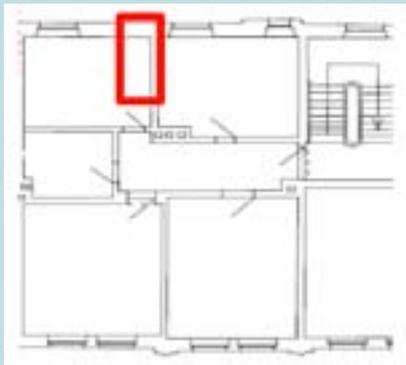
d.h.  $U_{\max} = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  bei Erneuerung der Außenbauteile mittels Innendämmung.<sup>95</sup>

Im Folgenden wird nun die Analyse mit thermischen Detailberechnungen und mit Simulationen des gekop-

pelten Wärme- und Feuchtetransports unter Berücksichtigung kapillarer Saugwirkung ergänzt (Höflich, 2013).<sup>96</sup>

95 Die Anforderung gilt als erfüllt, wenn der spezifische Transmissionskoeffizient  $H_T$  den Grenzwert von  $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  um nicht mehr als 40% überschreitet, d.h. max.  $0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  beträgt.

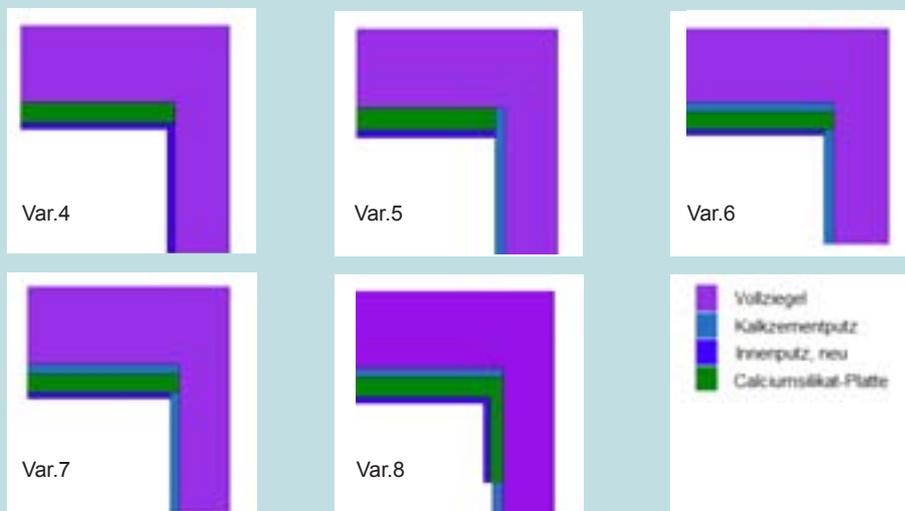
96 Höflich, Daniel (2013): Thermische Berechnungen und hygrothermische Detail-Simulationen für eine Gebäudemodernisierung mit kapillaraktiver Innendämmung. Masterarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, S. 35ff.



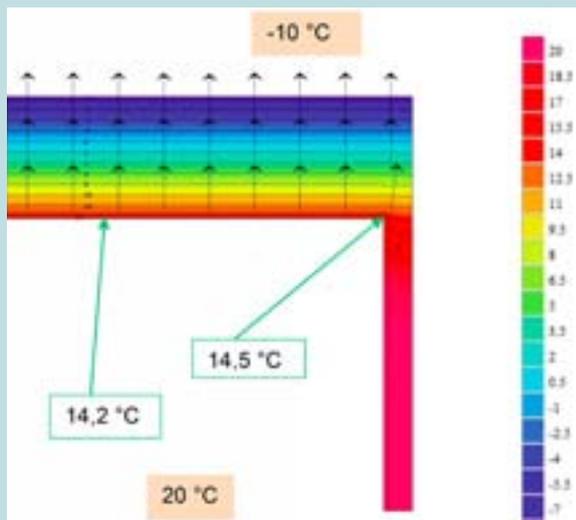
a) Grundriss (ohne Maßstab)  
Quelle: A. Zeitler

Variante	Ist-Zustand	3 cm Calciumsilikat-Innendämmung							
		3 cm Calciumsilikat-Innendämmung	5 cm Calciumsilikat-Innendämmung	8 cm Calciumsilikat-Innendämmung	alter Innenputz komplett entfernt	alter Innenputz an AW entfernt	alter Innenputz an AW und an IW zum entfernt	nur 3 cm alter Innenputz an der IW entfernt	plus Dämmmaß
Oberflächen-temperatur in der Kante	14,5	13,7	13,8	14,1	14,4	13,6	14,5	14,6	16,0
Oberflächen-temperatur in der Kante hinter der Dämmung		8,8	7,1	5,1	8,1	8,8	8,4	8,5	6,2
Außenwand-oberflächen-temperatur (innen)	14,2	16,7	17,4	18,1	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7
Außenwand-oberflächen-temperatur hinter der Dämmung		3,5	0,7	-2,0	3,3	3,4	3,4	3,6	3,6

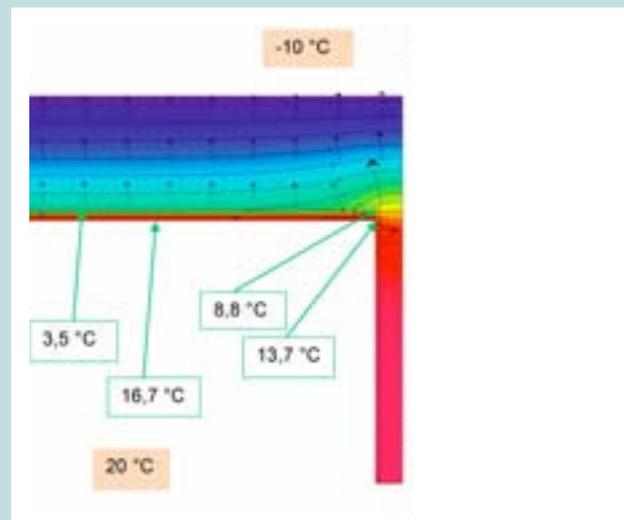
b) Tabellarische Zusammenstellung der Ergebnisse



c) Schematische Darstellung der Gestaltungsvarianten 4 bis 8 mit 3 cm CaSiO<sub>3</sub>-Innendämmung



d) Außenwand im bestehenden Zustand



e) Variante 1: Außenwand mit 3 cm Calciumsilikat-Innendämmung; Variante 2 und 3 unterscheiden sich nur in der Dämmstärke (5 bzw. 8 cm).

Abb. 106 Thermische Berechnungen für Varianten der Innendämmung an der Stelle einer einbindenden Innenwand. Die Abbildungen zeigen die Temperaturen in den Bauteilen und die Anschlussbedingungen an den Oberflächen bzw. Schnittflächen, inkl. Übergangswiderständen ( $R_{si} = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,  $R_{se} = 0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) an den Oberflächen gegen Luft. Quelle: Höflich, Daniel (2013)

### 3.3 Thermische Berechnungen

Zwei- und dreidimensionale Berechnungen der stationären Wärmeleitung dienen der Ermittlung von Temperaturen und Wärmeströmen im Bauteil und insbesondere der Bestimmung von Wärmebrückenverlustkoeffizienten für Wärmebrücken. Die Ergebnisse der Berechnung geben Aufschluss über das Tauwasser- und Schimmelrisiko auf Bauteiloberflächen. Weiterhin können die Temperaturverteilung innerhalb von Bauteilen oder die Wärmeverluste ermittelt werden.

In der DIN EN ISO 10211-1 und DIN EN ISO 10211-2 werden Spezifikationen für einheitliche Bedingungen festgelegt. Vorausgesetzt werden:

- stationäre Temperaturen
- temperaturunabhängige Materialparameter
- keine Wärmequellen im Bauteil

Hinsichtlich der Genauigkeit müssen kommerzielle Rechenprogramme nach EN ISO 10211-1 „Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren“ validiert sein. Die Ergebnisse entsprechen also den in EN ISO 10211-1 Anhang A dargestellten Prüferferenzfällen.

Die Ergebnisse hängen von den geometrischen und den materialspezifischen Parametern sowie von den gewählten thermischen Randbedingungen ab. Darüber hinaus erfordert eine gewünschte Genauigkeit eine entsprechend fein modellierte Struktur aus finiten Elementen. Die in den Programmdateibanken hinterlegten Materialkennwerte auf Grundlage der DIN 4108-4 wurden mit den aus den Analysen gewonnenen Eigenschaften bearbeitet bzw. ergänzt.

Die Darstellung der Isothermen in den Abbildungen Abb. 106 ff. wird in Temperaturschritten von 2 Kelvin angezeigt. Die Schnittflächen werden mit adiabaten Randbedingungen (Wärmestromdichte  $q = 0$ ) belegt; somit findet über diese Schnittflächen kein Wärmeaustausch mit der Umgebung statt, sie stellen, anschaulich gesprochen, Spiegelebenen dar.

Die kritische Luftfeuchte für Schimmelpilzbildung auf einer Bauteiloberfläche ist 80% (Schimmelpilzschwelle DIN 4108-2). Wie bereits erwähnt, entspricht dies bei einer relativen Luftfeuchte von 50% bei 20°C Raumlufttemperatur einer maximal zulässigen Oberflächentemperatur von 12,6°C.

#### 3.3.1 Einbindende Innenwand

Eine typische geometrische Wärmebrücke ist die auf eine Außenwand stoßende Innenwand (einbindende Innenwand). Es folgt eine Berechnung für die Vollziegelaußenwand mit einer angrenzenden Vollziegelinnenwand (Abb. 106 a)). Aus Symmetriegründen wird die Innenwand in der Mitte abgeschnitten (adiabate Randbedingung zum Nachbarraum).

Um das größere Schimmelpilzrisiko bei dauerhafter Überschreitung von 80% Oberflächenfeuchte deutlicher abzubilden, wurde hier (abweichend von DIN 4108-3) eine Außentemperatur von  $-10^{\circ}\text{C}$  angesetzt. Dies trägt auch dem Umstand Rechnung, dass die lokalen Außentemperaturen an mehr als vier aufeinander folgenden Tagen unter  $-5^{\circ}\text{C}$  liegen können.

Situation im Bestand

Tab. 15 spezifiziert den Außenwandaufbau im Bestand von innen nach außen.

Die Temperatur in der Anschlusskante beträgt  $14,5^{\circ}\text{C}$  und die Temperatur an der Innenoberfläche der Außenwand  $14,2^{\circ}\text{C}$  (Abb. 106 d)). Dass diese in der Kante niedriger ist, liegt daran, dass der mineralische Innenputz eine bessere Wärmeleitfähigkeit hat als der Vollziegel der Wand.

In diesem Fall besteht mit den vorgegebenen Werten keine formale Schimmelgefahr, da die Temperaturen über  $12,6^{\circ}\text{C}$  liegen. Dennoch kann es beispielsweise durch das Nutzerverhalten zu einer höheren Luftfeuchte im Raum kommen, was dann zu einer Erhöhung der Schimmelpilzschwelle führen würde.

Variante 1: 3 cm Calciumsilikat-Innendämmung

Es folgt eine Berechnung für dieselbe Struktur, allerdings mit einer 3 cm dicken Calciumsilikat-Innendämmung und einem neuen Innenputz (Tab. 16). Der alte Innenputz darunter und der an der einbindenden Innenwand wird beibehalten.

Man findet eine Temperatur an der Einbindestelle von  $13,7^{\circ}\text{C}$ . Hinter der Dämmung in der Kante hat man eine

Außenwand	Rohdichte $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [W/m·K]	Dicke d [m]
Kalkzementputz	1800	1,00	0,015
Vollziegel	1820	0,81	0,380
Kalkzementputz	1800	1,00	0,015

Tab. 15 Aufbau der unsanierten Außenwand

Außenwand	Rohdichte $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [W/m·K]	Dicke d [m]
Gipsputz	1800	1,00	0,015
CaSiO <sub>3</sub> -Platte	270	0,055	0,030
Kalkzementputz	1800	1,00	0,015
Vollziegel	1820	0,81	0,380
Kalkzementputz	1800	1,00	0,015

Tab. 16 Aufbau der Außenwand mit 3 cm starker Calciumsilikat-Dämmung

Temperatur von 8,8°C. Die raumseitige Wandoberfläche liegt bei 16,7°C und hinter der Dämmung bei 3,5°C (Abb. 106 e).

Var. 2 und 3: 5 bzw. 8 cm Calciumsilikat-Dämmung

Mit wachsender Dämmstärke erhält man erwartungsgemäß höhere Temperaturen an der Innenoberfläche und Kante und niedrigere Temperaturen hinter der Dämmung. Hier lassen sich im raumseitigen Anschlussbereich Oberflächentemperaturen von 13,8°C bzw. 14,1°C erzielen. Die Ergebnisse sind in Abb. 106 b zusammengefasst.

Offenbar stellen Dämmstärken um 3 cm ohne weitere Maßnahmen eine besonders ungünstige Situation dar, die zu niedrigeren Kantentemperaturen führt als ohne Dämmung bzw. mit dickerer Dämmung.

Es wurden weitere Varianten für den Anschluss einer Innendämmung berechnet, in Anlehnung an Oswald et al. (2011)<sup>97</sup>; siehe Abb. 106 c.

Variante 4: Der alte Innenputz wird komplett entfernt, eine 3 cm dicke Calciumsilikat-Innendämmung direkt auf der Außenwand angebracht und mit einem neuen 1 cm starken mineralischen Innenputz verkleidet. Im Vergleich zu Variante 1 stellt sich in der Kante raumseitig eine deutlich höhere Temperatur ein (14,4°C statt 13,7°C), hinter der Dämmung fällt die Temperatur von 8,8°C auf 8,1°C. Im Wandbereich ändert sich wenig.

Variante 5: Hier wird nur der alte Innenputz der Außenwand entfernt, der an der Innenwand wird belassen. Auf der Außenwand ist eine 3 cm Calciumsilikat-Innendämmung mit neuem Innenputz aufgebracht. In der Kante ergibt sich eine Temperatur von 13,6°C, in der Kante hinter der Dämmung 8,8°C (ähnlich Variante 1). Offenbar ist der Putz der Innenwand zwischen Dämmung und Innenwand-Mauerwerk entscheidend für die niedrigere Temperatur im Kantenbereich. Er wirkt

97 Oswald, Rainer; Zöller, Matthias; Liebert, Géraldine; Sous, Silke (2011): Und sie funktionieren doch. Innendämmung – Detaillösungen. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (2), S. 48–53.

als Wärmebrücke.

Variante 6: Zusätzlich zu den Maßnahmen in Variante 5 wird der alte Putz der Innenwand im Bereich der Dämmung entfernt, sodass diese auch im Anschlussbereich direkten Kontakt zum Mauerwerk hat. Damit ergibt sich für die Innenkante 14,5°C (wie Variante 4) und hinter der Dämmung 8,4°C.

Variante 7: Diese Variante ist ähnlich der Variante 1 mit den alten Putzschichten, nur dass hier 3 cm des alten Innenputzes entlang der Innenwand entfernt wurden wie in Variante 6. Für die Kante ergibt sich eine Temperatur von 14,6°C und hinter der Dämmung 8,5°C.

Variante 8: Ähnlicher Aufbau wie Variante 7, aber hier mit einem „Dämmkeil“, d. h. einem 2 cm starken und 50 cm langen Dämmstreifen aus Calciumsilikat entlang der Innenwand. An der Stelle der Innenwand, auf der der zusätzliche Dämmstreifen angebracht wird, wird der alte Innenputz entfernt, auch um einen noch dickeren Versatz in der Wand zu vermeiden. In diesem Fall erhält man raumseitig 16,0°C in der Kante und 6,2°C hinter der Dämmung.

Fazit

Entscheidend für die raumseitige Oberflächentemperatur im Anschlussbereich und damit für die Reduktion von Schimmelbildung ist die Unterbrechung des alten Putzes auf der einbindenden Innenwand. Diese kann durch einen verlängerten Dämmkeil noch deutlich erhöht werden im Vergleich zur Bestandssituation (16,0°C statt 14,5°C), hinter der Dämmung wird die Temperatur von ca. 8,4°C (ohne Dämmkeil) auf 6,2°C abgesenkt. Nachdem Temperaturabsenkungen der Raumumschließungsflächen gegenüber der Raumluft von mehr als 3 Kelvin oft mit unangenehmen Zugempfindungen verbunden sind, ist der Dämmkeil hier von Vorteil.

Der Vergleich von Variante 2 und 5 zeigt, dass man statt mit einer 5 cm Calciumsilikatplatte auch mit 3 cm Calciumsilikat-Innendämmung auskommt, wenn die Wärmebrücke durch den Innenwandputz entfernt wird. Bei allen Varianten entsteht kein Schimmelpilzproblem vor der Dämmung. Allerdings liegen die Temperaturen hinter der Dämmung im kritischen Bereich. Es sollte daher ein dampfdichter Anschluss gewährleistet sein, sonst besteht die Gefahr des Wasserdampf-Hinterströmens mit vermehrtem Tauwasserausfall. Die Kapillaraktivität des Dämmmaterials kann dieses Risiko jedoch kompensieren.

In jedem Fall ist auch bei Calciumsilikat auf eine fachgerechte, vollflächige Verklebung und dichte Verfugung der Platten zu achten, um Hohlräume zu vermeiden. Diese können sonst als „Kondensatfalle“ wirken.<sup>98</sup>

### 3.3.2 Kellerdecke und Sockelbereich

Eine typische Deckenkonstruktion der Zwischenkriegszeit ist die sog. Preußische Kappendecke mit Stahlträgern und einer aus Ziegeln gemauerten Wölbung. In unserem Beispiel haben die Stahlträger eine Flanschbreite von ca. 8 cm. Die Abstände der Stahlträger betragen (gemessen) ca. 120 cm, wobei diese variieren. Aufgrund der Flanschbreite von 8 cm kann man auf ein I-Eisen-Profil schließen, welches eine Breite von 8,2 cm hat. Der restliche Aufbau wurde mithilfe von zeitgenössisch-typischen Konstruktionsmerkmalen aus der Literatur (Maier 2011)<sup>99</sup> modelliert.

Situation im Bestand

Tab. 17 zeigt den Aufbau der unsanierten Außenwände im Kellerbereich sowie der Kellerdecke.

Eine Schnittzeichnung aus den historischen Planunterlagen (Abb. 107 a) hilft bei der Orientierung für die in Abb. 107 c gezeigte Temperaturverteilung aus der thermischen Berechnung. Die Temperatur in der Fußbodenkante des Erdgeschosses beträgt 9,3°C. Der Fußboden liegt im Bereich von 16,1°C bis 17,4°C. Die

98 Messal, Constanze (2014): Wo Schimmelpilze im Verborgenen wachsen. Versteckten Schimmelpilz nachweisen, Teil 2. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (6), S. 67–69.

99 Maier, Josef (2011): Energetische Sanierung von Altbauten. 2., ergänzte Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

	Rohdichte $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [W/m·K]	Dicke d [m]
<b>Außenwand (oben)</b>			
Kalkzementputz	1800	1	0,015
Vollziegel	1820	0,81	0,38
Calciumsilikat-Platte	270	0,055	0,03
Mineralischer Innenputz	1500	0,47	0,01
<b>Außenwand (unten)</b>			
Kalksandstein*	1600	0,79	0,2
Beton	2200	1,65	0,35
<b>Kellerdecke</b>			
Dielung	500	0,13	0,03
Lagerholz	500	0,13	0,07 x 0,10
Lose Schüttung/Sand	1800	0,7	0,12
Beton	2200	1,65	
Vollziegel	1820	0,81	0,12 x 0,065

\* Kalksandstein nur bis OK Gelände

Tab. 17 Aufbau der unsanierten Kellerwände und der Kellerdecke

Temperaturen der Stahlträger sind 7,2°C (oben) und 5,9°C (unten). Damit liegt die Bodenkante bereits unterhalb von 12,6°C, wonach hier Schimmelpilzwachstum zu erwarten ist.

Variante 1: 3 cm Innendämmung an der Außenwand

Mit dieser Innendämmung (Variante 1, Abb. 107 d) erhöht sich die Temperatur in der Bodenkante auf 12,1°C. Die Temperatur hinter der Dämmung beträgt 2,1°C in der Nähe der Kante. Die Fußbodentemperatur bleibt annähernd gleich mit 15,9°C bis 17,4°C. Die Temperatur der Stahlträger liegt wie zuvor bei 7,2°C (oben) und 5,9°C (unten). Die Temperatur in der Kante liegt immer noch im schimmelpilzkritischen Bereich.

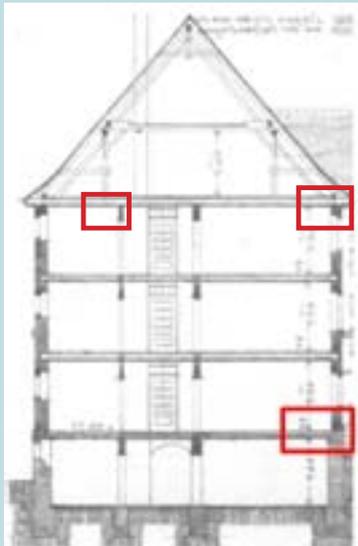
Dämmung der Kellerdecke

Da die Kellerdecke, als unterer Abschluss der beheizten Gebäudehülle, nur einen geringen Wärmeschutz aufweist, werden hier hohe Heizenergieverluste verursacht. Um diesen Energieverlust zu vermeiden, sollte entweder über der Kellerdecke oder unter der Kellerdecke gedämmt werden.

Durch eine Dämmung oberhalb der Decke, beispielsweise im Hohlraum, geht keine Raumhöhe im Keller verloren und es gibt keine Schwierigkeiten mit Installationsleitungen. Falls eine lose Schüttung vorhanden ist, kann diese ausgetauscht und mit geeignetem Dämmmaterial ersetzt werden, wenn beispielsweise ohnehin im Zuge der Renovierung der Fußbodenaufbau erneuert wird. Eventuell fallen aber Folgearbeiten, wie das Kürzen von Türen, das Anheben von Heizkörpern oder das Erhöhen von Geländern an. Wenn keine Schüttung vorhanden ist, hätte dies den Vorteil, dass der Fußboden nur minimal geöffnet bzw. aufgebohrt werden müsste und Dämmmaterial, z. B. Perlite oder granuliertes Mineralwolle, welche nachträglich in Flockenform aus kunst-harzgebundener Steinwolle hergestellt wird, in die Hohlräume eingeblasen werden kann.

Als Referenz wurde neben der Bestandssituation (Ist-Situation) die Variante 1 berechnet; diese enthält nur die Dämmung der Außenwand, keine Kellerdecken-dämmung (Abb. 107).

Variante 2: Die Dämmung der Außenwand bleibt mit 3 cm starken Calciumsilikatplatten erhalten. Die Kellerdecke wird mit Blähperlit, ca. 7 cm, zwischen den Lagerhölzern ( $\rho = 100 \text{ kg/m}^3$ ,  $\lambda = 0,06 \text{ W/(m·K)}$ ) gedämmt. Es ergibt sich eine Oberflächentemperatur in der Kante von 14,0°C und an selber Stelle hinter der Calciumsili-

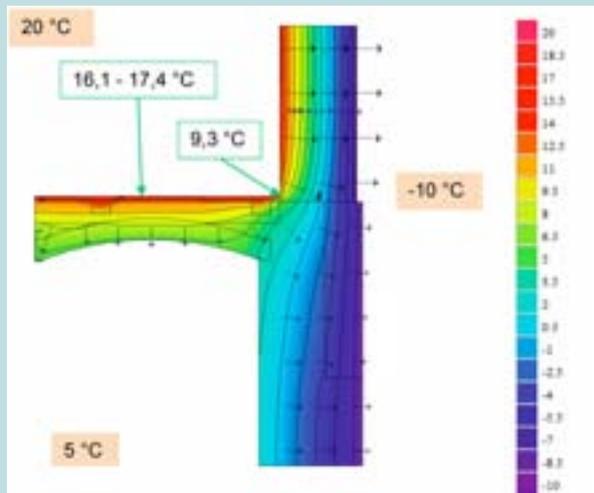


a) Schnitt (ohne Maßstab)

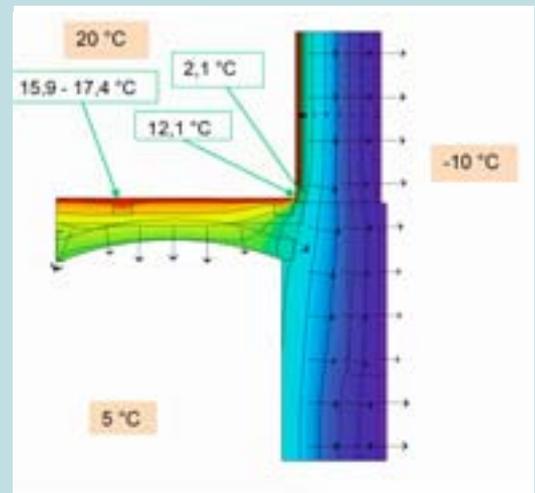
Quelle: Gemeinnütziger Bauverein Regensburg e. V.

Varianten	Ist-Zustand	3 cm Calciumsilikat-Innendämmung				8 cm Calciumsilikat-Innendämmung			
		1 ohne Dämmung der Kellerdecke mit 7 cm Perlitschüttung zw. den Lagerböden	2 mit 8 cm Mineralwolle-Dämmplatten unter der Decke	3 beide Dämmvarianten der Kellerdecke	4	5 ohne Dämmung der Kellerdecke mit 7 cm Perlitschüttung zw. den Lagerböden	6 mit 8 cm Mineralwolle-Dämmplatten unter der Decke	7 beide Dämmvarianten der Kellerdecke	8
Oberflächentemp. der Bodenkante	9,3	12,1	14,0	12,3	13,9	13,2	15,5	13,8	15,4
Oberflächentemp. der Bodenkante hinter der Dämmung		2,1	1,0	2,5	0,7	0,0	-1,5	0,0	-1,9
Temperatur am Fußboden	16,1	15,9	17,9	16,5	18,8	15,9	17,9	16,5	18,8
	17,4	17,4	18,6	19,1	19,2	17,5	18,6	19,1	19,2
Temperatur Stahlträger (oben)	7,2	7,2	6,0	15,9	12,4	7,2	6,0	15,9	12,4
Temperatur Stahlträger (unten)	5,9	5,9	5,4	15,5	12,2	5,9	5,4	15,5	12,2

b) Ergebnisse der Varianten



c) Kellerdecke und Sockelbereich im bestehenden Zustand



d) Außenwand mit 3 cm Innendämmung (Variante 1)

Abb. 107 Thermische Berechnungen für die Kellerdecke und den Sockelanschlussbereich. Die Abbildungen zeigen die Temperaturen in den Bauteilen. Die schwarzen Pfeile verdeutlichen die Wärmestromdichte durch das Bauteil.  
Quelle: Höflich, Daniel (2013)

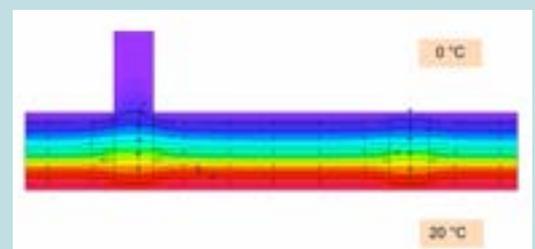
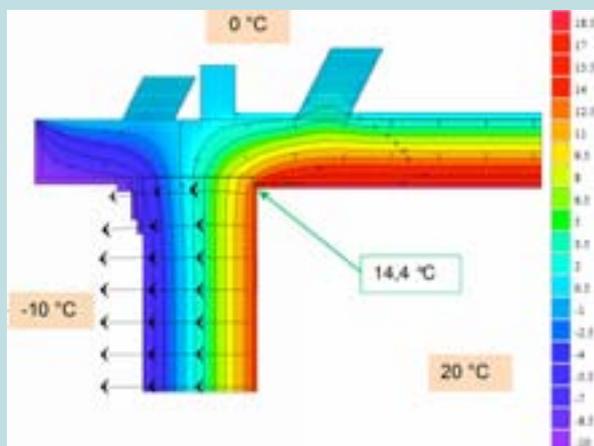


Abb. 108 Thermische Berechnungen für die oberste Geschossdecke im unsanierten Zustand; rechts quer zu den Balken, mit Durchdringung eines Balkens im stehenden Stuhl  
Quelle: Höflich, Daniel (2013)

katdämmung von 1,0 °C. Die Temperatur am Fußboden liegt zwischen 17,9 °C und 18,6 °C. Der Stahlträger hat eine Temperatur von 5,4 °C (unten) und 6,0 °C (oben).

Unter Zuhilfenahme einer zusätzlichen Tragkonstruktion oder mit biegsamen Dämmplatten können gewölbte Decken von unten gedämmt werden.

Als Variante für die Kellerdeckendämmung wurde zudem eine etwa 8 cm dicke biegsame Mineralwolle-Dämmplatte ( $\rho = 60 \text{ kg/m}^3$ ,  $\lambda = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ) betrachtet, die von unten an die Decke angebracht ist; in Variante 3 erfolgt dies anstelle der Blähperlit-Schüttung, in Variante 4 in Kombination damit. Die Ergebnisse sind in Abb. 107 b zusammengefasst.

#### 8 cm starke Calciumsilikat-Dämmung

Variante 5: Der Aufbau entspricht dem der Variante 1, allerdings mit 8 cm starker Calciumsilikat-Innendämmung. Die Temperatur beträgt 13,2 °C in der Bodenkante und 0,0 °C hinter der Calciumsilikatplatte. Die Fußbodentemperatur liegt zwischen 15,9 °C und 17,5 °C. Die Oberflächentemperaturen der Stahlträger bleiben unverändert.

Varianten 6 und 7 entsprechen den Varianten 2 und 3 mit jeweils 8 cm Innendämmung. Die resultierenden Temperaturen sind ebenfalls in Abb. 107 b zusammengestellt. Fußbodentemperatur und Stahlträgertemperatur ergeben sich wie in Variante 2 und 3.

Variante 8: Variante 4 mit 8 cm Innendämmung ergibt vor der Calciumsilikatplatte Temperaturen von 15,4 °C und -1,9 °C dahinter. Bei der Temperatur hinsichtlich der Bodenoberfläche und des Stahlträgers ändert sich nichts im Vergleich zu Variante 4.

Fazit: Alle Varianten mit der 8 cm Calciumsilikat-Innendämmung an der Außenwand liegen über 12,6 °C in der Bodenkante. Dies lässt sich mit 3 cm Dämmstärke auch erreichen, sofern dies mit einer Kellerdeckendämmung kombiniert wird, die direkt unter der Dielung liegt (Perlite-Schüttung, Varianten 2 und 4). Die Schüttung wirkt dann wie ein „Dämmkeil“, da sie mit der Innendämmplatte in Verbindung steht.

Als thermisch günstigste Lösung stellt sich eine 8 cm dicke Innendämmung mit einer 7 cm Perlit-Dämmung oberhalb der Kellerdecke zwischen den Lagerhölzern dar.

### 3.3.3 Oberste Geschossdecke

Aufgrund von diversen Wärmebrücken ist der Anschluss der obersten Geschossdecke im Traufbereich ein bauphysikalisch kritisches Detail. Abb. 108 zeigt die Temperaturverteilung (Isothermen) aus der Berech-

nung für die Bestandssituation im Plato-Wild-Ensemble (Aufbau in Tab. 18).

Über der Holzbalkendecke ist bereits eine 9 cm dicke Polystyrol-Dämmung aus Sanierungsmaßnahmen im späten 20. Jahrhundert vorhanden.

In der oberen Kante hin zum kalten Dachraum (0 °C) beträgt die Temperatur an der innenseitigen Oberfläche 14,4 °C.

#### Sanierungsvarianten

Die zwei Details wurden einerseits mit der Calciumsilikat-Dämmung an der Innenseite der Außenwand und andererseits mit einer zusätzlichen Dämmung der obersten Geschossdecke berechnet.

Die Dämmung der obersten Geschossdecke kann aus einer Dämmung zwischen den Balken, einer Dämmung auf der Geschossdecke oder aus beidem bestehen (Tab. 18).

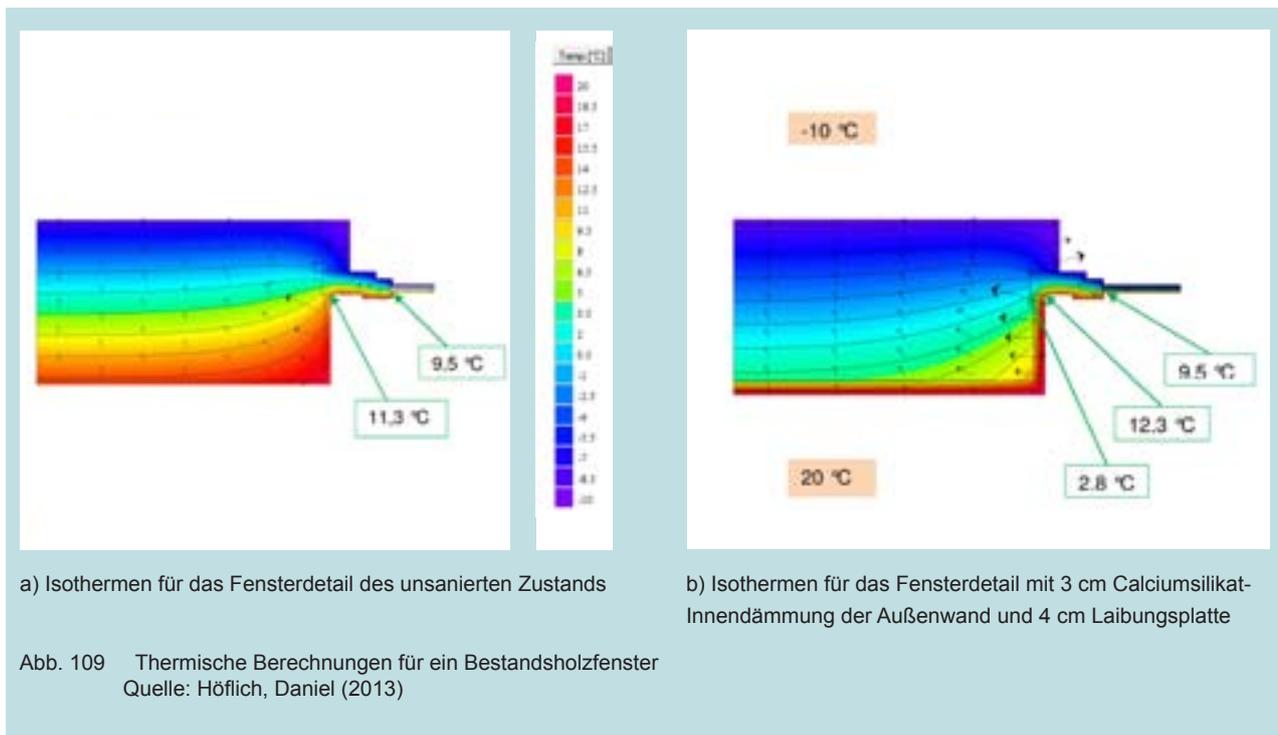
Die betrachtete Oberflächentemperatur in der Kante liegt sowohl im unsanierten Zustand als auch bei den verschiedenen Varianten immer im unkritischen Bereich. Hinter der Dämmung kommt es zu sehr niedrigen Temperaturen. Daher muss die Abdichtung am Anschluss gewährleistet sein, sonst besteht die Gefahr des Wasserdampf-Hinterströmens mit vermehrtem Tauwasserausfall. Ähnlich wie bei den Details zuvor ist auch hier 8 cm Calciumsilikat-Innendämmung, ggf. mit einer Art Dämmkeil bzw. nahtlosem Übergang zur Deckendämmung, zu empfehlen.

### 3.3.4 Fensterdetail

Im Folgenden wird ein horizontal geschnittenes Fensterdetail betrachtet. Die Fenster am Objekt Waldedorffstraße sind Holzfenster aus den 1980er-Jahren, aus Fichte mit Isolierverglasung (Tab. 19). Es wurde ein

	Rohdichte $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [W/m·K]	Dicke d [m]
<b>Außenwand (oben)</b>			
Kalkzementputz	1800	1	0,015
Vollziegel	1820	0,81	0,38
Kalkzementputz	1800	1	0,015
<b>Geschossdecke</b>			
Spanplatte	600	0,14	0,025
Luftraum	1,23	0,025	0,01
Polystyrolschaum	27	0,04	0,09
Einschiebling	500	0,13	0,02
Balken	500	0,13	0,20 x 0,135
Luftraum	1,23	0,025	0,08
Lattung	500	0,13	0,02
Schilfmatte	170	0,047	0,005
Deckenputz	1800	1,00	0,015

Tab. 18 Aufbau von Außenwand und oberster Geschossdecke im Bestand



U-Wert von  $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  angenommen.

Die Minimaltemperatur zwischen Fensterrahmen und Wand beträgt  $11,3^\circ\text{C}$ . Beim Übergang des Holzrahmens zum Fensterglas ergibt sich  $9,5^\circ\text{C}$  (Abb. 109). Damit ist die schimmelpilzkritische Temperatur unterschritten; Schimmelpilzwachstum kann an vielen Fenstern, insbesondere unter der Rauhfasertapete beobachtet werden (siehe Abb. 87).

#### Sanierungsvarianten

An einem Holzfenster mit 3 cm Calciumsilikat-Innendämmung an der Außenwand und einer 2 cm dicken Laibungsplatte steigt die Oberflächentemperatur an der Kante um ein Grad im Vergleich zur Bestandssituation, also auf  $12,3^\circ\text{C}$ . Hinter der Dämmung sind es allerdings nur  $2,8^\circ\text{C}$ . Am Übergang Holzrahmen zur Glasscheibe gibt es keine Veränderung.

Erst bei einem Einbau einer 4 cm starken Laibungsplatte steigt die Temperatur auf knapp über  $12,6^\circ\text{C}$ . Hierfür ist der verfügbare Raum zwischen Laibung und Fensterflügeln zu knapp.

Wird die Stärke der Innendämmung auf 8 cm an der Außenwandinnenfläche bei gleichbleibender Fensterlaibungsstärke von 2 cm geändert, ergibt sich eine Temperatur in der Kante am Übergang Wand zu Fensterrahmen von  $11,9^\circ\text{C}$  und hinter der Dämmung von  $1,6^\circ\text{C}$ . Durch die noch dickere Innendämmung kühlt die Ziegelwand weiter ab und an der Rahmenkante entsteht eine niedrigere Temperatur. An der Kante Glasscheibe hat man wieder  $9,5^\circ\text{C}$ .

#### Zusammenfassung

Neben einem möglichst dichten Anschluss der Dämmung ist dringend auch ein Austausch der Fenster zu empfehlen. Die Temperaturen sind nicht nur hinter der Dämmung, sondern auch an der raumseitigen Rahmenkante im kritischen Bereich. Neue Fenster weisen zudem deutlich bessere U-Werte um  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  auf.

Während sich bei nachträglicher Außendämmung durch Versatz der Fenster in die Dämmebene hinein die Wärmebrücken deutlich entschärfen lassen,<sup>100</sup> ist dies im Fall der Innendämmung nicht möglich. Hier kann nur mit der betrachteten Laibungsplatte in Verbindung mit besser gedämmten Fensterrahmen (Doppelrahmen mit Zwischendämmung) eine Verbesserung erzielt werden. Wehle und Geyer (2014)<sup>101</sup> haben Forschungen zur energetischen Sanierung historischer

100 Jehl, Wolfgang (2013): Anschluss gesucht und gefunden. Fenstermontagen in Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS). In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (5), S. 32–35

101 Wehle, Barbara; Geyer, Christoph (2014): Den Schutz verbessern, die Schönheit bewahren. Energetische Sanierung historischer Fenster. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (3.), S. 58–63.

	Rohdichte $\rho$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ]	Dicke $d$ [m]
<b>Fenster</b>			
Holzrahmen (Fichte)	500	0,13	-
Zweischeibenisoliertglas			
Floatglas	2500	1	0,004
Luftschicht	1,23	0,07	0,014
Floatglas	2500	1,00	0,004

Tab. 19 Aufbau der Fenster im Bestand

Fenster angestellt. Die Berner Fachhochschule bietet dazu in einer Projektdatenbank umfangreiche Informationen und Berechnungstools an.<sup>102</sup> Im vorliegenden Fall ist allerdings eher ein Ersatz der Holzfenster durch entstehungszeitlich typische Sprossenfenster vorzunehmen.

### 3.3.5 Holzbalkendecke (mit Sockelheizung)

Abschließend sollen nun detaillierte thermische Untersuchungen der Wärmebrücke im Anschlussbereich der Holzbalkendecken an den Außenwänden diskutiert werden (Gering 2014).<sup>103</sup> Hierbei sollen vor allem die Auswirkungen auf die Temperatur der Balkenköpfe diskutiert werden, die in Abhängigkeit des Heizsystems, der Materialeigenschaft und Detailausführung sehr unterschiedlich sein können. Aus Temperaturfeld, Wärmestrom und Wärmebrückenkoeffizienten können Schlussfolgerungen über Tauwasser- und Schimmelrisiken auf den Bauteiloberflächen getroffen werden.

Neben der Ausgangssituation wird insbesondere der Einfluss einer Wandheizung im Sockelbereich betrachtet. Diese soll einerseits als Raumheizung dienen, andererseits unkritische Temperaturen im Bereich der Holzbalkenköpfe im Mauerwerk sicherstellen.

#### Randbedingungen

Für die durchgeführten Simulationen gelten die in DIN EN ISO 10211 spezifizierten Randbedingungen: Raumlufttemperatur 20 °C, Außenluft –5 °C. Die Materialparameter sind in Tab. 20 aufgeführt.

Abb. 110 a und b zeigen die Modellstruktur mit den zugehörigen Parametern. In den Materialschnittflächen findet kein Wärmeaustausch statt, deshalb wird hier eine adiabatische Randbedingung ( $q = 0$ ) festgelegt. Die kritischen Temperaturen am Balkenkopf werden mit T1 und T2 gekennzeichnet. Die Position für den ungünstigsten  $f_{Rsi}$ -Wert (siehe Abb. 110), also den Ort mit der niedrigsten Oberflächentemperatur, wird mit T3 markiert.

Abb. 110 a stellt die Struktur und das Ergebnis für die unsanierte Bestandssituation dar (Struktur A). Der

<sup>102</sup> Im Internet: <http://www.bfh.ch/forschung/projektdatenbank.html>; <https://projektdatenbank.bfh.ch/search/pdbwebview-detail.aspx?lang=de&projectid=5a5e0d40-c99c-4261-bf65-8eb0c66713aa&instId=3898707e-4722-4b93-9c06-c0a2784a7ab1> (zuletzt geprüft am 12.11.2014).

<sup>103</sup> Gering, Stefan (2014): Thermische Detailsimulationen in der Bestandssanierung. Bachelorarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.

Temperaturfaktor von  $f_{Rsi} = 0,65$  (unter 0,7) im Bestand signalisiert ein hohes Schimmelpilzrisiko mit einer Oberflächentemperatur unter 12,6 °C. Die Bestandskonstruktion weist am Balkenkopf (T1 und T2) eine Temperatur um 2 °C auf. Wärme aus dem Rauminnen strömt zur Außenseite und erwärmt dabei die Mauerwerkswand. Der Holzbalkenkopf ist von einem 2 cm dicken Luftspalt umgeben, der bis ins Rauminnere reicht und dort auf eine Breite von 0,5 cm schrumpft. Der Luftspalt wirkt wärmedämmend und trennt den Punkt T1 vom Mauerwerk ab, sodass die Wärme hauptsächlich durch das schlechter leitende Holz dorthin gelangt, während T2 von der direkten Umgebung des besser wärmeleitenden Mauerwerks auf etwas höherer Temperatur gehalten wird.

Dagegen zeigt Abb. 110 b die Situation mit einer 8 cm dicken Calciumsilikat-Innendämmung (Wärmeleitfähigkeit 0,055 W/(m·K), Struktur B). Hier kühlt die dahinter liegende Wand deutlich ab. Im Vergleich zur Ausgangssituation fällt die Temperatur am Balkenkopf in den negativen Bereich und liegt an T1 und T2 bei einem nahezu gleichen Wert von –1,85 °C. Dies liegt an dem deutlich höheren Wärmedurchlasswiderstand der Innendämmung, die dem Mauerwerk vorgelagert ist, sodass die Wärme zu den Punkten T1 und T2 einen vergleichbaren Widerstand durchläuft. Schimmelpilzbildung an der raumseitigen Oberfläche ist bei dieser Konstruktion unwahrscheinlich, da  $f_{Rsi}$  mit 0,76 (bzw. die Oberflächentemperatur mit 14,1 °C) am kältesten

Material	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [W/m·K]
Kalkzementputz (innen und außen)	1,000
Mauerwerk	0,810
Holzterrazzo (Kalkzement/Holz)	0,570
Lattung (Holz)	0,130
Schalung (Holz)	0,130
Schilfmatte	0,055
Kalkputz (Decke)	0,080
Luftschichten	0,110
Klebmortel (für CaSiO <sub>3</sub> -Dämmung)	0,920
Calciumsilikat (CaSiO <sub>3</sub> )	0,055
Armierungsmörtel (für CaSiO <sub>3</sub> )	0,570
Compriband (PU)	0,054
Hanf-Filz	0,047

Tab. 20 Materialparameter für die Detailberechnung  
Quelle: Gering, Stefan (2014)

Punkt T3 im unkritischen Bereich liegt.

Eine Modifikation im Anschluss der Dämmung zeigt Abb. 110 c (Struktur C). Hier ist die Dämmung direkt bis zum Holzbalken (bzw. um ihn herum) geführt. Dadurch wird die Dämmung im Bereich der Balkendurchdringung nochmals erhöht und niedrigere Balkenkopftemperaturen sind zu erwarten. Vorteilhaft ist, dass der  $f_{Rsi}$ -Wert auf 0,83 steigt (höhere Oberflächentemperatur von 15,8 °C an der kältesten Stelle).

#### Integration einer Sockelheizung

Der möglicherweise schädliche Einfluss einer Innendämmung auf die Holzbalkenköpfe wird mit vermehrter Holzfeuchte infolge der niedrigeren Temperaturen am Balkenkopf und entsprechend erhöhter Luftfeuchte in Verbindung gebracht. Umfangreiche Studien haben dieses Thema behandelt und werden im Kapitel E (Architektonische Modernisierung) diskutiert.

Um eine grundsätzliche Erhöhung der Temperatur am Holzbalkenkopf zu erzielen, wurde ein Sockelheizungskonzept untersucht, das im Sockelbereich in die Innendämmung integriert wird. Genauere thermische Simulationen der Temperaturverhältnisse und Erfahrungswerte von Herstellern derartiger Systeme ergaben als sinnvolle Annahme eine Oberflächentemperatur von ca. 35 °C hinter dem Heizelement. Mit dieser Oberflächentemperatur wurde die Wandoberfläche im Sockelbereich belegt.

#### „Coanda-Effekt“

Mit einer Sockelwandheizung gelten für die raumseitigen Oberflächen besondere Randbedingungen. Da der Raum direkt von der Wand beheizt wird (nicht durch die Luft), rechnet man ohne den sonst üblichen Wärmeübergangswiderstand  $R_{si}$ . Für die freie Wandfläche kann man von einer durch den Luftauftrieb erzeugten gleichmäßigen Temperatur von 20 °C ausgehen (nach Großschmidt<sup>104</sup> gelegentlich als „Coanda-Effekt“ bezeichnet; Camuffo (1991)<sup>105</sup> hat sich mit diesen wandnahen Auftriebsströmungen befasst und behauptet, dass bereits kleine Temperaturunterschiede zur Raumluft von 0,1 bis 1,0 Kelvin diese wandnahe Grenzschicht deutlich beeinflussen).

Abb. 111 zeigt die Ergebnisse für zwei Varianten:

104 Großschmidt, Henning (2004): Das temperierte Haus. Sanierte Architektur – Behagliche Räume – „Großvitrine“. Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (BLFD). Wien (Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn, 9).

105 Camuffo, D. (1991): Wall Temperature and the Soiling of Murals. In: Museum Management and Curatorship (10), S. 373ff.

In Variante 1 (Struktur D) ist die Innendämmung nur im Sockelbereich über ca. 24 cm unterbrochen. Dadurch kann eine deutliche Anhebung der Balkenkopf-Temperatur am Ort T2 (mit Temperaturen von ca. 0 °C (im Vergleich zu fast 8 °C an der Stelle T1) nicht sicher erreicht werden.

Als Alternative wurde bei Variante 2 (Struktur E) die Innendämmung auch im Deckenbereich des darunterliegenden Geschosses über ca. 20 cm geöffnet. Dies führt zwar zum gewünschten Effekt, die Temperatur am Ort T2 liegt nun bei knapp 3 °C, ähnlich der Bestandssituation ohne Dämmung.

Schimmelpilzprobleme sind mit Sockelheizung deutlich weniger wahrscheinlich, weil sich auch bei geöffneter Dämmung unterhalb der Geschossdecke ein Stau der warmen Luft einstellt, der die Wand gleichmäßig temperiert.

Mit Blick auf andere Studien<sup>106, 107, 108</sup> kann das Risiko für den Balkenkopf bei einem offenen, nicht dampfdicht ausgeführten Dämmungsanschluss als moderat betrachtet werden, sofern die Balkenkopf-Temperaturen den Wert für den unsanierten Zustand nicht unterschreiten.

Um die Sicherheit der Balkenköpfe mit Innendämmung noch detaillierter zu überprüfen, werden im nächsten Abschnitt hygrothermische Jahressimulationen diskutiert. Diese berücksichtigen den diffusiven und kapillaren Feuchtetransport in den Bauteilen und erlauben eine differenziertere Beurteilung der Feuchtrisiken als eine rein thermische Betrachtung.

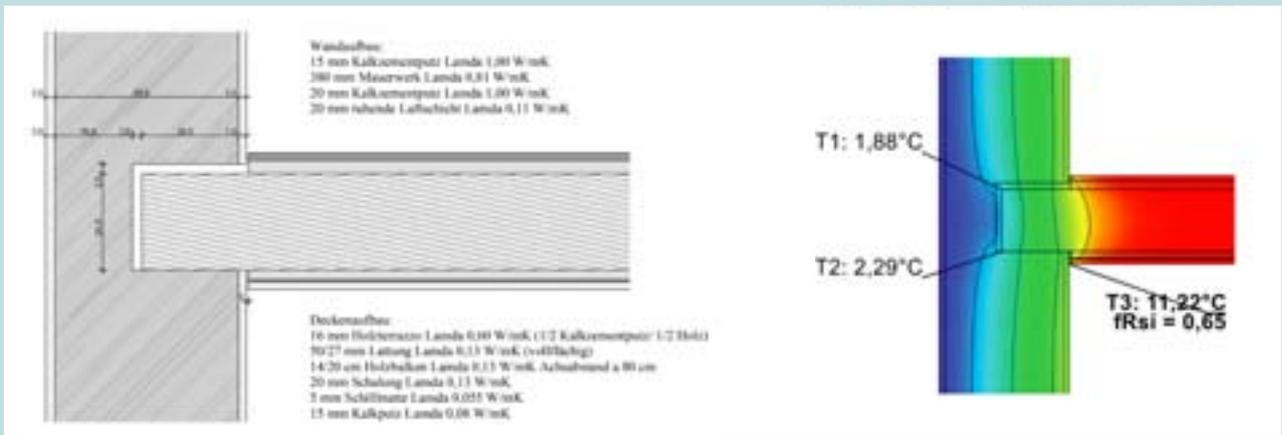
#### Abschließende Wärmeschutzbewertung der Varianten

Die zusätzlichen Wärmeverluste durch die Wärmebrücke, welche zunächst durch die einbindende Holzbalkendecke entsteht, aber auch durch die partiell geöffnete Innendämmung, kann durch einen Wärmebrückenkoeffizienten  $\psi$  beschrieben werden. Dieser charakterisiert den zusätzlichen Wärmestrom durch ein Bauteil, das durch eine Wärmebrücke „gestört“ ist. Bezeichnet man den U-Wert des ungestörten Regelbauteils mit  $U_0$ , so ergibt sich für ein gestörtes Bauteil

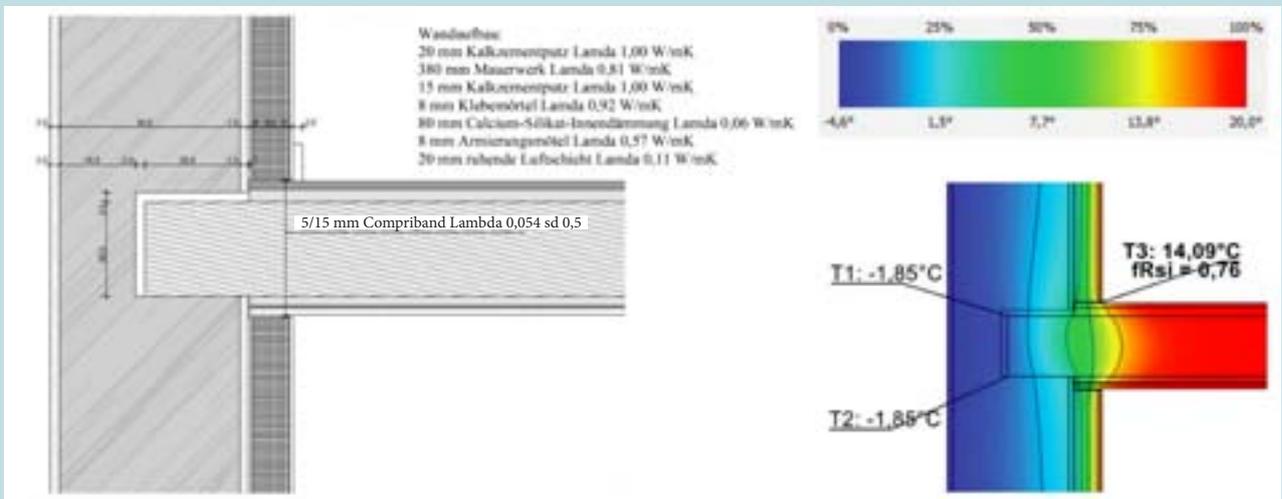
106 Ruisinger, Ulrich (2011): Risikofaktor Balkenkopf? Holzbalkendecken und die Innendämmung. In: Holzbau (1); ISSN 1612-104X (1), S. 18–22.

107 Kehl, Daniel (2012): Holzbalkenköpfe im Mauerwerk. Stand der Erkenntnisse. In: Holzbau Quadriga (6), S. 40–44.

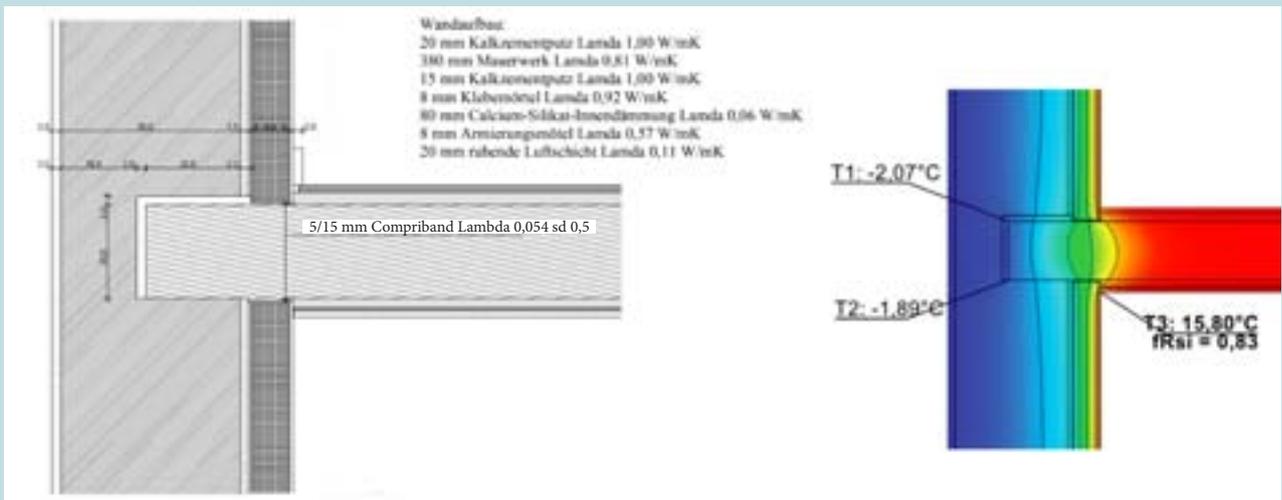
108 Krus, Martin; Silberhorn, Oswald; Kilian, Ralf; Kratzmeier, Matthias (2013): Innovative Innendämmung im Denkmalschutz. Energetische Sanierung des Augsburger Landesamts für Finanzen – Simulation und messtechnische Begleitung. In: Bausubstanz (1), S. 24–33.



a) Wand- und Holzdeckenaufbau im Bestand (ohne Sanierung) – Struktur A



b) Wand- und Holzdeckenaufbau mit 8 cm Calciumsilikat-Innendämmung – Struktur B



c) Wand- und Holzdeckenaufbau mit 8 cm Calciumsilikat-Innendämmung, Dämmung bis zum Holzbalken herangeführt – Struktur C

Abb. 110 Thermische Berechnungen für den Anschluss der Holzbalkendecke an der Außenwand  
 Quelle: Gering, Stefan (2014)

bei einer in der Fläche A über die Strecke L laufenden linearen Wärmebrücke der gemittelte U-Wert

$$U_{av} = U_0 + \psi L/A .$$

$\psi$  in der Einheit  $W/(m \cdot K)$  gibt den zusätzlichen Wärmeverlust (in  $W/K$ ) je laufenden Meter der Wärmebrücke an. Bei einer Lufttemperaturdifferenz  $\Theta_i - \Theta_e$  hat dieser Wärmeverlust den Wert  $\psi(\Theta_i - \Theta_e)L$ . Der Koeffizient kann auch negativ sein, was bedeutet, dass die Störung im Bauteil zu einem geringeren Wärmeverlust führt. Die Störung wirkt in diesem Fall als Hindernis für den Wärmestrom. Das ist gerade auch bei der Holzbalkendecke im Bestand und bei kleinen Dämmstärken der Fall.

Graupensberger (2014)<sup>109</sup> hat den Einfluss unterschiedlicher Dämmstärken und Ausführungsvarianten auf den Wärmebrückenkoeffizienten und den mittleren U-Wert untersucht. Daraus ergibt sich trotz der Öffnung der Innendämmung im Balkenkopfbereich eine Verbesserung des U-Werts von etwa  $1,5 W/(m^2 \cdot K)$  im Bestand auf ca.  $0,75 W/(m^2 \cdot K)$  mit 8 cm Innendämmung (ca. 50 % Reduktion, vgl. Tab. 21). Bei genauer Betrachtung erkennt man, dass die Öffnung der Innendämmung im Bereich der Sockelheizung (und unter Berücksichtigung der dort höheren Oberflächentemperatur) knapp 30 % höhere Wärmeverluste bewirkt. Eine Öffnung der Dämmung unterhalb der Decke führt zu mehr als 50 % höheren Verlusten.

Kritische Betrachtung der berechneten Transmissionswärmeverluste bei geöffneter Innendämmung

Die hier gezeigten Berechnungen berücksichtigen nicht den Effekt einer möglicherweise deutlich geringeren Mauerwerksfeuchte durch höhere Wandtemperaturen. Die damit verbundene Reduktion der Wärmeleitfähigkeit des Ziegelmaterials kann die tatsächlichen Transmissionsverluste signifikant verringern. Dieser Effekt ist im Vergleich zwischen geöffneter und vollflächiger Innendämmung nicht einbezogen.

Eine Studie des Instituts für Wirtschaftsforschung Halle (IWH)<sup>110</sup> beziffert auf der Basis von Verbrauchswerten für 2,6 Millionen Wohnungen in rund 257.000 Mehrfamilienhäusern einen durchschnittlichen Energieverbrauch in Deutschland von jährlich  $138 kWh/m^2$ . Die Werte der IWH variieren je nach Region zwischen

<sup>109</sup> Graupensberger, Mario (2014): Untersuchung eines Sockelheizungssystems bei der energetischen Sanierung von Altbauten. Bachelorarbeit. OTH Regensburg

<sup>110</sup> Michelsen, Claus; Müller-Michelsen, Silke (2010): Energieeffizienz im Altbau: Werden die Sanierungspotenziale überschätzt? Ergebnisse auf Grundlage des ista-IWH-Energieeffizienzindex. (Studie IWH Halle). In: Wirtschaft im Wandel (9), S. 447–455.

101 kWh und 172 kWh. Dagegen schätzt Kleemann (2004)<sup>111</sup> den Energiebedarf von Mehrfamilienhäusern der Nachkriegszeit noch auf rund  $260 kWh/m^2$ . Für die überraschend niedrigeren Werte sind die zu erwartenden Einsparungen bei nachträglicher Dämmung entsprechend vorsichtiger anzusetzen. So variiert die prozentuale Einsparung nach einer Sanierung bei Gebäuden der 1960er-Jahre zwischen 20 % (kleine Mehrfamilienhäuser) und 40 % (große Mehrfamilienhäuser). Für ältere Gebäude (Baualtersklasse bis 1918) liegen die ermittelten Einsparpotenziale nur zwischen 10 % und 15%. Dies widerspricht der häufig verbreiteten Aussage, dass im Altbaubestand durchschnittliche Einsparungen von rund 50 % erreicht werden können. Die Autoren schließen, dass die Sanierungskostenfunktionen für Gebäude aus verschiedenen Epochen unterschiedlich sind und sich dies auf das betriebswirtschaftlich optimale Sanierungsniveau auswirkt.

Insofern sind die hier betrachteten Innendämmkonzepte nur teilweise dem Ziel, die Transmissionsverluste zu verringern, verpflichtet, sondern sollen vor allem eine Verbesserung der Wohnbehaglichkeit und Wohnhygiene sicherstellen.

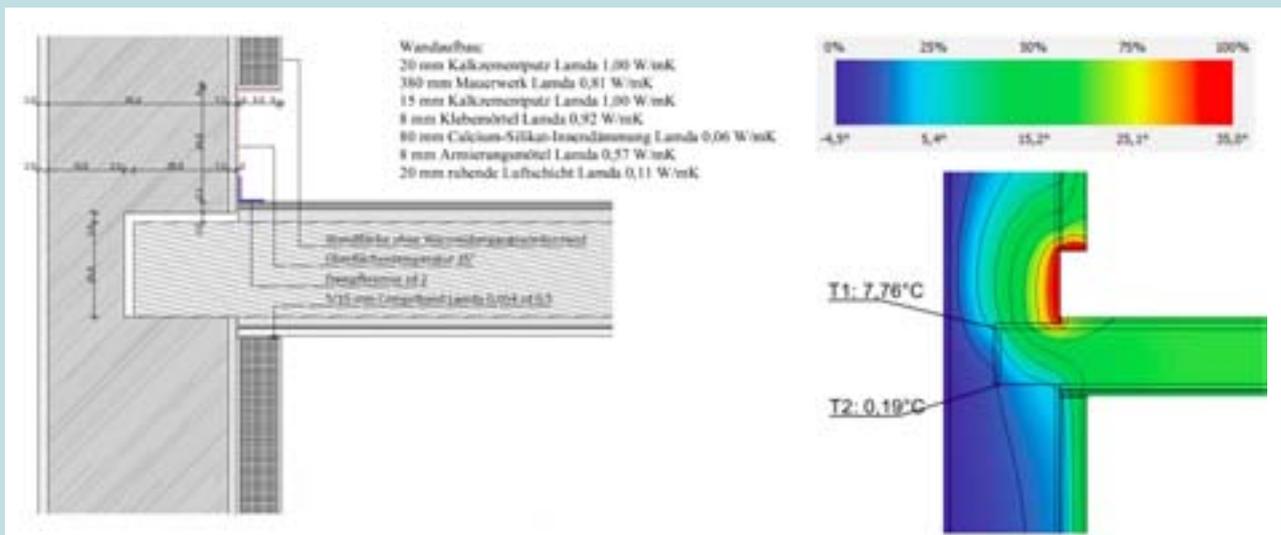
### 3.4 Hygrothermische Simulationen

Die bisher dargestellten thermischen Berechnungen liefern nur Aussagen für einen stationären Zustand. Um Ergebnisse zu erhalten, die auch instationäre Vorgänge wie Erwärmung, Abkühlung, Wasseraufnahme und Trocknung beinhalten sowie den Feuchtetransport, muss das hygrothermische Verhalten des Systems über einen längeren Zeitraum betrachtet werden. Da thermische und hygrische Eigenschaften eines Baustoffs voneinander abhängen, werden diese gekoppelt in der hygrothermischen Simulation untersucht.

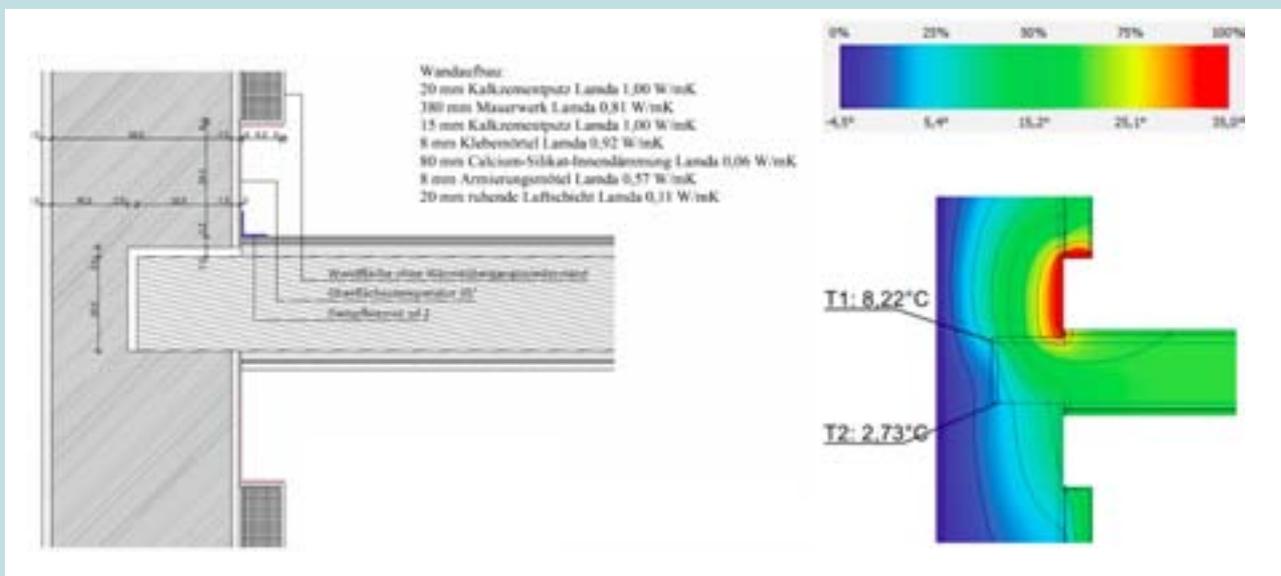
Zur Beurteilung des Feuchteschutzes einer Konstruktion bedient man sich üblicherweise des Glaser-Verfahrens nach DIN 4108 (siehe 3.2). Allerdings werden dort die Kapillarität und die Sorptionsfähigkeit eines Bauteils nicht berücksichtigt. Schließlich arbeitet das Verfahren nur mit stationären Randbedingungen und kann weder Strahlungs- noch Schlagregeneinflüsse berücksichtigen.

Für komplexere Simulationen, die auch den Kapillarwassertransport beinhalten, eignet sich die am

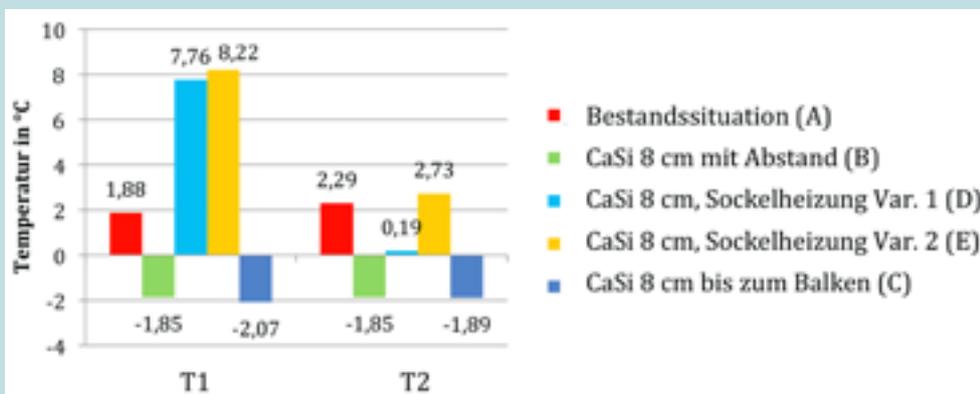
<sup>111</sup> Kleemann, M. (20) The Residential Building Sector – Potentials and Constraints of CO<sub>2</sub> Mitigation, In: Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energietechnik (2004), Bd. 32, S. 115-131.



a) Wand- und Holzdeckenaufbau mit Sockelheizung und unterbrochener Innendämmung (Variante 1) – Struktur D



b) Wand- und Holzdeckenaufbau mit Sockelheizung und beidseitiger Unterbrechung der Innendämmung (Variante 2) – Struktur E



c) Vergleich der Temperatur am Balkenkopf (Position T1 und T2) für verschiedene Konstruktionsvarianten (A bis E)

Abb. 111 Thermische Berechnungen für den Anschluss der Holzbalkendecke an der Außenwand  
Quelle: Gering, Stefan (2014)

Variante	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	$\Psi$ [W/m·K]	$U_{av}$ [W/m <sup>2</sup> K]
<b>Schnitt durch den Balken</b>			
<b>Bestandssituation (ohne Dämmung)</b>	1,429	-0,022	1,421
CaSi 3 cm		-0,135	1,043
CaSi 3 cm Sockelheizung	1,088	-0,135	1,043
CaSi 8 cm		0,026	0,480
CaSi 8 cm Sockelheizung		0,405	0,606
CaSi 8 cm Sockelheizung, Innendämmung geöffnet unter Decke	0,471	0,766	0,726
<b>Schnitt zwischen den Balken</b>			
<b>Bestandssituation (ohne Dämmung)</b>	1,494	-0,114	1,457
CaSi 3 cm		-0,061	1,067
CaSi 3 cm Sockelheizung	1,088	-0,061	1,067
CaSi 8 cm		0,061	0,491
CaSi 8 cm Sockelheizung		0,490	0,634
CaSi 8 cm Sockelheizung, Innendämmung geöffnet unter Decke	0,471	0,866	0,760

Tab. 21  $U_0$ -Werte, Wärmebrückenkoeffizienten und mittlere  $U_{av}$ -Werte für verschiedene Varianten der Innendämmung (Dämmstärke 3 bzw. 8 cm; Sockelheizung mit/ohne Öffnung der Innendämmung unterhalb der Decke). Die thermischen Berechnungen wurden für einen Schnitt durch den Balken (wie in Abb. 110 gezeigt) und für einen Schnitt zwischen den Balken durchgeführt.

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Fraunhofer IBP) entwickelte Software WUFI®2D.<sup>112</sup> Zur Berechnung werden natürliche Klimabedingungen herangezogen, wodurch realistisches Bauteilverhalten unter Witterungseinflüssen untersucht werden kann.

### 3.4.1 Sockelheizung mit Innendämmung

Von Gering (2014)<sup>113</sup> wurde dieses Berechnungstool eingesetzt, um die Auswirkungen möglicher Sanierungsmaßnahmen für das Plato-Wild-Ensemble in Bezug auf Tauwassergefahr und Feuchtegehalt von Holzbalkenköpfen zu bewerten. Unter Berücksichtigung der wichtigsten Einflussfaktoren kann auf diese Weise eine optimale Detailausbildung in der Sanierung entwickelt werden. Dabei beruht ein Konzept auf der bereits thermisch untersuchten Sockelheizung („Konvektor“).

#### Randbedingungen

Für das Außenklima werden die meteorologischen Wetterdaten der Stadt München herangezogen (Abb. 112 links oben). Das Innenraumklima ist nach WTA-

<sup>112</sup> Künzel, Hartwig (1994): Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation. Stuttgart: Universität Stuttgart. Internet (IBP): <http://www.wufi.de>.

<sup>113</sup> Gering, Stefan (2014): Thermische Detailsimulationen in der Bestandssanierung. Bachelorarbeit. OTH Regensburg.

Merkblatt 6-2-01<sup>114</sup> der Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA) mit normaler Feuchtelast definiert. Der Temperaturverlauf schwankt nach der Funktion einer Sinuskurve mit einer Amplitude von 1 °C, wobei das Maximum von 22 °C am 3. Juni eines Jahres erreicht wird. Bei der Luftfeuchtigkeit geht man von 50 % relativer Feuchte aus, die ebenfalls als Sinuskurve mit einer Amplitude von 10 % dargestellt wird. Das Maximum stellt sich am 16. August ein und beträgt 60 % relative Luftfeuchte (Abb. 112 rechts oben).

Im Heizbereich setzen wir die Wandtemperatur auf einen Wert von 35 °C, was näherungsweise der benötigten Heizleistung für eine Sockelheizung mit 8 cm Innendämmung entspricht (siehe Kapitel G).

Die Heiztemperatur erreicht im Winter ein Maximum von 35 °C und sinkt im Sommer auf 22 °C ab (näherungsweise wieder als Sinuskurve mit einer Amplitude von 6,5 K um den Mittelwert 28,5 °C modelliert). Die relative Feuchte im Bereich der Sockelheizung steigt mit Abnahme der Heiztemperatur und schwankt mit einer Amplitude von 20 % zwischen 57 % sowie 17 % relativer Luftfeuchte (Abb. 112 rechts unten). Letztere wird aus der durch die WTA-Randbedingungen vorgegebenen Raumluftfeuchte ermittelt: Bei gleichem Wasserdampf-Partialdruck verhalten sich die relativen Feuchten an verschiedenen Orten im Raum umgekehrt proportional wie die temperaturabhängigen Sättigungsdampfdrücke. Somit kann für jeden einzelnen Tag über ein Jahr verteilt die Temperatur und relative Feuchte am Konvektor berechnet werden. Diese Daten werden in WUFI als Randbedingung für den Heizbereich eingegeben.

Die Materialdaten für die hygrothermischen Berechnungen sind in Abb. 113 zusammengefasst. Die Kenndaten beinhalten neben der freien Wassersättigung (Wassergehalt bei 100 % Oberflächenfeuchte) insbesondere die Koeffizienten, die beschreiben, wie sich die Wärmeleitfähigkeit des Materials mit wachsendem Feuchtegehalt und mit der Temperatur in Masseprozent (M.-%) verändert. In WUFI sind diese Parameter Bestimmungsgrößen für Modellkurven, die das Verhalten der Bauteile und veränderlichen Feuchte- und Temperaturbedingungen beschreiben.

#### Kritische Holzfeuchte

Für den Schimmelpilzbefall muss die relative Luft-

<sup>114</sup> Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse (2006). Endgültige Fassung: Mai 2002. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (WTA-Merkblatt, 6-2-01/D).

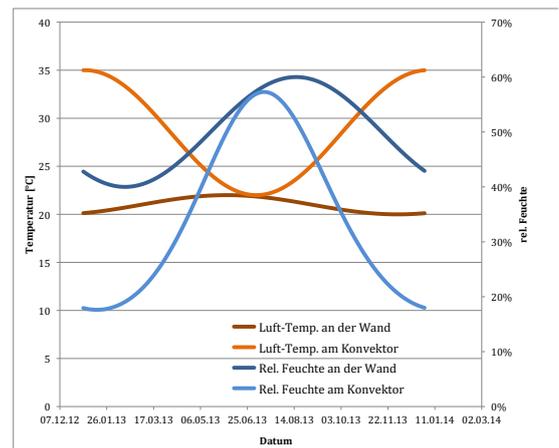
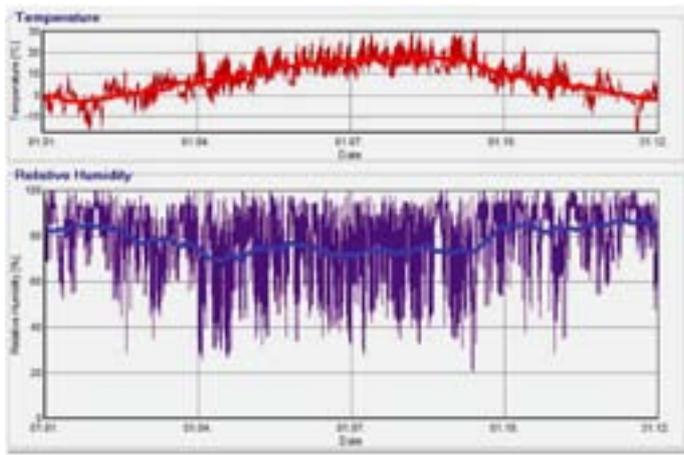


Abb. 112 Außenklima nach WTA-Merkblatt 6-2-01 (links) und Standard-Innenklima (hier Wandtemperatur und Oberflächenfeuchte; rechts oben); Modell für die Oberflächentemperatur und -feuchte im Sockelheizungsbereich (Konvektor; rechts unten)

Material	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Porosität [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	Wärmeleitfähigkeit [W/m·K]	spezifische Wärmekapazität [J/kg·K]	Diffusionswiderstandszahl [-]	Bezugsfeuchte [kg/m <sup>2</sup> ]	freie Wassersättigung [kg/m <sup>3</sup> ]	Feuchte-Koeff. Wärmeleitf. [%/M·%]	Temp.-Koeff. Wärmeleitf. [W/m·K <sup>2</sup> ]	Einbaufeuchte [kg/m <sup>3</sup> ]
Kalkzementputz (innen und außen)	1800	0,240	1,000	850	19	45	210	8	0,0002	210
Mauerwerk	1820	0,310	0,810	850	15	4,5	230	15	0,0002	100
Holzterrazzo (Kalkzement/Holz)	1150	0,490	0,570	1175	12	72	290	4,7	0,0002	154
Lattung (Holz)	500	0,730	0,130	1500	4,3	98	370	1,3	0,0002	98
Holzbalken	500	0,730	0,130	1500	4,3	98	370	1,3	0,0002	98
Schalung (Holz)	500	0,730	0,130	1500	4,3	98	370	1,3	0,0002	98
Schilfmatte	70	0,950	0,055	2500	1,5	-	-	1	0,0002	12
Mineralschaum	90	0,900	0,042	1300	2	1,16	66	-	0,0001	1,16
Calciumsilikat	270	0,900	0,055	920	3,23	4,76	850	-	0,0002	4,76
Kalkputz	1800	0,300	0,080	850	7	30	250	8	0,0002	250
Luftsichten	1,3	0,990	0,110	1000	0,56	-	-	-	-	-
Klebemörtel (MiSa)	1400	0,500	0,440	100	38	44;54	163	-	0,0002	163
Klebemörtel (CaSi)	1400	0,500	0,920	100	38	44,54	163	-	0,002	163
Hanf-Filz	170	0,800	0,047	2300	1	-	-	-	-	-
Compriband (PU)	40	0,950	0,054	1500	0,5	-	-	-	0,0002	0
Armierungsmörtel (MiSa)	1500	0,500	0,930	850	10	45	210	8	0,0002	210
Armierungsmörtel (CaSi)	1500	0,500	0,570	850	10	45	210	8	0,0002	210
Dampfbremse (s <sub>d</sub> = 2 m)	130	0,001	2,300	2300	2000	-	-	-	0,0002	0
Innenfarbe	1100	0,120	0,700	850	40	2,9	120	8	0,0002	120
Außenfarbe	1100	0,120	0,700	850	50	2,9	100	8	0,002	100

Abb. 113 Wärme- und Feuchtekenndaten für die verwendeten Materialien in der hygrothermischen Simulation (Gering, 2014)

feuchte auf Bauteiloberflächen über einen längeren Zeitraum (über ca. vier Wochen) mindestens 80% betragen, bevor es zu Schimmelpilzbildung kommt. Aber auch im Inneren einer Konstruktion können ungünstige Feuchtebedingungen die Bausubstanz schädigen. Manche holzerstörende Pilze werden erst ab einer bestimmten Temperatur aktiv. Übersteigt der Wassergehalt 20 M.-% über einen längeren Zeitraum, können sich holzerstörende Pilze entfalten und die Holzkonstruktion gefährden. Allerdings ist der Wassergehalt nicht das einzige Kriterium. Laut Kehl (2012)<sup>115</sup> kommt es auf die Kombination von Temperatur und relativer Luftfeuchte an. Abb. 114 zeigt nach Kehl die Grenzkurve für den Holzabbau in Abhängigkeit von Temperatur und der relativen Luftfeuchte. Diese Kurve lässt sich über die Sorptionsisotherme auf die Holzfeuchte übertragen. Die Sorptionsisotherme gibt die Ausgleichsfeuchte bei einer vorherrschenden Oberflä-

chenluftfeuchte und Temperatur an.

#### Situation im Bestand

Ausgehend von typischen Baustofffeuchten muss die numerische Simulation über einen längeren Zeitraum ablaufen, bevor sich zeitlich periodische Feuchtegehaltskurven einstellen. Dies entspricht der auch in der Praxis beobachteten Austrocknungszeit eines zunächst feuchten Mauerwerks, wobei die in der Simulation angesetzten Ausgangswerte hier keine praktische Bedeutung haben.

Es wurde eine Simulationsdauer von elf Jahren gewählt, von welcher nur das letzte Jahr (vom 1. Januar 2024 bis 1. Januar 2025) betrachtet wurde. Damit ist sichergestellt, dass sich der Feuchtegehalt in der Konstruktion eingependelt hat. Abb. 115 illustriert diesen Trocknungsverlauf.

<sup>115</sup> Kehl, Daniel (2012): Holzbalkenköpfe im Mauerwerk. Stand der Erkenntnisse. In: Holzbau Quadriga (6), S. 40–44.

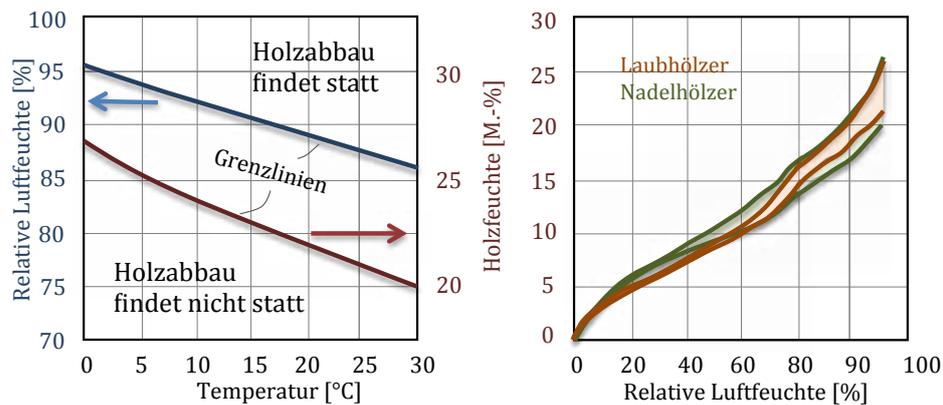


Abb. 114 Links: Kritische Luftfeuchte und Holzfeuchte für Schimmelpilzbildung und Fäulnis nach Kehl (2012). Rechts: Gleichgewichts-Feuchtegehalt von Holz und Holzwerkstoffen in Abhängigkeit von der Umgebungsluftfeuchte (Sorptionsisotherme) für Laub- und Nadelhölzer (Quelle: Kießl, Kurt; Möller, U. (1989): Zur Berechnung des Feuchteverhaltens von Bauteilen aus Holz und Holzwerkstoffen. In: Holz als Roh- und Werkstoff, 47).

Abb. 116 a zeigt den zeitlichen Verlauf von Temperatur, Baustofffeuchtegehalt (in M.-%) und relativer Luftfeuchte an vier Vergleichspositionen im Holzbalken.

Die kritischen Positionen 1 und 2 weisen nahezu identische Temperaturen (T1 und T2) auf; im Winter liegen diese bei ca.  $-2^{\circ}\text{C}$ , im Sommer bei bis zu  $25^{\circ}\text{C}$ .

Der Feuchtegehalt schwankt zwischen 17% und 22% (T1) bzw. 16% und 18%. Der Unterschied erklärt sich aus der Umgebung der beiden Punkte: Position 1 liegt an der Balkenoberkante und ist von Luft umgeben, während Punkt 2 an der Unterkante direkt ans Mauerwerk angrenzt. Dadurch wird die relative Feuchte und die Baustofffeuchte an Position 2 vom Mauerwerk gepuffert; die Amplituden um das ganzjährige Mittel von ca. 17% sind hier nur etwa halb so groß wie am Punkt 1. Dies begründet auch die Beobachtung, dass der maximale Wassergehalt an Position 1 bereits im Hochwinter auftritt (schnellere Reaktion auf die veränderten Umgebungsbedingungen), während Position 2 diesen erst etwas später im Jahr erreicht.

Der Temperaturverlauf am Balkenkopf wird von den äußerlichen Wetterbedingungen beeinflusst und ähnelt dem in der Simulation verwendeten Münchener

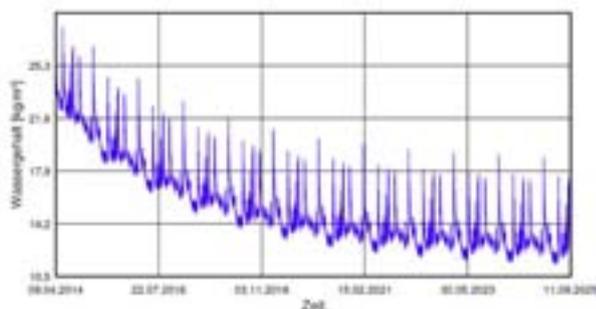


Abb. 115 Mittlerer Wassergehalt (in  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) der Wandkonstruktion im unsanierten Bestand im Verlauf der Simulation  
Quelle: Gering (2014)

Wetterprofil. Höhere Temperaturen im Sommer bewirken eine höhere Wasseraufnahmefähigkeit der Luft, wodurch die relative Feuchte bei gleichbleibender Wassermenge in der Luft sinkt.

Die Punkte 3 und 4 (Abb. 116 b) liegen in der Konstruktion sehr nah am Rauminnern und weisen kleinere Amplituden im Verlauf der Temperatur, der relativen Feuchte und des örtlichen Wassergehalts auf. An Position 4 sind die klimatischen Änderungen kaum mehr erkennbar, da im Rauminnern nahezu konstante Klimabedingungen herrschen.

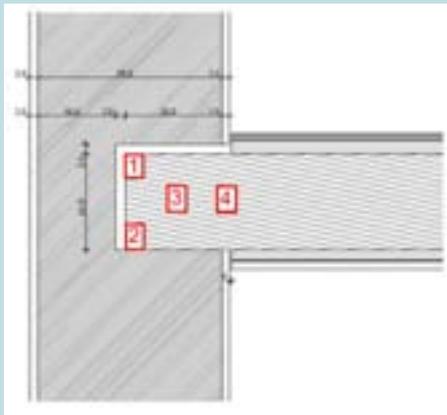
Die Werte für die kritische Position 1 liegen über einen längeren Zeitraum über 80% relativer Feuchte und 20% Wassergehalt. Im selben Zeitraum nimmt die Temperatur Werte zwischen  $-2^{\circ}\text{C}$  und  $17^{\circ}\text{C}$  an. Nach Kehl (2012)<sup>116</sup> (siehe Abb. 114) würde diese Situation bereits zu einem Holzabbau am Balkenkopf führen. Die Bestandsanalyse (soweit örtlich zugänglich) zeigt jedoch typische Feuchtegehaltswerte unter 15% auf. Somit scheinen die Werte für den Wassergehalt zu hoch zu sein.

#### Einfluss des Außenanstrichs

Ursache für den hohen Wassergehalt in der Simulation kann das Fehlen einer außenseitigen hydrophoben Oberflächenbeschichtung (Farbanstrich) sein. Durch Schlagregen, der in der Simulation berücksichtigt wird, kommt es zu einer starken Wasseraufnahme.

Daher wird nun in der Simulation ein außenseitiger 1 mm dicker wasserabweisender Farbanstrich hinzugefügt. Damit geht der Wassergehalt an Position 1 um ca. 7 Prozentpunkte zurück. Ein innenseitiger Farbanstrich hat dagegen keine nennenswerte Auswirkung auf das Ergebnis. Somit lässt sich festhalten, dass die hohe Feuchtebelastung von außen kommen muss.

<sup>116</sup> Kehl, Daniel (2012): Holzbalkenköpfe im Mauerwerk. Stand der Erkenntnisse. In: Holzbau Quadriga (6), S. 40–44.



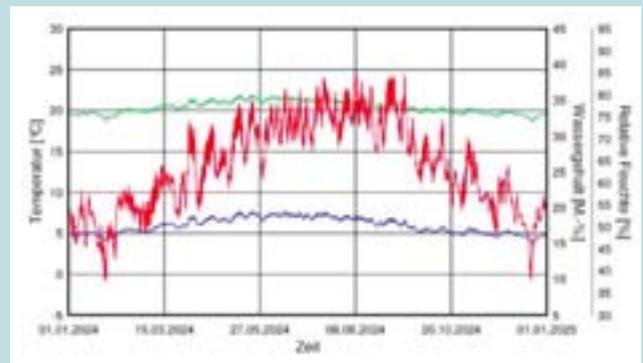
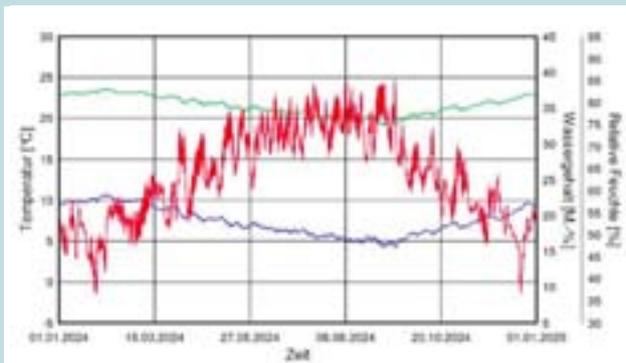
Hygrothermische Simulation für die Bestandssituation  
(Südseite)

Einfluss des Außenanstrichs auf den Feuchteintrag ins Mauerwerk

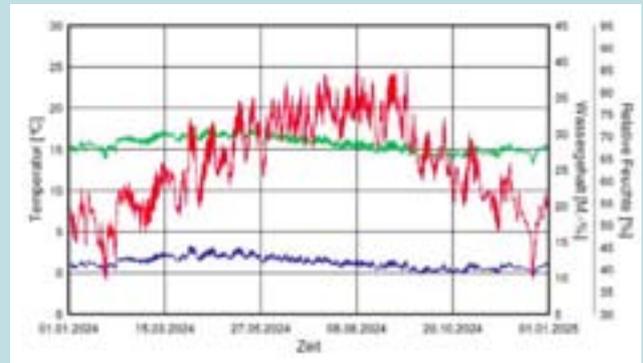
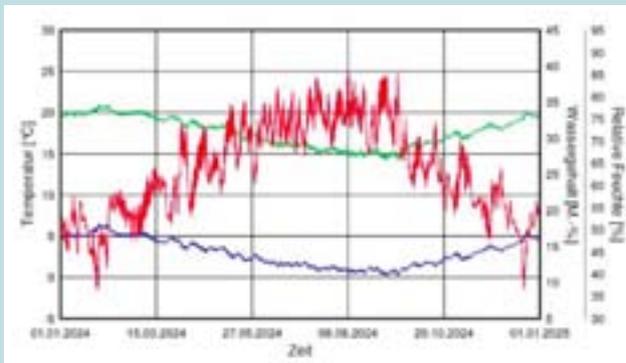
Relative Luftfeuchte (in %)

Temperatur (in °C)

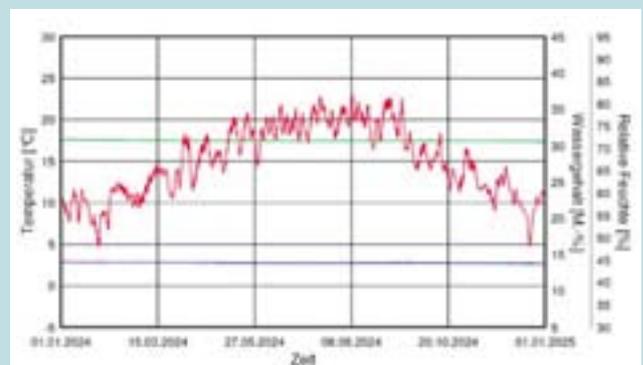
Wassergehalt (in M.-%)



a) Position 1 und 2 an Südseite, ohne Außenfarbe



b) Position 1 und 2 an Südseite, mit Außenfarbe



c) Position 3 und 4 an Südseite

Abb. 116 Zeitlicher Verlauf von Temperatur, örtlichem Baustoffwassergehalt und relativer Luftfeuchte an vier Vergleichsstellen im Holzbalken für die Witterungseinflüsse an einer Südfassade  
Quelle: Gering, Stefan (2014)

D

Mit Farbanstrich wird der kritische Wassergehalt von 20 % nicht erreicht, weshalb auch kein Schadensrisiko besteht.

In den folgenden Untersuchungen wurde stets mit einem beidseitigen Farbanstrich gerechnet.

#### Einfluss der Himmelsrichtung

Die Feuchtelasten auf die Fassade sind je nach Himmelsrichtung unterschiedlich. Wir verdeutlichen diesen Effekt am Beispiel der Struktur D (geöffnete Innendämmung mit Sockelheizung).

In Abb. 117 ist der Verlauf von Temperatur, relativer Feuchte und Wassergehalt am kritischen Punkt 2 für die vier Himmelsrichtungen dargestellt. Die Temperatur schwankt in allen Fällen zwischen  $-5^{\circ}\text{C}$  und  $24^{\circ}\text{C}$ . Durch die Innendämmung kühlen die Balkenköpfe etwas stärker ab. (Zum Vergleich: Im unsanierten Zustand beträgt die tiefste Temperatur etwa  $-2^{\circ}\text{C}$ .)

Süd- und Ostseite zeigen sehr ähnliche Ergebnisse. Das selbe gilt für Nord- und Westseite im Vergleich.

An der Südseite fällt der Wassergehalt höher aus als in der Ausgangssituation. Bei der Nord- und Westausrichtung werden an Position 2 Werte von ca. 24 % erreicht. Auf der Nord- und Westseite herrschen ähnliche Bedingungen, was Schlagregen und Windbedingungen anbelangt. Da die Nordseite nur diffuse Sonnenstrahlung empfängt und dadurch der Trocknungsprozess gebremst wird, ist diese Ausrichtung als die ungünstigste anzusehen.

Infolgedessen werden alle weiteren Simulationen mit Nordausrichtung durchgeführt.

Nach Klärung der äußeren Einflussfaktoren wenden wir uns daher den konstruktiven Detailvarianten zu.

Die Strukturvariante E (Sockelheizung mit unterseitig geöffneter Innendämmung) weist an Position 2 im Winter deutlich höhere Temperaturen auf als Struktur D, ähnlich dem unsanierten Zustand. Entsprechend bleibt der Wassergehalt im Holzbalken stets unter 15 %. An Position 1 (in der Nähe der Sockelheizung) ist die Holzfeuchte sogar niedriger als im Bestand. Die lokale Erwärmung der Wand wirkt sich somit positiv auf den Wassergehalt im Holz aus (Abb. 118).

Die hygrothermische Simulation belegt somit die Schlussfolgerung aus den thermischen Rechnungen, dass Strukturvariante E als optimal gelten kann.

Dies gilt insbesondere deshalb, weil sich in weiteren Simulationen herausgestellt hat, dass die dampfdichte Ausführung des Anschlussdetails in der Fußbodenleiste keinen Einfluss auf die Holzfeuchte hat (Gering 2014).<sup>117</sup> Damit entfällt ein Risikofaktor, der durch unsachgemäße bzw. fehlerhaften Einbau der Innendämmung entsteht, wenn ein dampfdichter Anschluss gefordert ist.

#### Betrachtungen zum Kapillarwassertransport

Um den Unterschied zwischen kapillaraktiven Dämmstoffen und nichtkapillaraktiven zu verdeutlichen, zeigt Abb. 119 einen direkten Vergleich der Holzfeuchte für eine vollflächige Innendämmung (Struktur B) mit Calciumsilikat und Mineralschaum im Vergleich.

Bei der vollflächigen Dämmvariante erhält man deutliche Differenzen zwischen der Calciumsilikat- und der Mineralschaumdämmung. Die Werte für den Wassergehalt und die relative Feuchte liegen bei Mineralschaum teilweise um 6 Prozentpunkte höher als bei Calciumsilikat. Die Holzfeuchte beträgt bei vollflächiger Mineralschaumdämmung im Jahresverlauf an Position 1 bis zu 27 %, auch an Position 2 werden Werte bis 24 % erreicht.

Eine kapillaraktive Innendämmung stellt also eine essenzielle Verbesserung der Feuchtesituation dar.

Neben der Kapillaraktivität und dem hohen pH-Wert (schimmelpilzbekämpfendes alkalisches Milieu) hat Calciumsilikat als Innendämmmaterial den Vorteil, nicht brennbar zu sein (Baustoffklasse A1).

### 3.4.2 Weitere hygrothermische Detailberechnungen

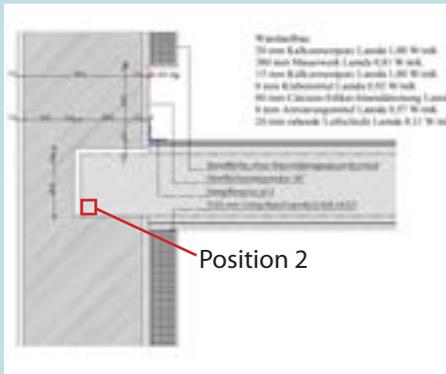
Für die bereits in Abschnitt 2.3 behandelten Konstruktionsdetails wurden von Höflich (2013)<sup>118</sup> ebenfalls hygrothermische Simulationen durchgeführt.

#### Außenwand mit einbindender Innenwand

Wir betrachten die Temperatur und relative Luftfeuchte im Bereich der Wandkante und in einem ungestörten Bereich der Außenwand.

<sup>117</sup> Gering, Stefan (2014): Thermische Detailsimulationen in der Bestandssanierung. Bachelorarbeit. OTH Regensburg.

<sup>118</sup> Höflich, Daniel (2013): Thermische Berechnungen und hygrothermische Detail-Simulationen für eine Gebäudemodernisierung mit kapillaraktiver Innendämmung. Masterarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.



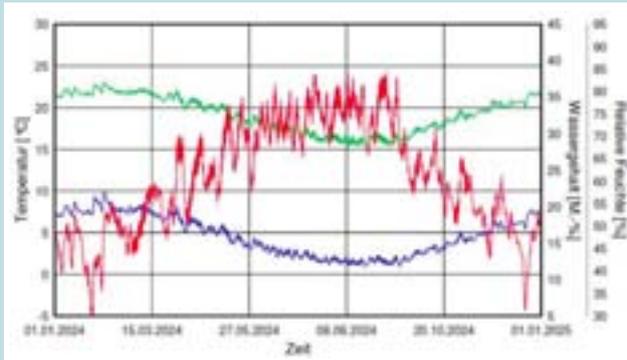
Hygrothermische Simulation für die Struktur D (Sockelheizung)

Einfluss der Himmelsrichtung auf den Feuchteeintrag ins Mauerwerk

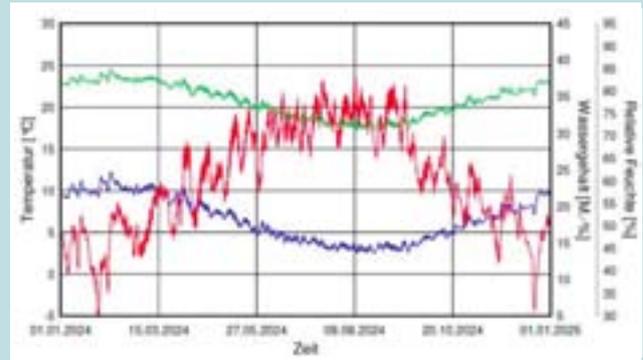
Relative Luftfeuchte (in %)

Temperatur (in °C)

Wassergehalt (in M.-%)

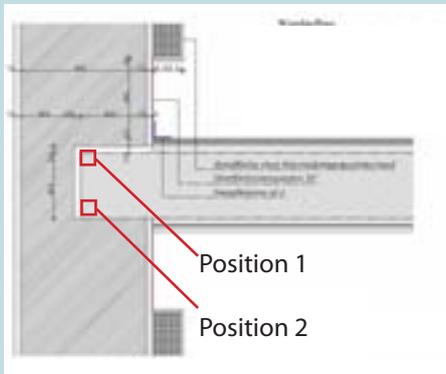


a) Süd/Ost



b) Nord/West

Abb. 117 Zeitlicher Verlauf von Temperatur, örtlichem Baustoffwassergehalt und relativer Luftfeuchte an der kritischen Balkenkopf-Position 2 für die vier Himmelsrichtungen in Strukturvariante D (Sockelheizung)



Hygrothermische Simulation für die Struktur E (Nordfassade)

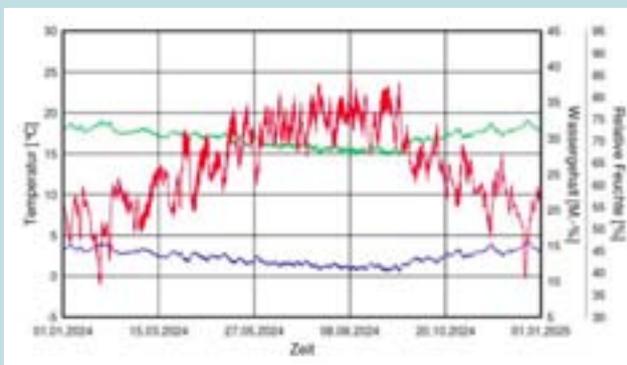
Sockelheizung

Einfluss der Öffnung der Innendämmung unterhalb der Balkendecke

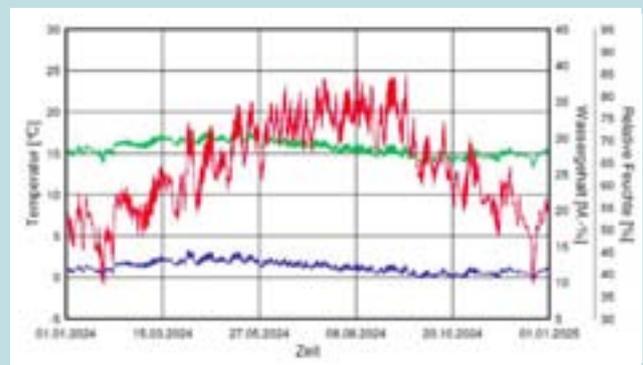
Relative Luftfeuchte (in %)

Temperatur (in °C)

Wassergehalt (in M.-%)



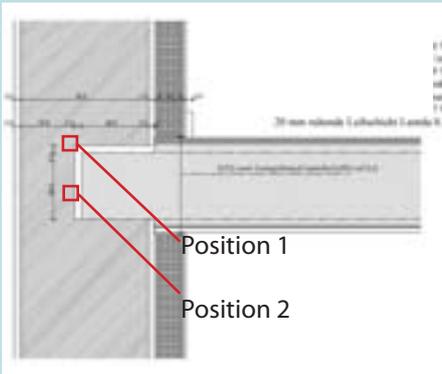
a) Position 1



b) Position 2

Abb. 118 Zeitlicher Verlauf von Temperatur, örtlichem Baustoffwassergehalt und relativer Luftfeuchte an den Positionen 1 und 2 für die Strukturvariante E (Sockelheizung mit unterseitiger Öffnung der Dämmung)  
Quelle: Gering, Stefan (2014)

D



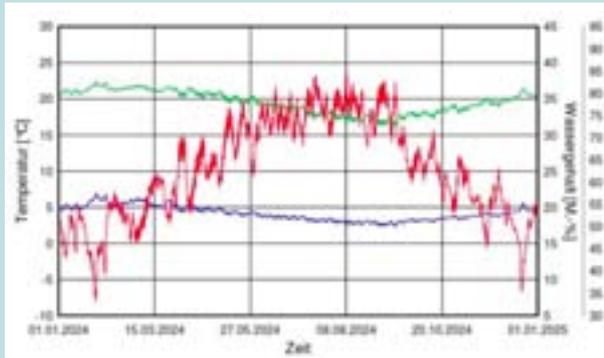
### Hygrothermische Simulation für die Struktur B (Nordfassade)

Vollflächige Innendämmung  
Vergleich von Calciumsilikat (kapillaraktiv) mit Mineralschaum

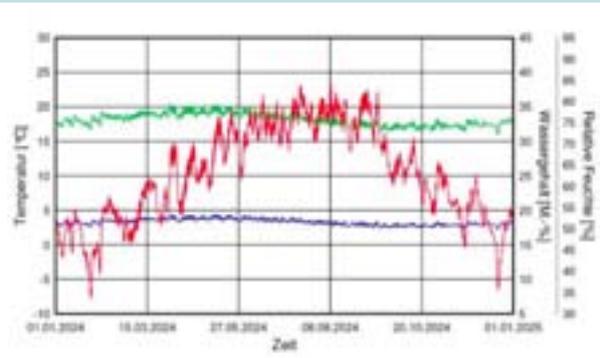
Relative Luftfeuchte (in %)

Temperatur (in °C)

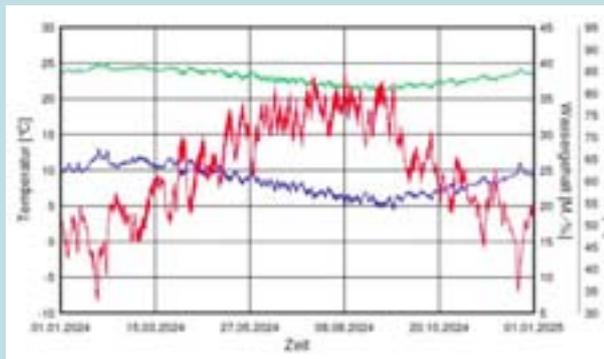
Wassergehalt (in M.-%)



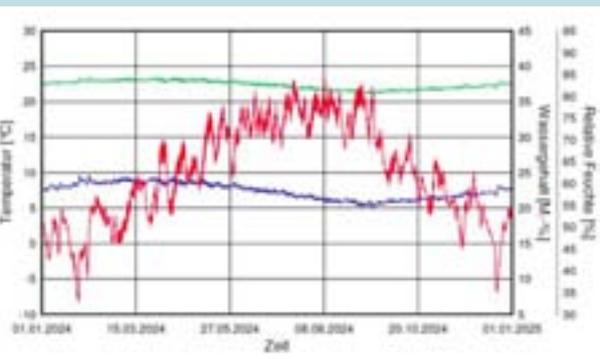
a) Calciumsilikat-Dämmung, Position 1



b) Calciumsilikat-Dämmung, Position 2



c) Mineralschaum-Dämmung, Position 1



d) Mineralschaum-Dämmung, Position 2

Abb. 119 Zeitlicher Verlauf von Temperatur, örtlichem Baustoffwassergehalt und relativer Luftfeuchte für verschiedene Dämmstoffvarianten in Strukturvariante B (vollflächige Innendämmung).

Quelle: Gering, Stefan (2014)

Im unsanierten Zustand erhält man für eine Innenluftfeuchtigkeit von 50% bei 20°C in der Kante aufgrund der dort geringfügig höheren Temperatur (Stoßstelle der Innenwand) eine etwas niedrigere Oberflächenfeuchte als im ungestörten Außenwandbereich mit Werten unter 70%. Die durchgeführten Langzeitmessungen (vgl. Abb. 90) zeigen jedoch, dass die tatsächliche Raumluftfeuchte in der Realität um 60% liegt, mit Spitzenwerten an die 100%, ausgelöst durch Kochaktivitäten und andere Haushaltsvorgänge. Somit kann in der Realität die Oberflächenfeuchte auch längerfristig 80% und mehr erreichen.

Der örtliche Wassergehalt an der raumseitigen Oberfläche liegt zwischen 28 und 35 kg/m<sup>3</sup> und unterscheidet sich in Kante und Wandfläche wenig.

Mit einer 8 cm Innendämmung aus Calciumsilikat ändert sich die Situation dramatisch: Der oberflächennahe Feuchtegehalt der Wand sinkt im ungestörten Bereich nahezu auf null, die Dämmung saugt die Feuchtigkeit auf und leitet sie nach innen weiter. Dies führt auch zu einer entsprechend niedrigeren Luftfeuchte im oberflächennahen Bereich (hygroskopische Wirkung). Hinter der Dämmung (vor dem Kleber zur Befestigung der Calciumsilikatplatten) liegt der Wassergehalt zwischen 35 und 55 kg/m<sup>3</sup>, im Bereich der Kante nur zwischen 35 und 40 kg/m<sup>3</sup>. Der Unterschied liegt an der

Wärmebrücke durch die einbindende Innenwand. Die relative Feuchte erreicht im Winter Werte bis 90 % (kein Tauwasser!), im Bereich der Wandkante sogar nur 75 %.

Im Winter gelangt die Raumluftfeuchte in die Calciumsilikat-Innendämmung, die viel Feuchte aufnehmen kann, ihr Feuchtegehalt steigt. Der Kleber der Innendämmung stellt einen Diffusionswiderstand dar, im Gegensatz zur diffusionsoffenen Calciumsilikatplatte. Somit wirkt der Kleber als Dampfbremse und verhindert, dass Wasser hinter dem Kleber in der Wand ausfällt. Dies wird begünstigt durch die Verwendung eines Klebers mit hoher Wärmeleitfähigkeit.

#### Kellerdecke

Der Verlauf der relativen Feuchte bzw. des Wassergehalts in der Bodenkante entspricht der örtlichen Temperatur. In der raumseitigen Bodenkante steigt die rel. Feuchte nur im unsanierten Zustand auf über 80% und bleibt sonst bei ca. 70% für die Varianten mit Dämmung. Hinter der Dämmung liegt die rel. Feuchte bei allen Details der Kellerdecke bei ca. 90%. Hier sind die Bedingungen des Schimmelpilzwachstums gegeben. Tauwasser entsteht jedoch auf der kalten Seite der Dämmung noch nicht. Ein Hinterströmen der Innendämmung mit Raumluft sollte ausgeschlossen werden, damit keine warme, feuchte Raumluft mit Sporen und Nährstoffen hinter die Dämmung gelangen kann.

#### Oberste Geschossdecke

Sowohl im unsanierten Zustand als auch bei den verschiedenen Dämmvarianten steigt die relative Feuchte in der Deckenkante im Innenputz an der Oberfläche nie über 70%. Damit kann an der Außenwandoberfläche Schimmelpilzwachstum und Tauwasseranfall ausgeschlossen werden.

Hinter der Dämmung liegt die relative Feuchte bei allen Dämmvarianten bei maximal 78% in der Deckenkante in der Kleberschicht. Es entsteht auch hier kein Schimmel bzw. Tauwasser. Allgemein sind eine sorgfältige handwerkliche Ausführung und vollflächige Verklebung der Innendämmung notwendig, damit keine warme Raumluft hinter die Dämmung gelangen kann.

### 3.5 Alternativen zur Innendämmung

Neben Calciumsilikat als Innendämmung werden für Gebäude mit architektonisch wertvollen, gegliederten Fassaden auch innovative Außendämmsysteme entwi-

ckelt. Hier ist insbesondere die einem klassischen Wärmedämmputz ähnliche, jedoch um ein Vielfaches stärker dämmende Aerogel-Technologie zu nennen. Diese Baustoffe weisen Wärmeleitfähigkeiten im Bereich von 0,004 bis 0,030 W/(m·K) auf.<sup>119</sup>

In einer Studienarbeit von Melzl, Puff und Wittmann (2013)<sup>120</sup> wurden die drei Dämmsysteme im Detail für das Plato-Wild-Ensemble gegenübergestellt. Tab. 22 zeigt einen Vergleich des Aerogel-Dämmputzes mit der gängigen styroporbasierten Außendämmung aus expandiertem und extrudiertem Polystyrol (EPS/XPS) und Calciumsilikat als Innendämmung, basierend auf Informationen der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (Stahl 2012).<sup>121</sup>

Ursprünglich wurden Aerogele als Hochtemperatur-Isolationsstoffe in der Weltraumtechnik eingesetzt. Neben den Silica-Aerogelen gibt es noch Aerogele, welche auf Kohlenstoff- oder Kunststoffbasis basieren, sowie die Hybrid-Aerogele. In der Dämmbranche werden jedoch wegen ihrer hoch wärmeisolierenden Eigenschaften die Silica-Aerogele verwendet.<sup>122</sup> Aerogel-Dämmvliese (Polyester-Glasfaser in Aerogel getränkt) sowie Aerogel-Dämmplatten und Aerogel-Granulat sind schon seit einigen Jahren erhältlich.

Insbesondere bei denkmalgeschützten Gebäuden sollen Fenstergesimse, Rundbögen, Vorsprünge und Fachwerke objektgetreu erhalten bleiben. Genau aus diesen Gründen gewinnen Wärmedämmputze nach Gänßmantel (2013)<sup>123</sup> seit einigen Jahren immer mehr an Bedeutung, erlauben sie doch „neben einer rationalen Verarbeitung den hohlraumfreien Verbund mit der Bestandsoberfläche und auch bei dünneren Schichtdicken eine spürbare Verringerung von Transmissionswärmeverlusten.“ Laut EMPA sind Aerogel-Putze „doppelt so gut isolierend“ wie die heute am Markt üblichen

119 Lide, D. R., ed. (2005): CRC Handbook of Chemistry and Physics (86th ed.). Boca Raton (FL): CRC Press. Section 12, S. 227.

120 Puff, Simone; Melzl, Andreas; Wittmann, Ines (2013): Nachhaltige Dämmkonzepte. Studienarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.

121 Stahl, Thomas (2010): Neuer Hochleistungsdämmputz an der Empa entwickelt (MM-Aerogel-Dämmputz). Aerogel-Dämmputz isoliert historische Bauten einfach und wirksam. Hg. v. Empa – Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (<http://www.empa.ch>).

122 Radtke, Lorenz (2013): Aerogele & Giessen. Hg. v. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR). Online verfügbar unter: [http://www.dlr.de/mp/desktopdefault.aspx/tabid-1801/2559\\_read-3939/](http://www.dlr.de/mp/desktopdefault.aspx/tabid-1801/2559_read-3939/), zuletzt geprüft am 17.07.2013.

123 Gänßmantel, Jürgen (2013): Es muss nicht immer Platte sein. Marktübersicht Wärmedämmputze. In: Bauen im Bestand B+B (Bauenschutz und Bausanierung) (2), S. 44–55.

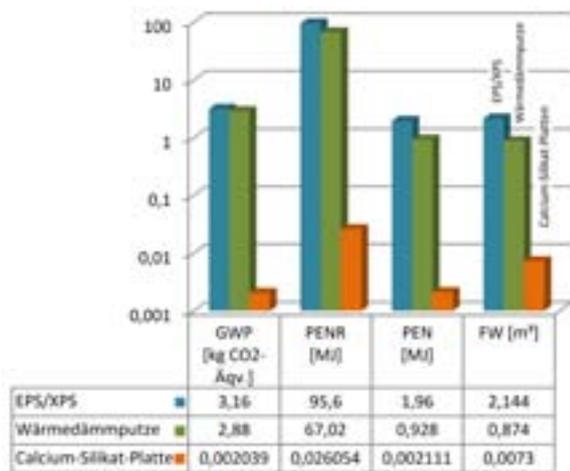


Abb. 120 Vergleich der Ökobilanzdaten der Dämmstoffe (bezogen auf 1 kg Dämmstoff) nach Ökobaudat 2013 (nach Puff, Simone; Melzl, Andreas; Wittmann, Ines, 2013)

#### Wärmedämmputze.<sup>124</sup>

Aerogel besteht zu 99% aus Luft. Aerogele werden mit verschiedenen energieintensiven Verfahren hergestellt. Die Quelle für den Ausgangsstoff Kieselsäure ist Sand, der beinahe unbegrenzt zur Verfügung steht. Die Herstellung von SiO<sub>2</sub>-Aerogelen (Silica-Aerogele) erfolgt im Sol-Gel-Prozess.<sup>125</sup> Hierbei wird zunächst Tetramethyloxysilan in Methanol gelöst. Nach Zugabe von Wasser findet eine Hydrolyse- und Kondensationsreaktion statt. Die Porenflüssigkeit besteht nun hauptsächlich aus dem Lösungsmittel. Nach der Gelierung wird das Material in einem Autoklav bei hoher Temperatur und hohem Druck getrocknet, wobei unter Beibehaltung des Volumens Luftporen mit Durchmessern von ca. 20 Nanometern entstehen.<sup>126</sup> Luftbewegungen (Konvektion) im Inneren werden dadurch unterbunden. Dies führt zu einem hohen Wärmedämmvermögen und geringer Masse. Mit einer speziellen Putzmaschine aufgetragen, lässt sich der Putz innen und außen anwenden und bis zu einer Dicke von 6 cm oberflächengetreu auftragen. Er ist wasserdampfdurchlässig und wasserabweisend.

Für Aerogel-Dämmstoffe kann noch keine Prognose über die Entsorgung aufgestellt werden. Untersuchun-

<sup>124</sup> Hartmeier, Severin; Stahl, Thomas (2012): Neuer Dämmputz mit hervorragenden Isolationswerten. Weltraumtechnik für Altbauwände. an der Empa entwickelt (MM-Aerogel-Dämmputz). Hg. v. Empa – Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (<http://www.empa.ch>).

<sup>125</sup> Kistler, Samuel Stephens (1931): Coherent expanded aerogels and jellies. In: Nature. Bd. 127 (1931), S. 741.

<sup>126</sup> Hüsing, Nicola (1998): Aerogele – Luftige Materialien: Chemie, Struktur und Eigenschaften. In: [onlinelibrary.wiley.com](http://onlinelibrary.wiley.com) (Hg.): Angewandte Chemie, Bd. 110, S. 22–47.

gen legen jedoch nahe, dass sich Nanopartikel bei thermischer Behandlung zu Mikro- und Makrostrukturen umwandeln und somit ihre spezifischen toxischen Eigenschaften verlieren. Daher kommt für die Entsorgung mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Hochtemperaturverbrennung infrage. Für Aussagen über die Risiken von Nanoprodukten für den Menschen fehlen noch Langzeiterfahrungen; es kann jedoch bei der Montage des Putzes zu Reizungen der Schleimhäute kommen.<sup>127</sup>

Auf Grundlage von Daten der Ökobau-Datenbank<sup>128</sup> des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit wurde ein Vergleich der drei Dämmvarianten für das Treibhaus-Potenzial (GWP) in CO<sub>2</sub>-Äquivalenzmengen, für den Primärenergieverbrauch aus erneuerbaren (PEN) und nicht erneuerbaren (fossilen) Energiequellen (PENR) und der Wasserbedarf (FW) für die Herstellung angestellt (siehe Abb. 120). Daraus geht hervor, dass die Calciumsilikatplatten in allen Bereichen den sparsamsten Prozess aufweisen. Am schlechtesten schneidet Styropor ab, welches beispielsweise einen etwa doppelt so hohen Verbrauch an erneuerbaren Energien aufweist wie typische Wärmedämmputze (hier gehen noch nicht die Spezifika des Aerogel-Putzes ein) und einen um etwa 930-mal größeren Wert als die Calciumsilikatplatten. Auch hinsichtlich Wasserbedarf schneidet diese Lösung mit großen Abstand am besten ab.

Der Primärenergieverbrauch wurde auf die Größe des Plato-Wild-Ensembles hochgerechnet. Eine Beurteilung mit einem angestrebten U-Wert von ca. 0,50 W/(m<sup>2</sup>·K) anstelle des vorhandenen von ca. 1,4 W/(m<sup>2</sup>·K) im unsanierten Zustand über eine Nutzungsdauer von 40 Jahren ist in Tab. 23 zusammengefasst. Dabei wurden die Kriterien Primärenergiebedarf (im Herstellungsprozess bzw. für die Erneuerung nach Ablauf der Lebensdauer), Investitionskosten (Material und Montage) und die Recyclingfähigkeit betrachtet. Hier zeigt sich die hohe Bedeutung der Weiterverwendung und -verwertung. Eine lange Lebensdauer und Nutzungsphase können die ökologische Gesamtbilanz der Dämmstoffe entscheidend verbessern. Dieser Aspekt ist besonders bei Naturdämmstoffen hervorzuheben (als Alternative zur Styropordämmung). Wie Diehl et al. (2012)<sup>129</sup> darstellen, sind diese alternativen Dämm-

<sup>127</sup> Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS): Wecobis. Ökologisches Baustoffinformationszentrum, zuletzt geprüft am 03.06.2013.

<sup>128</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU) (Hg.): Datenbank ÖKOBAUDAT. Online verfügbar unter: <http://oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat.html>, zuletzt geprüft am 28.11.2014.

<sup>129</sup> Diehl, Klaus; Quast, Norbert; Welteke-Fabrizius, Uwe (2012): Wie ökonomisch ist die ökologische Alternative? In: Bauen im Bestand

Dämmstoffe im Vergleich	Aerogel-Putz	Styropor-Dämmplatten	Calciumsilikat-Dämmplatten
Einsatz als...	Außendämmung	Außendämmung	Innendämmung
Wärmeleitfähigkeit [W/(m K)]	0,028	0,035	0,059
Diffusionswiderstandszahl	4 bis 5	20	2,5
Brandstoffklasse	nicht entzündlich	B1, schwer entflammbar	A1, nicht brennbar
Zusammensetzung	Hydraulischer Kalk, NHL 5, Kalkhydrat, Weißzement als Bindemittel; Aerogelgranulat, mineralische Leichtzuschläge; Wasserrückhaltemittel, Luftporenbilder, Hydrophobierungsmittel	Styrol, Pentan, Luft, Hexabromcyclododekan als Flammschutzmittel	Calciumoxid, Siliziumoxid, Zellulose, Wasser
Vorteile	originalgetreue Wandnachbildungen und gegliederter Oberflächen wie Gesimsbänder etc.; dünne Schichtdicken mit hoher Dämmwirkung; bauphysikalische Vorteile als Außendämmung	- einfach zu verarbeiten und kostengünstig; m.E. (Biozide o.ä. zur Algenvermeidung) keine Abgabe von schädlichen Stoffen an Boden oder Luft; resistent gegen Verrottung	schimmelhemmend (aufgrund hohem pH-Werts bei 10); diffusionsoffen und kapillaraktiv (reduziertes Tauwasserrisiko)
Nachteile	energieintensiver Herstellungsprozess; fehlende Langzeiterfahrung; hoher Kostenfaktor	energieintensiver Herstellungsprozess; erdölbasierter Herstellungsprozess (fossile Rohstoffe); nicht resistent gegen UV-Strahlung; schlechter Schallschutz	eingeschränkte Gestaltungsmöglichkeiten (als Wandplatten im Innenraum); reduzierter Wohnraum; Sanierung muss in den Wohnräumen erfolgen (logistischer Nachteil)

Tab. 22 Vergleich von Aerogel-Dämmputz mit Dämmplatten aus Styropor (Außendämmung) und Calciumsilikat (Innendämmung)  
Quelle: Puff, Simone; Melzl, Andreas; Wittmann, Ines (2013)

Dämmstoffe im Vergleich	Aerogel-Putz	Styropor-Dämmplatten	Calciumsilikat-Dämmplatten
Schichtdicke für $U = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	4 cm	5 cm	8 cm
Rohdichte	300 kg/m <sup>3</sup> (Annahme)	32 kg/m <sup>3</sup>	270 kg/m <sup>3</sup>
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:			
pro kg	ca. 70 MJ/kg (allg. Wärmedämmputz)	95,6 MJ/kg	0,026 MJ/kg
pro m <sup>3</sup> (Volumen)	ca. 21.000 MJ/m <sup>3</sup>	ca. 3.100 MJ/m <sup>3</sup>	ca. 7 MJ/m <sup>3</sup>
pro m <sup>2</sup> (Oberfläche)	ca. 840 MJ/m <sup>2</sup>	ca. 150 MJ/m <sup>2</sup>	ca. 0,6 MJ/m <sup>2</sup>
Kosten (gesamt, für 2.700 m <sup>2</sup> )	ca. 960.000 Euro	ca. 460.000 Euro	ca. 520.000 Euro
Brandstoffklasse	nicht entzündlich	B1, schwer entflammbar	A1, nicht brennbar
Amortisationszeit	über 40 Jahre	33 Jahre	38 Jahre
Montageaufwand	hoch	mittel	hoch
Recyclingfähigkeit	nur bedingt/kein (Bauschutt)	ja	ja

Tab. 23 Vergleich der Dämmkonzepte hinsichtlich Primärenergiebedarf, Kosten, Amortisationszeit und Recyclingfähigkeit  
Nach Puff, Simone; Melzl, Andreas; Wittmann, Ines (2013)

materialien in einer Vollkostenrechnung nicht sehr viel teurer; nicht die Kosten für den Dämmstoff spielen die entscheidende Rolle, sondern Lohnkosten, Baustelleneinrichtung, Gerüst und Putzoberfläche.

Calciumsilikat beiden Außendämmsystemen deutlich überlegen.

Ohne den detaillierten Heizwärmebedarfs- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen vorzugreifen, wurde auf Basis der dort ermittelten Zahlen auch ein Amortisationszeitraum errechnet. Er ergibt sich aus den Vorgaben des Bundeswirtschaftsministeriums zur Gaspreisentwicklung. Demnach liegt dies für die Calciumsilikatdämmung zwar fünf Jahre über der für die deutlich kostengünstigere Styropordämmung (deren Wirtschaftlichkeit in Bezug auf Heizwärmeeinsparungen durch eine dickere Ausführung noch gesteigert werden kann), aber im Sinne einer Ökobilanz ist hier

# 4. Brandschutz

## 4.1 Grundlagen

Brandschutz umfasst alle Maßnahmen, die einem Brand oder der Ausbreitung eines Brandes vorbeugen, die die Rettung von Menschen gewährleisten und wirksame Löscharbeiten zulassen.

Man unterscheidet vorbeugenden und abwehrenden Brandschutz. Für den vorbeugenden Brandschutz sind alle Maßnahmen im Vorfeld zu treffen, um einer Entstehung oder Ausbreitung eines Brandes entgegenzuwirken. Dabei gibt es bauliche, anlagentechnische und organisatorische Aspekte des Brandschutzes.<sup>130</sup>

- Baulicher Brandschutz berücksichtigt das Brandverhalten der Baustoffe und des Feuerwiderstands der Bauteile und Bauprodukte.
- Der anlagentechnische Brandschutz beinhaltet alle technischen Anlagen und Einrichtungen, die zu einer Verbesserung des Brandschutzes führen, z.B. Brandmeldeanlagen, Rauchsaugsysteme oder Feuerlöschanlagen.
- Der organisatorische Brandschutz umfasst die Ernennung von Brandschutzbeauftragten sowie die Erstellung von Feuerwehreinsatzplänen, Flucht- und Rettungsplänen, Alarmplänen sowie Brandschutzordnungen. Auch gezielte Schulungen und Evakuierungsübungen werden als organisatorischer Brandschutz bezeichnet.

<sup>130</sup> Koch, Stefan (2011): Brandschutz und Baurecht. Rechtssichere Beurteilung von Neubau und Bestand; mit Tab. Köln: Feuertrutz Verl. für Brandschutzpublikationen.

Gebäudeklasse	Erläuterung
GKI 1a	Freistehende Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> .
GKI 1b	Land- oder forstwirtschaftlich genutzte Gebäude.
GKI 2	Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> .
GKI 3	Sonstige Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m.
GKI 4	Gebäude mit einer Höhe bis zu 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m <sup>2</sup> .
GKI 5	Sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude.

Tab. 24 Gebäudeklassen (GKI) nach Art. 2 BayBO

Um einen Brandschutznachweis aufstellen zu können, benötigt man unter anderem folgende Richtlinien und Verordnungen: Anerkannte Regeln der Technik, insbesondere die DIN 4102 (Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen), Richtlinien (z.B. Industriebaurichtlinie, Schulbaurichtlinie), Verordnungen (Versammlungsstättenverordnung, Aufzugsverordnung) und schließlich die Landesbauordnung, z.B. die Bayerische Bauordnung (BayBO, aktuelle Fassung von 2013), als rechtlich bindende Umsetzung der Musterbauordnung der Länder (MBO).

### 4.1.1 Gebäudeklassen

Im Brandschutz werden die zu untersuchenden Gebäude nach Art. 2 Abs. 3 Satz 1 BayBO in fünf Gebäudeklassen (GKI 1 bis GKI 5) eingeteilt (Tab. 24). Die einzelnen Gebäudeklassen unterscheiden sich in der Gebäudehöhe und der Größe der einzelnen Nutzungseinheiten. Nach Art. 2 Abs. 3 Satz 2 BayBO wird als Gebäudehöhe das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, bis zum Mittel der Geländeoberfläche bezeichnet. Zusätzlich ist zu überprüfen, ob ein Sonderbau vorliegt. Als Sonderbauten werden nach Art. 2 Abs. 4 BayBO Anlagen und Räume besonderer Art oder Nutzung bezeichnet, wie z.B. Krankenhäuser oder Schulen.

Als Aufenthaltsraum werden diejenigen Räume bezeichnet, die zum längeren Aufenthalt von Menschen bestimmt und geeignet sind (Art. 2 Abs. 5 BayBO). Nach Art. 2 Abs. 6 BayBO werden Geschosse als oberirdisch bezeichnet, wenn die Deckenoberkante im Mittel mehr als 1,40 m über die Geländeoberkante hinausragt. Unter 1,40 m gilt es als Kellergeschoss.

Nutzungseinheiten sind z.B. Wohnungen oder Büros, die eine abgeschlossene Einheit darstellen. Eine Nutzungseinheit darf nicht als Fluchtweg einer anderen Nutzungseinheit dienen. Jedoch kann ein Fluchtweg von mehreren Nutzungseinheiten genutzt werden.

### 4.1.2 Bauteile

Zusätzlich zur Gebäudeeinteilung werden auch die einzelnen Bauteile in sogenannte Feuerwiderstandsklassen eingeteilt. Diese Feuerwiderstandsklassen sind abhängig von der Gebäudeklasse des jeweiligen Objektes. Mit zunehmender Gebäudeklasse steigen auch die Anforderungen der Bauteile bezüglich des Feuerwiderstandes. Tab. 25 zeigt die Anforderungen an verschiedene Bauteile unter Berücksichtigung der

MBO	Bauteile	GK1 1	GK1 2	GK1 3	GK1 4	GK1 5
<b>§27</b>	<b>Tragende Wände, Stützen</b>					
	im Dachgeschoss, wenn darüber keine Aufenthaltsräume möglich sind (oberstes DG)	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
	im Dachgeschoss, wenn darüber Aufenthaltsräume möglich sind	ohne	fh	fh	hfh	fb
	im Normalgeschoss	ohne	fh	fh	hfh	fb
	im Kellergeschoss	fh	fh	fb	fb	fb
<b>§28</b>	<b>Außenwände</b>					
	nichttragende Außenwände und Teile außenseitige Oberflächen	ohne	ohne	ohne	A oder fh B1	A oder fh B1
<b>§29</b>	<b>Trennwände</b>					
	von Nutzungseinheiten im obersten DG (Wohngebäude)	fh (ohne)	fh (ohne)	fh	fh	fh
	von Nutzungseinheiten im DG, wenn darüber noch Aufenthaltsräume möglich sind (Wohngebäude)	fh (ohne)	fh (ohne)	fh	hfh	fb
	von Nutzungseinheiten im Normalgeschoss (Wohngebäude)	fh (ohne)	fh (ohne)	fh	hfh	fb
	von Aufenthaltsräumen im Kellergeschoss (Wohngebäude)	fh (ohne)	fh (ohne)	fb	fb	fb
	von Räumen mit Explosionsgefahr bzw. erhöhten Brandgefahren (Wohngebäude)	fb (ohne)	fb (ohne)	fb	fb	fb
<b>§30</b>	<b>Brandwände und zulässige Wände anstelle von Brandwänden</b>					
	Gebäudeabschlusswände	hfh o. fh/fb	hfh o. fh/fb	hfh o. fh/fb	hfh + M	fb + A + M
	innere Brandwände	entfällt	entfällt	hfh	hfh + M	fb + A + M
<b>§31</b>	<b>Decken</b>					
	im Dachgeschoss, wenn darüber keine Aufenthaltsräume möglich sind (oberstes DG)	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
	Im Dachgeschoss, wenn darüber noch Aufenthaltsräume möglich sind	ohne	fh	fh	hfh	fb
	im Normalgeschoss	ohne	fh	fh	hfh	fb
	im Kellergeschoss	fh	fh	fb	fb	fb
	von Räumen mit Explosionsgefahr bzw. erhöhten Brandgefahren (Wohngebäude)	fb (ohne)	fb (ohne)	fb	fb	fb
<b>§35</b>	<b>Wände notwendiger Treppenräume</b>					
	in allen Geschossen treppenraumseitige Oberflächen	entfällt	entfällt	fh A	hfh + M A	fb + A + M A
<b>§36</b>	<b>Wände notwendiger Flure</b>					
	in Normal- und Dachgeschossen (flurseitige Oberflächen)	entfällt	entfällt	fh A	fh A	fh A
	in Normal- und Dachgeschossen (Wohngebäude)	fh (entfällt)	fh (entfällt)	fb	fb	fb
<b>§39</b>	<b>Fahrschachtwände</b>					
	in allen Geschossen schachtseitige Oberflächen	entfällt	entfällt	fh A	hfh A	fb + A A
Legende:				Bauteil-Klassifizierung nach DIN 4102-2		
A	nicht brennbarer Baustoff (auch als Beplankung in Verbindung mit B1)	fh	feuerhemmend	F 30-A, F 30-AB, F 30-B		
B1	schwer entflammbarer Baustoff	hfh	hochfeuerhemmend	F 60-A, F 60-AB		
M	geeignet für mechanische Einwirkung (Stoßbeanspruchung)	fb	feuerbeständig	F 90-A, F 90-AB		

Tab. 25 Anforderungen an Bauteile laut Musterbauordnung (MBO) der Länder. Für Details siehe auch Mayr, Josef; Battran, Lutz (2014): Brandschutzatlas. Baulicher Brandschutz. Stand September 2014. Köln: Feuertrutz Verl. für Brandschutzpublikationen.

von	nach	
	Notwendiger Flur	Notwendiger Treppenraum
Nutzungseinheit	D	
NE ≤ 200 m <sup>2</sup>		VDS
NE > 200 m <sup>2</sup>		T30-RS
Notwendiger Flur		RS
Keller-, Dachgeschoss		T30-RS
Werkräume, Lager, ...		T30-RS
Öffnungen in Trennwänden		T30-DS
Öffnungen in Brandwänden		T90-DS
Erklärung der Anforderungen:		Mögliche Ausführungen von Türen sind
V = vollwandig		VDS, RS, D, T30/60/90-DS oder T30/60/90-RS.
D = dichtschließend		
S = selbstschließend		
R = rauchdicht		

Tab. 26 Anforderungen an Türen gemäß BayBO

Gebäudeklasse.<sup>131</sup>

Als feuerhemmend (fh) werden diejenigen Bauteile bezeichnet, die bei einer Brandbelastung von 30 Minuten standsicher bleiben und/oder ihre raumabschließende Wirkung in dieser Zeit nicht verlieren (Feuerwiderstandsklasse F30 nach DIN 4102-2). Als hochfeuerhemmend (hfh) werden diejenigen Bauteile bezeichnet, die die genannten Bedingungen nach mindestens 60 Minuten Brandbelastung aufweisen (F60). Feuerbeständig (fb) sind Bauteile, die auch noch nach mindestens 90 Minuten Brandbelastung standsicher und/oder raumabschließend sind (F90). Zusätzlich zur Feuerbeständigkeit gibt es noch den Zusatz A oder B (Baustoffklasse). Dieser Zusatz beschreibt die Brennbarkeit der Baustoffe an. A steht für nichtbrennbare Baustoffe, B für brennbare Baustoffe. Hierbei wird noch zwischen A1 (ohne brennbare Bestandteile) und A2 (mit brennbaren Bestandteilen) bzw. zwischen B1, B2 und B3 (schwer/mittel/leicht entflammbar) unterschieden.

Bei Türen sind die Anforderungen im Brandschutz abhängig von den abzuteilenden Bereichen (Tab. 25).

Trennwände sind nach Art. 27 Abs. 1 und 3 BayBO raumabschließende Bauteile von Räumen und Nutzungseinheiten innerhalb eines Gebäudes, die ausreichend lang widerstandsfähig gegen eine Brandausbreitung sind. Außerdem müssen Trennwände dieselbe Feuerwiderstandsklasse aufweisen, wie die der tragenden und aussteifenden Bauteile des Geschosses (mindestens jedoch feuerhemmend). Trennwände zum Abschluss von Räumen mit Explosions- oder erhöhter Brandgefahr müssen feuerbeständig sein. Trennwände sind nach Art. 27 Abs. 2 BayBO erforderlich:

- zwischen Nutzungseinheiten sowie Nutzungseinheiten und anders genutzten Räumen, ausgenommen notwendige Flure
- zum Abschluss von Räumen mit Explosions- oder erhöhter Brandgefahr
- zwischen Aufenthaltsräumen und anders genutzten Räumen im Kellergeschoss

Brandwände dienen nach Art. 28 Abs. 1 BayBO als raumabschließende Bauteile zum Abschluss von Gebäuden (Gebäudeabschlusswand) oder zur Unterteilung von Gebäuden in Brandabschnitte (innere Brandwand). Brandwände müssen ausreichend lang eine

Brandausbreitung auf andere Gebäude oder -abschnitte verhindern. Sie müssen nach Art. 28 Abs. 3 BayBO aus nichtbrennbaren Baustoffen (Typ A) bestehen und unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung trotzdem feuerbeständig sein. Um einen Brandüberschlag zu vermeiden, sollten Brandwände das Gebäude über die gesamte Höhe durchdringen.

Brandwände sind nach Art. 28 Abs. 2 BayBO erforderlich als:

- Gebäudeabschlusswand
- Gebäudeabschlusswand zwischen Wohngebäuden und landwirtschaftlich genutzten Gebäuden
- innere Brandwand (Abstand  $\leq 40\text{m}$ )
- innere Brandwand zur Unterteilung landwirtschaftlich genutzter Gebäude (Brandabschnitte  $\leq 10\,000\text{ m}^3$ )

#### 4.1.3 Fluchtwege

Bei den Fluchtwegen ist darauf zu achten, dass pro Geschoss mindestens zwei voneinander unabhängige Rettungswege pro Einheit ins Freie führen. Es dürfen jedoch beide Rettungswege über denselben notwendigen Flur führen, wenn an diesen Flur zwei unabhängige Treppenhäuser angrenzen.

Als allgemeine Aufteilung der Rettungswege gilt Folgendes: Der 1. Rettungsweg führt direkt oder über einen notwendigen Treppenraum ins Freie; der 2. Rettungsweg bedingt Rettungsgeräte der Feuerwehr oder einen zweiten baulichen Rettungsweg, z. B. ein zweites Treppenhaus.

Die Anforderungen an die Wände des notwendigen Treppenraums sind von der jeweiligen Gebäudeklasse abhängig:

- |              |  |
|--------------|--|
| GKI 5:       | feuerhemmend und aus nichtbrennbaren Baustoffen  |
| GKI 4:       | nichtbrennbare Baustoffe                         |
| GKI 3:       | feuerhemmend oder aus nichtbrennbaren Baustoffen |
| GKI 1 und 2: | keine Anforderungen                              |

Ab GKI 3 muss der notwendige Treppenraum raumabschließend und zudem durchgehend über die gesamte Gebäudehöhe sein. Eine Entrauchung ist unabhängig von der Gebäudeklasse generell notwendig. Sie erfolgt

<sup>131</sup> Mayr, Josef; Battran, Lutz (2014): Brandschutzatlas. Baulicher Brandschutz. Stand September 2014. Köln: Feuertrutz Verl. für Brandschutzpublikationen.

in jedem Geschoss entweder durch ein Fenster (mindestens 0,5 m<sup>2</sup>) oder eine Rauchabzugsöffnung (mindestens 1,0 m<sup>2</sup>) an der obersten Stelle. Brandlasten, wie beispielsweise Wandbekleidung oder Kleidungsstücke, sollten aus dem Treppenhaus entfernt werden.

#### 4.1.4 Bestandsschutz

Der folgende Abschnitt bezieht sich auf das Schreiben des Bayerischen Staatsministeriums des Innern zum Brandschutz in bestehenden Gebäuden vom 25. Juli 2011.<sup>132</sup> Eine bauliche Anlage ist bestandsgeschützt, wenn:

- sie genehmigt und genehmigungskonform errichtet worden ist (formeller Bestandsschutz),
- sie zum Zeitpunkt ihrer Errichtung dem geltenden Recht entsprochen hat (materieller Bestandsschutz)

und danach jeweils nicht rechtswidrig geändert worden ist. Ist eine bauliche Anlage bestandsgeschützt, können nur in Ausnahmen Anforderungen gestellt werden (z. B. zur Abwehr erheblicher Gefahren für Leben und Gesundheit). Dies ist z. B. der Fall, wenn die nach Art. 31 Abs. 1 BayBO regelmäßig geforderten zwei unabhängigen Rettungswege überhaupt nicht vorhanden sind oder wenn nur ein Rettungsweg vorhanden und mit Mängeln behaftet ist.

Grenzen bzw. Verlust des Bestandsschutzes

Der Bestandsschutz erlischt, wenn Veränderungen vorgenommen werden, die durch die Baugenehmigung nicht abgedeckt sind. Ein solcher Verlust des Bestandsschutzes kann unter anderem bewirkt werden durch:

- bauliche Maßnahmen (z. B. unsachgemäße Veränderung von Wänden und Decken, sodass die Feuerwiderstandsfähigkeit dieser beeinträchtigt wird)

- betrieblich/organisatorische Änderungen (z. B. Einrichtung von Aufenthaltsräumen, ohne dass die dafür erforderlichen Rettungswege vorhanden wären)
- drastische Erhöhung der Personenzahl, ohne dass die bestehenden Rettungswegbreiten darauf ausgelegt wären
- Änderung der Außenanlagen und damit ggf. auch der erforderlichen Flächen für die Feuerwehr

Im Plato-Wild-Ensemble ist der Bestandsschutz bisher gewahrt worden, da keine ausschließenden baulichen Veränderungen vorgenommen wurden.

Änderung im Bestand

Bei Umbauten oder Nutzungsänderungen in Gebäuden müssen die aktuell geltenden bauordnungsrechtlichen Anforderungen eingehalten werden. Dies bezieht sich nur auf die einzelnen Maßnahmen; nicht betroffene Bereiche genießen weiter Bestandsschutz.

Abweichung von Anforderungen

In besonderen Situationen, wo z. B. aus Gründen des Denkmalschutzes die aktuellen Brandschutzanforderungen durch die Maßnahmen nicht eingehalten werden können, ist eine Abweichung nach Art. 63 Abs. 1 Satz 1 BayBO unter Berücksichtigung der konkreten Umstände möglich. Dies ist in der Regel vertretbar, „wenn und soweit durch die beabsichtigte Maßnahme keine grundlegenden, die Genehmigungsfrage neu aufwerfenden Belange berührt werden (z. B. bei der Sanierung oder dem Austausch von Bauteilen oder wenn lediglich die Raumkonfiguration geändert werden soll)“<sup>133</sup>.

Im Bestand ist die Durchführbarkeit von Maßnahmen im Detail zu prüfen und auf Abweichungen von den gültigen Normen und Verordnungen hinzuweisen. Geburtig (2012)<sup>134</sup> weist auf drei Kriterien hin, die im Einzelfall geprüft werden müssen:

- Tragfähigkeit einer Konstruktion im Brandfall (Feuerwiderstandsklasse F30, F60, F90 nach DIN 4102-2); dabei werden mittlerweile auch Zwischenbereiche angestrebt: So kann z. B. eine Holzbalkendecke eine Feuerwiderstandsfähigkeit

132 Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (2011): Schreiben an die Bezirksregierungen zum „Vollzug der Bayerischen Bauordnung (BayBO); Brandschutz in bestehenden Gebäuden“, München.

133 Ebd., Abschnitt 2.2.

134 Geburtig, Gerd (2012): „Spielregeln“ für brandschutztechnische Nachrüstungen. Brandschutzkonzepte im Bestand. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (3), S. 46–49.



Abb. 121 Brandschutzplan für die Fünfhäusergruppe Walderdorffstraße – Safferlingstraße – Lageplan  
Quelle: Schaal, Manuel; Riedl, Philipp; Grill, Jennifer (2014)

von 45 Minuten erreichen, wenn sie zusätzlich mit einer F30-Bekleidung beplankt wird.<sup>135</sup>

- Raumabschluss: Über einen festgelegten Zeitraum dürfen keine Risse oder Fugen entstehen, durch die sich Feuer und Rauch ausbreiten.
- Die Temperatur an der brandabgewandten Seite darf sich im Mittel um maximal 140 K und punktuell maximal um 180 K erhöhen.

#### Umbau und bauliche Erweiterung des Bestands

Beschränkt sich die Änderung des Bestands auf einen abgrenzbaren Bereich, so muss nicht der gesamte Bestand an die geltenden Brandschutzanforderungen angepasst werden. Allerdings kann nach Art. 54 Abs. 5 BayBO verlangt werden, „dass auch von der Änderung nicht berührte Teile mit den geltenden Vorschriften in Einklang gebracht werden, wenn das aus Gründen des Art. 3 Abs. 1 BayBO erforderlich und dem Bauherrn wirtschaftlich zumutbar ist und diese Teile mit den Teilen, die geändert werden sollen, in konstruktivem Zusammenhang stehen oder unmittelbar mit ihnen verbunden sind“.<sup>136</sup> Dies betrifft häufig die Nachrüstung von Türen in den Wänden eines notwendigen Treppenraums, wenn das Dachgeschoss ausgebaut werden soll:

<sup>135</sup> Geburtig, Gerd (2010): Baulicher Brandschutz im Bestand – Beurteilung vorhandener Bausubstanz, 2. Aufl. Berlin: Beuth.

<sup>136</sup> Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern (2011), Abschnitt 2.4.

„Hier besteht in der Regel zwischen den Teilen, die geändert werden sollen (z. B. neu zu errichtenden Wänden oder Türen im Dachgeschoss) und den von der Änderung nicht berührten Teilen (hier den Eingangstüren bestehender Wohnungen in den darunter liegenden Geschossen) weder eine unmittelbare (bauliche) Verbindung noch ein konstruktiver Zusammenhang.“<sup>137</sup>

Bei der Nutzung eines bisher als Abstellfläche eingesetzten Dachraums als Wohnfläche sind daher die veränderten Anforderungen des Brandschutzes zu beachten, insbesondere der zweite Rettungsweg muss z. B. durch ausreichend große, anleiterbare Dachfenster gegeben sein. Der Bestandsschutz der vom Dachausbau nicht konstruktiv betroffenen Gebäudeteile (die bestehenden Wohnungen in den darunter liegenden Etagen) ist davon unberührt. Aufgrund der erhöhten Gefahr von Rauchbildung im Treppenhaus sollten jedoch zusätzliche Maßnahmen und weitergehende Anforderungen gestellt werden.

## 4.2 Plato-Wild-Ensemble

Die Gebäude wurden 1926 nach der damals gültigen Bayerischen Bauordnung vom 17. Februar 1901 errichtet. Es werden hier exemplarisch die Ergebnisse aus den Brandschutzuntersuchungen für die Fünfhäusergruppe Safferlingstraße 15 und 17 und Walderdorffstraße 2, 4 und 4a diskutiert (Abb. 121).<sup>138</sup>

Im Fall des Plato-Wild-Ensembles wird von einem bestehenden formellen und materiellen Bestandsschutz ausgegangen. Die Genehmigungspläne liegen vor, eine genehmigungskonforme Ausführung wird angenommen. In den bestehenden Wohnungen ist der zweite Rettungsweg über straßenseitige Fenster gegeben.

Zu Beginn wird der vorhandene Zustand der Gebäude im Hinblick auf die aktuellen Brandschutzregeln untersucht. Dabei wird das Ziel verfolgt, eventuelle Gefahrenpotenziale zu erkennen und geeignete Maßnahmen zur Verbesserung des Brandschutzes aufzuzeigen. Dabei sind Dringlichkeit und Kosten gegeneinander abzuwägen. Das wichtigste Schutzziel des baulichen Brandschutzes dieser Wohnanlage soll der Personenschutz sein. Dieser wird durch die bestmögliche

<sup>137</sup> Ebd.

<sup>138</sup> Schaal, Manuel; Riedl, Philipp; Grill, Jennifer (2014): Gebäudemodernisierung Plato-Wild-Ensemble: Brandschutz bei Modernisierung und Nutzungsänderung (und bestehende Risiken). Interdisziplinäres Projekt im Masterstudiengang Bauen im Bestand. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.

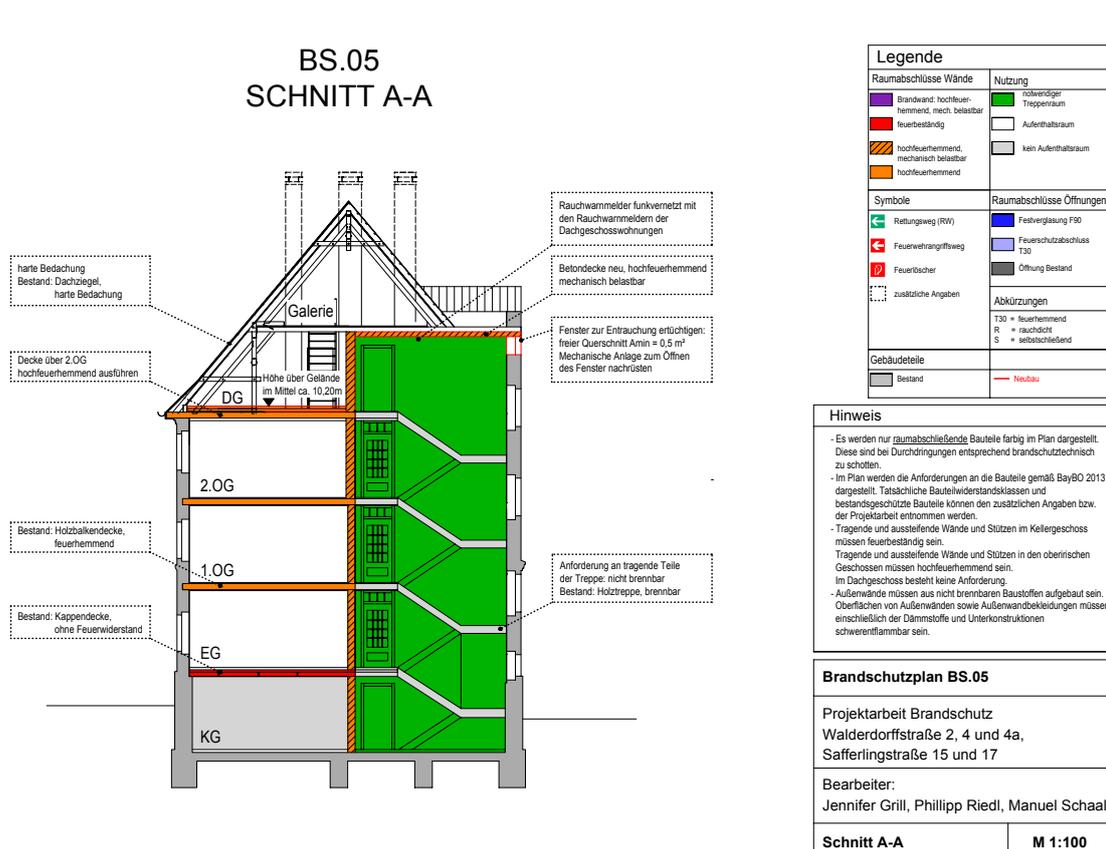


Abb. 122 Brandschutzplan für die Fünfhäusergruppe Walderdorffstraße – Safferlingstraße – Schnittbild  
Quelle: Schaal, Manuel; Riedl, Philipp; Grill, Jennifer (2014)

Ausbildung von Flucht- und Rettungswegen und die Anletermöglichkeiten der Feuerwehr umgesetzt.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Darstellung der Konsequenzen, die ein Ausbau des Dachgeschosses nach sich ziehen würde. Unter Berufung auf den Bestandsschutz werden nicht alle Vorgaben aus der Bayerischen Bauordnung erfüllt; im Brandschutzkonzept wird dies in Form einer Abweichungsfeststellung erfasst.

#### 4.2.1 Beurteilungsgrundlagen

Rechtsgrundlagen und Beurteilungshilfen

Das Gebäude ist nach den unten aufgeführten Normen und Richtlinien zu beurteilen:

- Bayerische Bauordnung (BayBO)
- Richtlinie über Flächen für die Feuerwehr (FeuerFIRI)
- Musterleitungsanlagenrichtlinie (MLAR)
- Musterlüftungsanlagenrichtlinie (MLüAR)

- Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen (EltBauV)
- Feuerungsverordnung (FeuV)

Die Situation wird basierend auf den historischen Unterlagen, der im Projekt erarbeiteten Bauaufnahme und einer spezifischen Augenscheinnahe beurteilt.

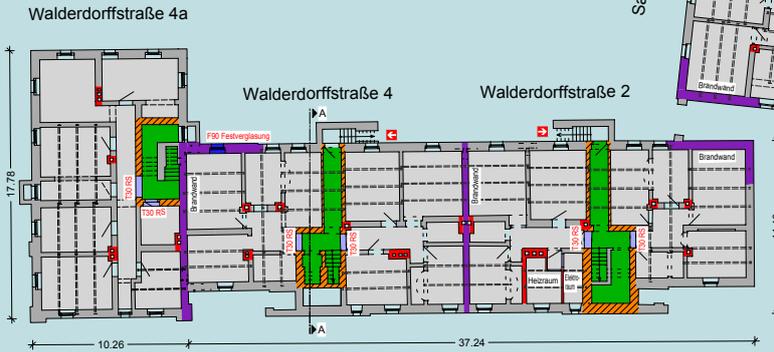
#### 4.2.2 Objektbeschreibung und Nutzung

Die Anlage besteht aus einem Wohnkomplex mit fünf Einheiten. Die Einheiten Safferlingstraße 15 und 17 verfügen über ein Kellergeschoss, drei oberirdische Geschosse und ein ausgebautes Dachgeschoss. In den drei Obergeschossen befinden sich jeweils zwei Wohnungen. Im ausgebauten Dachgeschoss befindet sich jeweils eine Wohnung. Die Einheiten Walderdorffstraße 2, 4 und 4a verfügen ebenfalls über ein Kellergeschoss und drei oberirdische Geschosse. Derzeit ist das Dachgeschoss der Einheiten Walderdorffstraße 2, 4 und 4a nicht ausgebaut. Ein Ausbau ist eine Option für die Modernisierung.

Der betrachtete Bereich umfasst 32 Wohneinheiten (Nutzungseinheiten). Die Flächen der einzelnen Nutzungseinheiten liegen jeweils unter 400 m<sup>2</sup>. Walderdorffstraße 2 und Safferlingstraße 15 sind vom

## BS.01 GRUNDRISS KELLERGESSCHOSS

Bestand Kellergeschoss	
Tragende Wände und Stützen:	feuerbeständig
Trennwände:	feuerbeständig und raumabschließend
Treppenhauswände:	feuerbeständig, mechanisch belastbar
Brandwände:	feuerbeständig, mechanisch belastbar



Legende	
Raumabschlüsse Wände	Nutzung
Brandwand, hochfeuerhemmend, mech. belastbar	rollentriegeliger Treppenraum
feuerbeständig	Aufenthaltsraum
hochfeuerhemmend, mechanisch belastbar	kein Aufenthaltsraum
hochfeuerhemmend	
Symbole	Raumabschlüsse Öffnungen
Rettungsweg (RW)	Festverglasung F90
Feuerwehrrangriffsweg	Feuerschutzabschluss T30
Feuerlöscher	Öffnung Bestand
zusätzliche Angaben	
Abkürzungen	
T30 = feuerhemmend	R = rauchdicht
S = selbstschließend	
Gebäudeteile	
Bestand	Neubau

**Hinweis**

- Es werden nur raumabschließende Bauteile farbig im Plan dargestellt. Diese sind bei Durchdringungen entsprechend brandschutztechnisch zu schützen.
- Im Plan werden die Anforderungen an die Bauteile gemäß BayBO 2013 dargestellt. Tatsächliche Bauteilwiderstandsklassen und bestandsgeschützte Bauteile können den zusätzlichen Angaben bzw. der Projektarbeit entnommen werden.
- Tragende und ausstehende Wände und Stützen im Kellergeschoss müssen feuerbeständig sein. Tragende und ausstehende Wände und Stützen in den oberirdischen Geschossen müssen hochfeuerhemmend sein.
- Im Dachgeschoss besteht keine Anforderung.
- Außenwände müssen aus nicht brennbaren Baustoffen aufgebaut sein. Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein.

**Brandschutzplan BS.01**

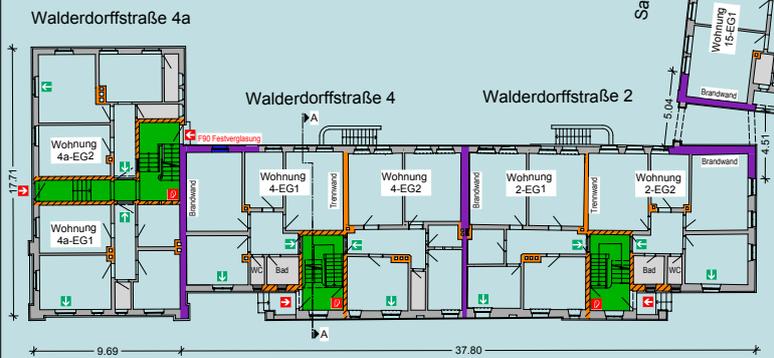
Projektarbeit Brandschutz  
Walderdorffstraße 2, 4 und 4a,  
Safferlingstraße 15 und 17

Bearbeiter:  
Jennifer Grill, Philipp Riedl, Manuel Schaal

**Grundriss KG** | **M 1:200**

## BS.02 GRUNDRISS ERDGESCHOSS

Bestand Erdgeschoss	
Tragende Wände und Stützen:	feuerbeständig
Trennwände:	feuerbeständig und raumabschließend
Treppenhauswände:	feuerbeständig, mechanisch belastbar
Brandwände:	feuerbeständig, mechanisch belastbar



Legende	
Raumabschlüsse Wände	Nutzung
Brandwand, hochfeuerhemmend, mech. belastbar	rollentriegeliger Treppenraum
feuerbeständig	Aufenthaltsraum
hochfeuerhemmend, mechanisch belastbar	kein Aufenthaltsraum
hochfeuerhemmend	
Symbole	Raumabschlüsse Öffnungen
Rettungsweg (RW)	Festverglasung F90
Feuerwehrrangriffsweg	Feuerschutzabschluss T30
Feuerlöscher	Öffnung Bestand
zusätzliche Angaben	
Abkürzungen	
T30 = feuerhemmend	R = rauchdicht
S = selbstschließend	
Gebäudeteile	
Bestand	Neubau

**Hinweis**

- Es werden nur raumabschließende Bauteile farbig im Plan dargestellt. Diese sind bei Durchdringungen entsprechend brandschutztechnisch zu schützen.
- Im Plan werden die Anforderungen an die Bauteile gemäß BayBO 2013 dargestellt. Tatsächliche Bauteilwiderstandsklassen und bestandsgeschützte Bauteile können den zusätzlichen Angaben bzw. der Projektarbeit entnommen werden.
- Tragende und ausstehende Wände und Stützen im Kellergeschoss müssen feuerbeständig sein. Tragende und ausstehende Wände und Stützen in den oberirdischen Geschossen müssen hochfeuerhemmend sein.
- Im Dachgeschoss besteht keine Anforderung.
- Außenwände müssen aus nicht brennbaren Baustoffen aufgebaut sein. Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein.

**Brandschutzplan BS.02**

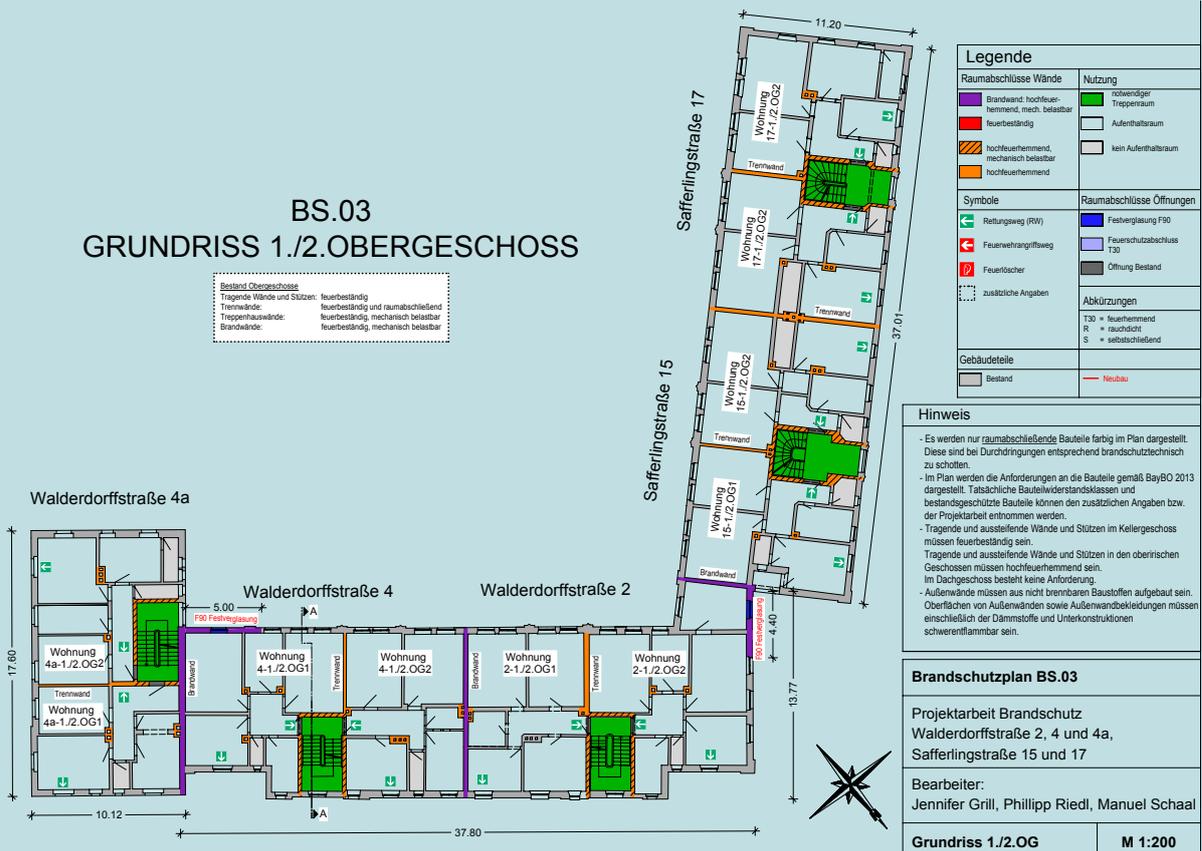
Projektarbeit Brandschutz  
Walderdorffstraße 2, 4 und 4a,  
Safferlingstraße 15 und 17

Bearbeiter:  
Jennifer Grill, Philipp Riedl, Manuel Schaal

**Grundriss EG** | **M 1:200**

Abb. 123 Brandschutzplan für die Fünfhäusergruppe Walderdorffstraße – Safferlingstraße – Keller und Erdgeschoss  
Quelle: Schaal, Manuel; Riedl, Philipp; Grill, Jennifer (2014)

## BS.03 GRUNDRISS 1./2.OBERGESCHOSS



**Bestand Obergeschoss**  
 Tragende Wände und Stützen: feuerbeständig  
 Trennwände: feuerbeständig und raumabschließend  
 Treppenhauwand: feuerbeständig, mechanisch belastbar  
 Brandwände: feuerbeständig, mechanisch belastbar

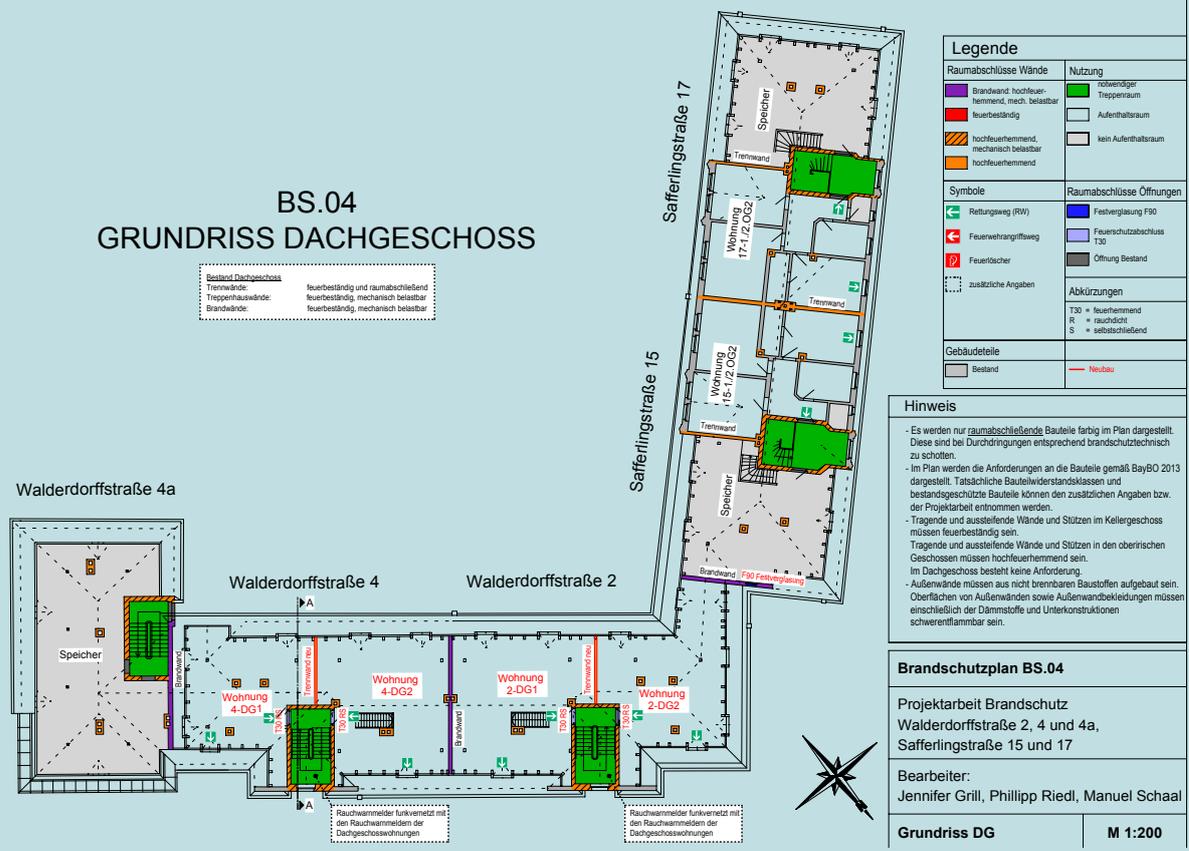
Legende	
Raumabschlüsse Wände	Nutzung
Brandwand: hochfeuerhemmend, mech. belastbar	notwendiger Treppenraum
feuerbeständig	Außenhaltsraum
hochfeuerhemmend, mechanisch belastbar	kein Außenhaltsraum
hochfeuerhemmend	
Symbole	Raumabschlüsse Öffnungen
Rettenweg (RW)	Feistverglasung F90
Feuerwehrrangriffsweg	Feuerschutzabschluss T30
Feuerlöscher	Öffnung Bestand
zusätzliche Angaben	
Gebäudeteile	Abkürzungen
Bestand	T30 = feuerhemmend
Neubau	R = rauchdicht
	S = selbstschließend

**Hinweis**

- Es werden nur raumabschließende Bauteile farbig im Plan dargestellt. Diese sind bei Durchdringungen entsprechend brandschutztechnisch zu schützen.
- Im Plan werden die Anforderungen an die Bauteile gemäß BayBO 2013 dargestellt. Tatsächliche Bauteilwiderstandsklassen und bestandsgeschützte Bauteile können den zusätzlichen Angaben bzw. der Projektarbeit entnommen werden.
- Tragende und ausstufende Wände und Stützen im Kellergeschoss müssen feuerbeständig sein.
- Tragende und ausstufende Wände und Stützen in den oberirdischen Geschossen müssen hochfeuerhemmend sein.
- Außenwände müssen aus nicht brennbaren Baustoffen aufgebaut sein. Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein.

**Brandschutzplan BS.03**  
 Projektarbeit Brandschutz  
 Walderdorffstraße 2, 4 und 4a,  
 Safferlingstraße 15 und 17  
 Bearbeiter:  
 Jennifer Grill, Philipp Riedl, Manuel Schaal  
**Grundriss 1./2.OG** **M 1:200**

## BS.04 GRUNDRISS DACHGESCHOSS



**Bestand Dachgeschoss**  
 Trennwände: feuerbeständig und raumabschließend  
 Treppenhauwand: feuerbeständig, mechanisch belastbar  
 Brandwände: feuerbeständig, mechanisch belastbar

Legende	
Raumabschlüsse Wände	Nutzung
Brandwand: hochfeuerhemmend, mech. belastbar	notwendiger Treppenraum
feuerbeständig	Außenhaltsraum
hochfeuerhemmend, mechanisch belastbar	kein Außenhaltsraum
hochfeuerhemmend	
Symbole	Raumabschlüsse Öffnungen
Rettenweg (RW)	Feistverglasung F90
Feuerwehrrangriffsweg	Feuerschutzabschluss T30
Feuerlöscher	Öffnung Bestand
zusätzliche Angaben	
Gebäudeteile	Abkürzungen
Bestand	T30 = feuerhemmend
Neubau	R = rauchdicht
	S = selbstschließend

**Hinweis**

- Es werden nur raumabschließende Bauteile farbig im Plan dargestellt. Diese sind bei Durchdringungen entsprechend brandschutztechnisch zu schützen.
- Im Plan werden die Anforderungen an die Bauteile gemäß BayBO 2013 dargestellt. Tatsächliche Bauteilwiderstandsklassen und bestandsgeschützte Bauteile können den zusätzlichen Angaben bzw. der Projektarbeit entnommen werden.
- Tragende und ausstufende Wände und Stützen im Kellergeschoss müssen feuerbeständig sein.
- Tragende und ausstufende Wände und Stützen in den oberirdischen Geschossen müssen hochfeuerhemmend sein.
- Im Dachgeschoss besteht keine Anforderung.
- Außenwände müssen aus nicht brennbaren Baustoffen aufgebaut sein. Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein.

**Brandschutzplan BS.04**  
 Projektarbeit Brandschutz  
 Walderdorffstraße 2, 4 und 4a,  
 Safferlingstraße 15 und 17  
 Bearbeiter:  
 Jennifer Grill, Philipp Riedl, Manuel Schaal  
**Grundriss DG** **M 1:200**

Abb. 124 Brandschutzplan für die Fünfhäusergruppe Walderdorffstraße – Safferlingstraße – 1./2. OG und Dachgeschoss  
 Quelle: Schaal, Manuel; Riedl, Philipp; Grill, Jennifer (2014)



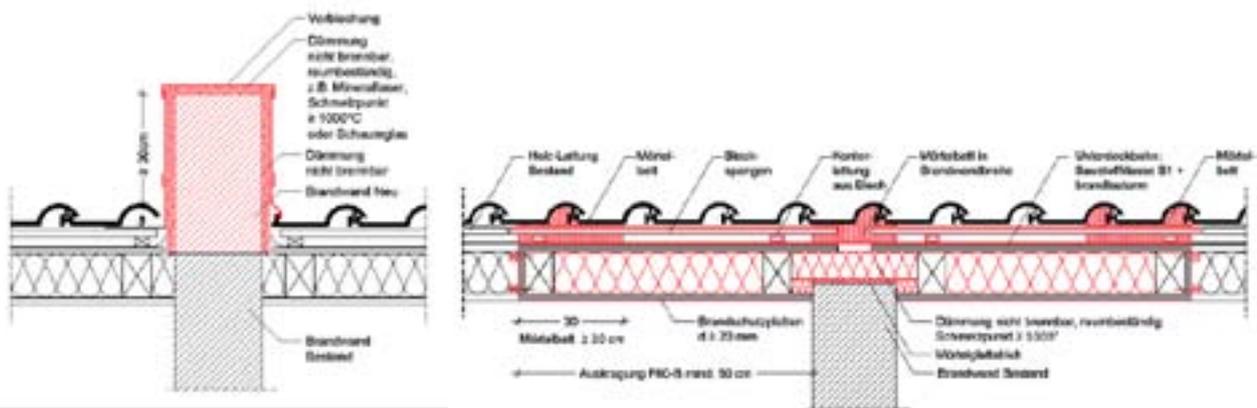


Abb. 125 Links: Brandwand, 30 cm über die Dachhaut geführt. Rechts: Alternative Lösung mit einer Brandwand bis zur Dachhaut, die um eine F60-Konstruktion ergänzt wird.  
Quelle: Schaal et al. (2014) nach Mayr, Josef; Battran, Lutz (2014): Brandschutzatlas. Köln: Feuertrutz Verl. für Brandschutzpublikationen, S. 30.

1. Obergeschoss bis zum Dachgeschoss baulich miteinander verbunden (es besteht jedoch keine Durchgangsmöglichkeit). Detaillierte Angaben zu den Abmessungen der Gebäude sind den Brandschutzplänen (Abb. 121 bis Abb. 124) zu entnehmen.

#### 4.2.3 Objektbeurteilung

##### Baurechtliche Einordnung

Es handelt sich nach Art. 2 Abs. 3 BayBO um Gebäude der Gebäudeklasse 4. Die Gebäudehöhen betragen im Mittel ca. 10,0 m. Die Gebäude sind nach Art. 2 Abs. 4 BayBO einzustufen als normale bauliche Anlagen ohne Räume besonderer Nutzung (kein Sonderbau) und lassen sich in einzelne Nutzungseinheiten (Wohnungen) einteilen, wobei keine der Einheiten über 400 m<sup>2</sup> misst.

##### Gefahrenreinschätzung

Es befinden sich weder besondere Brandgefahren noch besondere Brandlasten in den Wohnungen.

#### 4.2.4 Baulicher Brandschutz

Tab. 27 gibt die Bewertung der Brandabschnitte im Objekt wieder.

Das Gebäude Walderdorffstraße 4a steht an der südöstlichen Seite mit mehr als 2,50 m Entfernung zur Grenze. Der nötige Abstand von 5,0 m zum gegenüberliegenden Gebäude ist gegeben. Die Gebäudeabschlusswand an der nordwestlichen Grenze zum Haus Walderdorffstraße 4 hin enthält diverse Öffnungen, u. a. die Fenster des notwendigen Treppenraumes. Um dessen Entrauchung weiterhin zu gewährleisten, wird

die Brandwand an der Südwestseite des Gebäudes Walderdorffstraße 4 geführt. Die Fenster, die sich in diesem Bereich befinden, müssen durch F90-Festverglasung ersetzt werden (markiert in Abb. 123 und Abb. 124). An der Grenze zwischen dem Gebäudeteil Walderdorffstraße 2 und 4 wird ebenfalls eine Brandwand erforderlich. In der Brandwand an der Nordostseite der Walderdorffstraße 2 sitzen Fenster mit weniger als 5 m (4,51 m im Erdgeschoss und 4,40 m im 1. und 2. Obergeschoss) Abstand zum Nachbargebäude. Diese können jedoch aufgrund der geringen Unterschreitung des minimalen Abstands und der geringen Gefahr, die von dem Balkon an der Safferlingstraße 15 ausgeht, akzeptiert werden – eine festzustellende Abweichung.

Das Gebäude Safferlingstraße 15 und 17 wurde auf einem Grundstück erbaut und erreicht mit einer Ausdehnung von 37,01 m noch nicht die maximal zulässige Brandabschnittslänge von 40 m. Daher ist zwischen den Gebäudeteilen Safferlingstraße 15 und Safferlingstraße 17 keine Brandwand erforderlich.

##### Bauliche Ausbildung der Brandwände

Gemäß Art. 28 Abs. 5 BayBO sind Brandwände in der Gebäudeklasse 4 mindestens 30 cm über die Dachhaut zu führen oder in Höhe der Dachhaut mit einer beiderseits 50 cm auskragenden feuerbeständigen Platte aus nichtbrennbaren Baustoffen abzuschließen. Brennbare Teile des Daches dürfen nicht durch die Brandwand geführt werden. In den bestehenden Gebäuden führen die Brandwände lediglich bis unter die Dachhaut. Des Weiteren werden brennbare Teile der Konstruktion (Pfetten, Lattung) über bzw. durch die Brandwand geführt. Daher müssen die Brandwände im Dachgeschoss ertüchtigt werden. Die optimale Lösung wäre die bestehende Brandwand freizulegen und aufzustocken, bis sie mindestens 30 cm über die Dachhaut führt. An der Dachkonstruktion sind dann keine zusätzlichen

Brandabschnitt	Rechtsgrundlage	Anforderungen	Tatsächliche Ausführung	Mindestanforderung erreicht
äußere Brandwand	Art. 28 Abs. 2 Satz 1 BayBO	Gebäudeabschlusswand an der Grenze	Ertüchtigung der Bestandsituation nötig	<b>nein</b>
innere Brandwand	Art. 28 Abs. 2 Satz 2 BayBO	Zulässige Brandabschnittslänge: max. 40 m	Brandabschnittslänge: ca. 37,01 m	ja

Tab. 27 Brandabschnitte (Quelle: Schaal, Manuel; Riedl, Philipp; Grill, Jennifer, 2014)

Maßnahmen nötig (siehe Abb. 125). Als Alternative kann die Brandwand bis an die Dachhaut geführt werden und an beiden Seiten mit einer F60-Konstruktion ergänzt werden (Abb. 125 rechts). In diesem Fall ist jedoch eine Abweichung von den Anforderungen festzustellen, da die Konstruktion mit brennbaren Teilen ausgeführt wird. Die Abweichung ist gerechtfertigt unter Verweis auf das ministerielle Schreiben zum Bestandsschutz, da das Gebäude Teil eines Ensembles ist und sich das Gebäude mit einer sichtbaren Brandwand, die 30 cm aus der Dachkonstruktion ragt, von den restlichen Gebäuden optisch unterscheiden würde.

Ebert und Müller (2013)<sup>139</sup> haben die Bauteile des Gebäudes Safferlingstraße 15 analysiert. Die Ergebnisse lassen sich auf die restlichen Gebäude übertragen.

#### Kellergeschoss

Tab. 28 fasst die Situation für das Kellergeschoss zusammen. Die Wand wird als „Wand anstelle einer Brandwand“ gemäß Art. 28 Abs. 3 Satz 2 Nr. 1 BayBO angesehen und muss daher auch unter zusätzlicher mechanischer Belastung hochfeuerhemmend (hfh+M) sein.

Die Kellerdecke ist als Kappendecke ausgeführt, bestehend aus 3 cm starken Dielen, die von Lagerhölzern getragen werden. Die Hölzer sind in eine Sandschicht eingebettet, die auf einer Betonschicht liegt, die den Anschluss an eine Gewölbekonstruktion aus Ziegel und Stahlträgern bildet (Abb. 126). Die Stahlträger übernehmen hier die tragende Funktion und sind im Brandfall frei dem Feuer ausgesetzt. Deshalb muss hier davon ausgegangen werden, dass die Decken über keine Feuerwiderstandsklasse verfügen.

Auch wenn die Kellerdecke Bestandsschutz genießt, kann eine Anpassung an die heutigen Anforderungen mithilfe einer geeigneten Beplankung („Fireboard“) der Stahlträger an der unteren Seite und einer ausreichenden dicken Estrichschicht an der oberen Seite erreicht werden, wodurch die Decke auf die Feuerwiderstandsklasse F90-A (fb) ertüchtigt wird.

<sup>139</sup> Ebert, Markus; Müller, David (2013): Brandschutz-Analysen für das Plato-Wild-Ensemble. Studienarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.

Soll die Kellerdecke zusätzlich gedämmt werden, ist es ratsam, auf eine Gewölbedämmung zurückzugreifen, um Raumhöhe einzusparen. Dies kann durch nachträglich gedämmte Brandschutzplatten erfolgen. Alternativ ließe sich die Gewölbedämmung nachträglich vollflächig mit F90-Brandschutzplatten abhängen. Wichtig ist, dass auch die Aufhängung der Platten die Anforderung F90-A erfüllen muss.

#### Oberirdische Geschosse

Die Ergebnisse der Beurteilung finden sich in Tab. 29.

Brandwände: Die Wand wird als „Wand anstelle einer Brandwand“ gemäß Art. 28 Abs. 3 Satz 2 Nr. 1 BayBO angesehen und muss daher auch unter zusätzlicher mechanischer Belastung hochfeuerhemmend sein.

Decken über EG und OG: Die Geschossdecken sind Holzbalkendecken und können der Feuerwiderstandsklasse feuerhemmend (fh) aus brennbaren Bauteilen (F30-B) zugeordnet werden. Die heutige Anforderung hochfeuerhemmend (hfh) kann jedoch nicht erfüllt werden. Die Decken über dem Erdgeschoss sowie über dem 1. Obergeschoss genießen Bestandsschutz und müssen nicht ertüchtigt werden. Die Decke über dem 2. Obergeschoss ist jedoch von einem Dachgeschossausbau betroffen und müsste so ausgebaut werden, dass eine hochfeuerhemmende und raumabschließende Wirkung gegeben ist. Streng nach dem Schreiben des Innenministeriums zum Bestandsschutz wäre nur eine hochfeuerhemmende Wirkung von oben nach unten vorgeschrieben. Jedoch wäre es für den Schutz der Personen im Dachgeschoss sinnvoll, eine feuerhemmende Wirkung in beide Richtungen anzustreben. Diese erreicht man, indem lediglich die Oberseite der Decke erneuert wird und der Ausbau der Decke DIN 4102-4 Tab. 62 entspricht. Die untere Bekleidung der Holzbalken gilt hier als nicht vorhanden, die oberen Schichten garantieren die Feuerwiderstandsklasse. Eine Bemessung der Balken für den Brandfall wird er-

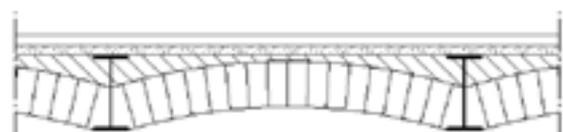


Abb. 126 Preußische Kappendecke mit freiliegenden Stahlträgern (Zeichnung: Zeitler)

Bauteile, Baustoffe	Rechtsgrundlage	Anforderung	Tatsächliche Ausführung	Mindestanforderung erreicht:
Tragende Wände und Stützen im KG	Art. 25 Abs. 2 BayBO	feuerbeständig	Mauerwerk und Stampfbeton, feuerbeständig	ja
Trennwände im KG	BayBO Art. 27 Abs. 2 u. 3	feuerbeständig und raumabschließend	Mauerwerk und Stampfbeton, feuerbeständig und raumabschließend	ja
Brandwand	Art. 28 Abs. 3 BayBO	hochfeuerhemmend, mechanisch belastbar	Mauerwerk, feuerbeständig	ja
Decke über KG	Art. 29 Abs. 2 Bay BO	feuerbeständig und raumabschließend	Kappendecke, ohne Feuerwiderstandsdauer	<b>nein</b>

Tab. 28 Exemplarische Brandschutzbeurteilung von Kellerwänden und Kellerdecke im Plato-Wild-Ensemble (Quelle: Schaal, Manuel; Riedl, Philipp; Grill, Jennifer, 2014)

forderlich.

Bei einer Komplettanierung sind alle Holzbalkendecken auf die Feuerwiderstandsklasse F60-B zu ertüchtigen; wie dies erfolgt, hängt davon ab, ob die alten Decken bestehen bleiben oder eine Entkernung geplant ist. Der Feuerwiderstand wird durch eine Estrichschicht und beidseitige Beplankung erreicht.

Geburtig (2014)<sup>140</sup> weist darauf hin, dass in Gebäuden der GKI 4 für die Geschossdecken zwar generell brennbare Bestandteile zulässig sind, aber tragende und aussteifende Bauteile allseitig eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffe aus nichtbrennbaren Baustoffen haben müssen. Die hfh-Klassifikation erreicht man für Holzbalkendecken nur über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise.<sup>141</sup> Daran ist die Prüfung des „Kapselkriteriums“ nach DIN EN 13501<sup>142</sup> geknüpft, das auch einen Raumabschluss einschließlich der Rauchgasübertragung umfasst und die Temperaturerhöhung auf der brandabgewandten Seite. Dieser Test lässt sich an einer Bestandskonstruktion natürlich nicht zerstörungsfrei durchführen, weshalb nur die Klassifikation F60-B nach DIN 4102-2 erzielt werden kann.

Um den Spitzboden im Dach als eigenständiges Geschoss nutzen zu können, müssten folgende Maßnahmen ergriffen werden: Ausbau mit Oberkante des Fertigfußbodens unter 13 m über dem Gelände, da das Gebäude sonst in Gebäudeklasse 5 fällt; Sicherstellung eines von der Feuerwehr einsehbaren und erreichbaren zweiten Rettungswegs (Dachflächenfenster sind

nicht ausreichend, da mehr als 1,0 m von der Traufkante entfernt); Tragkonstruktion (Stützen, Decke) im Dachgeschoss auf F60 ertüchtigen. Bedingt durch die Erschließung des Spitzbodens bliebe als Abweichung festzustellen, dass der notwendige Treppenraum entgegen Art. 33 Abs. 1 BayBO nicht durchgängig in alle Geschosse führt.

Aufgrund dieser Situation könnte der Spitzboden nur als Galeriegeschoss ausgebaut werden. Ein Galeriegeschoss gilt als nicht geschossbildend, daher ist weder ein zweiter Rettungsweg aus der Galerieebene noch ein Feuerwiderstand der Tragkonstruktion erforderlich. Voraussetzung für diese Bauart ist, dass Personen, die sich in der Galerie aufhalten, nicht stärker gefährdet sind als die Personen, die sich auf der unteren Ebene aufhalten. Um im Brandfall rechtzeitig alarmiert zu werden, muss das Geschehen auf der unteren Ebene von der Galerie aus überblickt und „erfahren“ werden können. Hierbei sind folgende Bedingungen einzuhalten:

- Die Galerie ist Bestandteil der unteren Dachgeschossesebene. Sie erstreckt sich im Wesentlichen auf den Raum (Hauptraum), mit dem sie in offener Sichtverbindung steht.
- Die Galerie ist nicht größer als die verbleibende Deckenöffnung zum Hauptraum (gemessen in Höhe der Galerie).
- Die Galerie hat keine angeschlossenen Aufenthaltsräume. Raumbildende Maßnahmen, z.B. durch Abgrenzung eines Raums, sind unzulässig.

#### Rettungswege

Die Bayerische Bauordnung fordert in Art. 31 Abs. 1 zwei voneinander unabhängige Rettungswege. Der erste Rettungsweg aus den Wohnungen führt stets durch den notwendigen Treppenraum (Tab. 30). Als zweiter Rettungsweg dienen Fluchtfenster zur Walderdorff- bzw. Safferlingstraße hin, das von den Rettungsgeräten der Feuerwehr erreicht werden kann. Die

<sup>140</sup> Geburtig, Gerd (2014): Für den Widerstand gerüstet. Den Brandschutz von Holzbalkendecken nachrüsten. In: Bauen im Bestand B+B (Bautenschutz und Bausanierung) (6), S. 36–39.

<sup>141</sup> M-HFHolzR (2004): Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise.

<sup>142</sup> DIN EN 13501-2:2010-2, „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten, Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen“.

Bauteile, Baustoffe	Rechtsgrundlage	Anforderung	Tatsächliche Ausführung	Mindestanforderung erreicht:
Tragende und aussteifende Wände und Stützen im EG	Art. 25 Abs. 1 BayBO	hochfeuerhemmend	Mauerwerk, feuerbeständig	ja
Tragende und aussteifende Wände und Stützen im Dachgeschoss und Spitzboden	Art. 25 Abs. 1 BayBO	<i>Ausbau des Spitzbodens als Galeriegeschoss</i> - keine Anforderung	Holztragwerk	ja
Außenwände	Art. 26 Abs. 2 BayBO	nicht brennbar	Mauerwerk, verputzt, nicht brennbar	ja
Brandwand	Art. 28 Abs. 3 BayBO	hochfeuerhemmend, mechanisch belastbar	Mauerwerk, feuerbeständig	ja
Decken über EG und OG's	Art. 29 Abs. 1 BayBO	hochfeuerhemmend	Holzbalkendecke, feuerhemmend	<b>nein</b>
Dachhaut	Art. 30 Abs. 1 BayBO	harte Bedachung	Ziegeldeckung, harte Bedachung	ja

Tab. 29 Brandschutzbeurteilung der oberirdischen Geschosse im Plato-Wild-Ensemble  
(Quelle: Schaal, Manuel; Riedl, Philipp; Grill, Jennifer, 2014)

Rettungswege sind ständig benutzbar zu halten. Sie dürfen nicht versperrt oder verstellt werden. Ihr Verlauf ist den Brandschutzplänen zu entnehmen.

Das Treppenhaus ist von Brandlasten und anderen hindernden Gegenständen frei zu halten (Regelung durch Hausordnung). Gemäß Art. 33 Abs. 1 BayBO wird für GKI 4 ein durchgängiger notwendiger Treppenraum gefordert. Der Treppenraum erstreckt sich vom Kellergeschoss bis zum Dachgeschoss. Da der Spitzboden als Galerie nicht als eigenes Geschoss gewertet wird, kann der Treppenraum als durchgängig angesehen werden. Wand- und Deckenbekleidungen innerhalb der notwendigen Treppenräume sind aus nichtbrennbaren Baustoffen (A) herzustellen. Bodenbeläge sind mindestens aus schwerentflammenden Baustoffen (B1) einzubauen (Art. 34 Abs. 5 BayBO). Für die bestehende Wand- und Deckenbekleidung sowie die Bodenbeläge besteht Bestandsschutz.

Der obere Abschluss des Treppenraums muss gemäß Art. 33 Abs. 4 BayBO hochfeuerhemmend und raumabschließend ausgeführt werden. Um einen Brandüberschlag von den Wohnungen zum Treppenhaus zu verhindern, ist dies auch in diesem Fall nötig. Hier gilt der Bestandsschutz nicht, da sich durch den Dachgeschossausbau ein höheres Gefahrenpotenzial ergibt. Als oberer Abschluss dient die Decke über dem Treppenraum. Um die hochfeuerhemmende und raumabschließende Funktion auch im Falle von herabfallenden Teilen der Dachkonstruktion zu gewährleisten, muss die Decke zusätzlich mechanisch belastbar sein. Als Maßnahme wäre hier u. U. der Neubau einer Betondecke unterhalb der Holzbalken denkbar.

Im Bestand ist der Zugang zum Kellergeschoss mit einer Stahltüre abgetrennt. Jedoch könnte im Brandfall im Kellergeschoss Feuer und Rauch bis zum Treppenbereich gelangen und den Holztrepplauf von unten

her in Brand setzen. Somit ist der erste Rettungsweg aus den Wohnungen bei einem Brand im Kellergeschoss gefährdet. Um den unteren Abschluss des Treppenraumes zu gewährleisten, müssen T30-RS-Türen in die Kellerwände eingebaut werden. Offene Kabelschächte im Bereich des notwendigen Treppenraums müssen entsprechend abgeschottet werden.

Öffnungen im Treppenraum (Art. 34 Abs. 6 BayBO) müssen zum Kellergeschoss feuerhemmend, rauchdicht- und selbstschließend (F30-RS) ausgeführt werden, zu den Wohnungen in Erd- und Obergeschossen vollwandig, dicht- und selbstschließend (VDS) und zu den Wohnungen im Dachgeschoss feuerhemmend, rauchdicht- und selbstschließend (T30-RS).

Die bestehenden Wohnungseingangstüren im Erdgeschoss sowie im 1. und 2. Obergeschoss sind einfache Holztüren ohne Feuerwiderstand oder dicht- bzw. selbstschließende Funktion, genießen jedoch Bestandsschutz. Die Türen sollten mit einem Selbstschließmechanismus versehen sein. Dies stellt eine kostengünstige Maßnahme dar. Im jetzigen Zustand kann bei Bränden in den Wohnungen der Rauch direkt ins Treppenhaus gelangen, wenn die Flüchtenden die Wohnungseingangstüren offen stehen lassen. Bei einer Komplettanierung müssten die Wohnungseingangstüren durch VDS-Türen ersetzt werden.

Für neue Wohnungen im Dachgeschoss sollten die heutigen Regeln eingehalten werden. Einige der heutigen Anforderungen werden im bestehenden Treppenraum nicht erfüllt, daher sind Kompensationsmaßnahmen nötig. Zudem sind die Wohnungen im Dachgeschoss aufgrund der Rauchbildung besonders gefährdet. Die Wohnungseingangstüren sollten hier nicht nur VDS, sondern feuerhemmend, rauchdicht und selbstschließend (T30-RS) sein.



Rettungswegführung	Rechtsgrundlage	Anforderung	Tatsächliche Ausführung	Mindestanforderung erreicht:
Treppenlauf	Art. 32 Abs. 4 BayBO	nicht brennbar	Holtreppenlauf, brennbar	<b>nein</b>
Treppenräume	Art. 33 Abs. 1 BayBO	durchgehend	durchgehend	ja
Treppenraumwände	Art. 33 Abs. 4 BayBO	hochfeuerhemmend, mechanisch belastbar und raumabschließend	Mauerwerk, feuerbeständig, mechanisch belastbar und raumabschließend	ja
Rettungsweglänge	Art. 33 Abs. 2 BayBO	max. 35 m	< 30 m	ja

Tab. 30 Erster Rettungsweg über den notwendigen Treppenraum (Quelle: Schaal, Manuel; Riedl, Philipp; Grill, Jennifer, 2014)

Zudem ist an der Decke im notwendigen Treppenraum ein Rauchwarnmelder anzubringen, der mit den vorhandenen Rauchwarnmeldern in den Dachgeschosswohnungen per Funk zu vernetzen ist. Im Falle einer Rauchbildung im Treppenhaus werden die Bewohner in den Dachgeschosswohnungen rechtzeitig gewarnt und sind dank der T30-RS-Türen mindestens 30 Minuten vor Brand und Rauch geschützt. Diese Zeit verbleibt, um von der Feuerwehr über den zweiten Rettungsweg gerettet zu werden. Alternativ können die bestehenden Wohnungseingangstüren aller oberirdischen Geschosse vollwandig, dicht- und selbstschließend ausgeführt bzw. ertüchtigt werden.

Die Bad- bzw. WC-Fenster im Bereich der überdachten Eingangsbereiche der Gebäudeteile Walderdorffstraße 2 und 4 könnten dazu führen, dass austretender Rauch den Fluchtweg über das Treppenhaus unbenutzbar macht. Von diesen Räumen geht aber nur eine geringe Brandgefahr aus, sodass hier keine Maßnahmen getroffen werden müssen.

Zweiter Rettungsweg: Als zweiter Rettungsweg sind Fluchtfenster vorgesehen, die von der Straße erreichbar sind. Folgende Mindestanforderungen sind zu erfüllen (Art. 35 Abs. 4 BayBO):

„Fenster, die als Rettungswege nach Art. 31 Abs. 2 Satz 2 BayBO dienen, müssen in der Breite mindestens 0,60 m, in der Höhe mindestens 1 m groß, von innen zu öffnen und nicht höher als 1,20 m über der Fußbodenoberkante angeordnet sein. Liegen diese Fenster in Dachschrägen oder Dachaufbauten, so darf ihre Unterkante oder ein davor liegender Austritt von der Traufkante horizontal gemessen nicht mehr als 1 m entfernt sein.“

Die bestehenden Fluchtfenster aus Erdgeschoss, 1. und 2. Obergeschoss erfüllen diese Anforderung. Die Fluchtfenster der innenhofzugeneigten Wohneinheiten in der Walderdorffstraße 4a können mit einer Tragleiter angeleitet werden. Im Falle eines Dachgeschossausbaus in der Walderdorffstraße 4a muss darauf geachtet werden, dass eine Rettung nur von der Walderdorffstraße aus möglich ist. Deshalb ist im Dachgeschoss lediglich eine Wohneinheit möglich, die

über ein Fluchtfenster in Richtung Walderdorffstraße verfügt.

#### Durchdringungen

Werden raumabschließende Bauteile nachträglich mit Versorgungsschächten oder einzelnen Leitungen durchdrungen, so sind diese durch eine für die durchdringende Leitung geeignete brandschutztechnische Abschottung zu verschließen. Anderenfalls müssen Schächte an jeder senkrechten Zu- oder Ableitung eine geeignete Brandschutzabschottung aufweisen. Die Anforderungen nachgerüsteter Abschottungen ergeben sich aus den aktuellen Richtlinien und nicht nach den tatsächlich bestehenden Bauteilen. Wird z.B. die Kellerdecke durchdrungen, sind die Abschottungen feuerbeständig auszuführen, auch wenn die Decke tatsächlich keine Feuerwiderstandsklasse aufweist. Zudem sind die jeweiligen Einbauanleitungen und Herstellerzulassungen zu beachten.

#### 4.2.5 Anlagentechnischer Brandschutz

##### Rauchabzug und Rauchmelder, Blitzschutz

Der Rauchabzug im Treppenhaus wird gemäß BayBO Art. 33 Abs. 8 BayBO durch Fenster in jedem oberirdischen Geschoss mit jeweils einem freien Querschnitt von mind. 0,5 m<sup>2</sup>, die geöffnet werden können, realisiert (Tab. 31). Um Raucheintritt in neue Dachgeschosswohnungen zu verhindern und eine wirksame Entrauchung des Treppenhauses zu ermöglichen, muss das oberste Fenster im Treppenhaus der Gebäude Walderdorffstraße 2 und 4 in dieser Form erneuert werden. Es muss über einen Öffnungsmechanismus vom Treppenpodest aus bedient werden können.

Seit dem Januar 2013 sind mit Einführung der neuen Bayerischen Bauordnung gemäß Art. 46 Abs. 4 Rauchwarnmelder in Wohnungen in Schlafräumen, Kinderzimmern sowie in Fluren, die zu Aufenthaltsräumen führen, vorgeschrieben. Bei der Errichtung neuer Dachgeschosswohnungen ist diese Regelung zu beachten. Die bestehenden Wohnungen sind ebenfalls

Rauchabzug	Rechtsgrundlage	Anforderung	Tatsächliche Ausführung	Mindestanforderung erreicht:
Rauchabzug im Treppenraum	Art. 33 Abs. 8 BayBO	Fenster mit $A \geq 0,5\text{m}^2$ in jedem Geschoss	Ertüchtigung der Bestandsituation nötig	<b>nein</b>
Rauchmelder	Rechtsgrundlage	Anforderung	Tatsächliche Ausführung	Mindestanforderung erreicht:
Rauchmelder	Art. 46 Abs. 4 BayBO	Rauchmelder in Schlaf-, Kinderzimmer und Rettungswegen	Rauchmelder in Schlaf-, Kinderzimmer und Rettungswegen	ja

Tab. 31 Rauchabzug und Rauchmelder  
(Quelle: Schaal, Manuel; Riedl, Philipp; Grill, Jennifer, 2014)

bis spätestens 31. Dezember 2017 dementsprechend auszustatten. Im Geschosswohnungsbau sind in der Praxis in allen als Schlafräume nutzbaren Räume (alle außer Bad, WC, Küche und Abstellkammern) Rauchwarnmelder anzubringen. Es bestehen keine Anforderungen an eine Brandmeldeanlage.

Lt. Art. 44 BayBO sind bauliche Anlagen, bei denen Blitzschlag leicht eintreten oder zu schweren Folgen führen kann, mit dauernd wirksamen Blitzschutzanlagen zu versehen. Der Gebäudekomplex ist frei stehend und von gleich hohen Gebäuden umgeben. Daher wird empfohlen, dieses mit einer dauernd wirksamen Blitzschutzanlage zu versehen. Besondere Beachtung verdient ein eventuell zu errichtender Kamin für eine zentrale Feuerungsanlage in Verbindung mit einem Holzvergaser-Blockheizkraftwerk (Kapitel G).

#### Haustechnische Anlagen, Feuerungsanlagen

Auf den bestehenden Leitungsanlagen besteht Bestandsschutz. Grundsätzlich sind alle neu zu errichtenden Leitungen nach der Musterleitungsanlagenrichtlinie (MLAR) mit den jeweiligen Brandschutzanforderungen zu schotten, unter Beachtung der Einbauanleitungen und Herstellerzulassungen. Dies gilt auch für eine Leitungssanierung, da hier der Bestandsschutz verfällt.

Eine nachträglich verbaute Lüftungsanlage mit geeigneter Lüftungszentrale hat der Musterlüftungsanlagenrichtlinie (MLüAR) zu entsprechen, Lüftungsschächte sind wie in 4.2.4 beschrieben auszuführen.

Der Heizraum muss den Bestimmungen der Feuerungsverordnung (FeuV) genügen. Im Falle einer Änderung der Energieversorgung (Kapitel G, Abschnitt 2 „Energiezentrale“) nach den geltenden Bestimmungen muss der bauliche Brandschutz neu bewertet werden. Gemäß der Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen (EltBauV) sind eigene elektrische Betriebsräume erst für Nennspannungen über 1 kV nötig. Dies trifft hier nicht zu.

## 4.2.6 Organisatorischer Brandschutz

Eine Brandschutzordnung, Flucht- und Rettungspläne sind nicht erforderlich. Empfehlenswert im Hinblick auf die Rettung der Bewohner in den oberen Geschossen ist die Anfertigung von Feuerwehrplänen sowie einer Objektbeschreibung nach DIN 14095. Diese sind aber in der Regel nur bei Sonderbauten verpflichtend.

#### Abwehrender Brandschutz

Die erforderlichen Flächen für die Feuerwehr (Art. 5 Abs. 2 BayBO) können dem Brandschutzplan (Abb. 121) entnommen werden. Gegebenenfalls sind Parkverbote entlang der Straßen zu erlassen, um die nötigen Aufstellflächen sicherzustellen.

Die Löschwasserversorgung muss laut DVGW V 405 96  $\text{m}^3/\text{h}$  für min. 2,0 Stunden betragen. Diese Leistung ist mit der örtlichen Feuerwehr abzustimmen und durch den Bauherren sicherzustellen. Hierbei ist der zuständige Wasserversorger einzuschalten. Eine Löschwasserrückhaltung ist nach der Richtlinie zur Bemessung von Löschwasser-Rückhalteanlagen beim Lagern wassergefährdender Stoffe (LöRüRI) nur dann erforderlich, wenn sich wassergefährdende Stoffe in großen Mengen in dem betroffenen Gebäude befinden.

Zur Brandbekämpfung von Entstehungsbränden in den einzelnen Wohnungen sind Handfeuerlöscher zu empfehlen, die im Treppenhaus aufgestellt werden und somit von allen Wohneinheiten zugänglich sind.

1.	Modernisierung Wohnungsgrundrisse	156
1.1	Grundlagen	156
1.2	Entwürfe Grundrisse und Fassade	156
1.3	Entwürfe Nachverdichtung	159
1.4	Entwürfe Innenhofgestaltung	162
2.	Kontrollierte Be- und Entlüftung	165
2.1	Grundlagen	165
2.2	Warum wird belüftet	165
2.3	Wie wird gelüftet	165
2.4	Hygiene, Reinigung und Wartung	166
2.5	Schallschutz	166
2.6	Zentrale Lüftungsanlagen	166
2.7	Dezentrale Anlagen	166
2.8	Wärmerückgewinnung	167
2.9	Kanalordnung und -verlegung	167
2.10	Grundsätzliche Lüftungsarten	169
2.11	Behaglichkeit	169
2.12	Projektbeispiele	170
3.	Feuchte in Holzbalken	173
3.1	Grundlagen	173
3.2	Studien zur Problemstellung	173
3.3	Rückschluss aus den Studien	175
4.	Konstruktionsdetails	177
4.1	Grundlagen	177
4.2	Detail Sockel	178
4.3	Detail Fenster	180
4.4	Detail Deckeneinbindung	182
4.5	Detail Traufe	186

Quelle Titelbild: Frank, Haindl, Meier, Stanescu (2013): Bauen im Bestand. OTH Regensburg



## Teil E Architektonische Modernisierung

# 1. Modernisierung Wohnungsgrundrisse

## 1.1 Grundlagen

Entsprechend dem Nutzungs- und Konservierungskonzept, müssen Teile der Grundrisse modernisiert werden, um den aktuellen Anforderungen zu entsprechen. Weiterhin gilt es, einen geeigneten Umgang mit der bauhistorisch wertvollen Fassade im Zuge der Modernisierung zu finden. Von besonderer Bedeutung sind hier die der Wohnung zugeordneten Aufenthaltsbereiche im Freien. Wie bereits festgestellt, würde das Anbringen neuer Balkone das Fassadenbild nachhaltig beeinträchtigen. Deshalb muss nach Lösungen gesucht werden, die das Fehlen der Balkone kompensieren, z. B. durch die Entwicklung der inneren Bereiche des Ensembles zu Freiflächen für die gemeinschaftliche oder individuelle Nutzung.

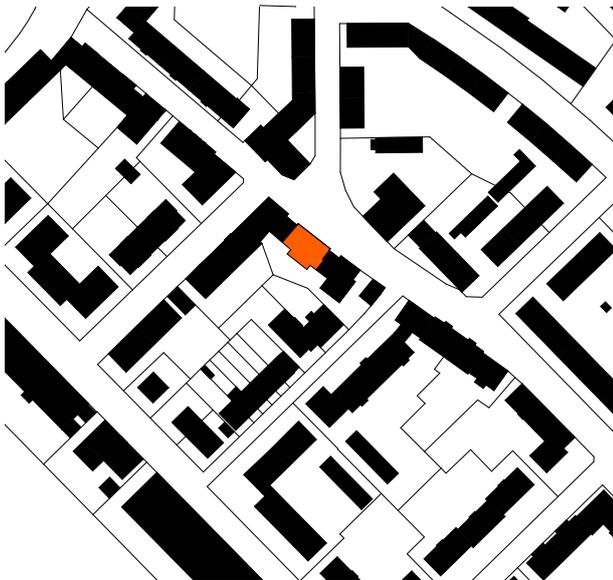


Abb. 127 Lageplan Plato-Wild-Siedlung

Quelle: Hoffmann, Meier, Queck, Smettan (2013):  
Bauen im Bestand. OTH Regensburg

## 1.2 Entwürfe Grundrisse und Fassade

Im Folgenden werden ausgewählte Studienarbeiten vorgestellt, um an deren Beispiel gelungene Ansätze von Grundrissmodernisierungen und eine angemessene Behandlung von Bestandsfassaden zu diskutieren.

Im ersten vorliegenden Entwurf der Gruppe Hoffmann, Meier, Queck und Smettan (Abb. 128) wird die Grundrissstruktur des Bestandsgebäudes infolge der engen Zonierung von jeweils drei Wohnungen pro Geschoss zu je zwei Wohnungen auf einem Geschoss verändert. Unter Beibehaltung der wesentlichen Tragstruktur des Bestands ergeben sich dabei je Geschoss

zwei großzügige Wohnungen mit einer Fläche von ca. 60 m<sup>2</sup> bzw. 70 m<sup>2</sup>, die um einen beiden Wohnungen zuschaltbaren Raum angeordnet werden. Ein zentraler Installationsschacht wird in einem an diesen Raum angelagerten ehemaligen Kaminschacht integriert. Trotz der weitgehenden Umstrukturierung bleibt durch diese behutsamen Eingriffe in das Tragwerk der Bestandsschutz hinsichtlich der Brandschutzanforderungen gewahrt. Die Ausformulierung der Wohnungen als Dielengrundrisse ermöglicht zudem den Einbau einer zentralen Lüftungsanlage im Bereich der abgehängten Decken.

Dem in Abb. 129 dargestellten Fassadenentwurf liegt die historische Ansicht von 1913 zugrunde. Die bestehende Straßenseite (Abb. 130) wird durch Stuckverzierung aufgewertet und der durch Naturstein abgesetzte Sockelbereich beibehalten. Um die horizontale kleinteilige Gliederung weiter zu verstärken, werden die Fenster in der Fassade durch zwei-flügelige Sprossenfenster mit Dreifachverglasung und Fensterläden aus Holz ersetzt. Im Bereich des Dachs ergänzen neu gesetzte Gauben das Fassadenbild selbstverstehend und komplettieren somit die Forderungen des Nutzungs- und Konservierungskonzeptes in diesem Beispiel.

Die Umstrukturierung im Entwurf von Anja Kopp und Franziska Gareis (Abb. 131) zeigt ebenso den Entwurfsansatz des Bestandsschutzes durch weitgehende Erhaltung der tragenden Wände. Die auch hier angewandte Reduzierung der Wohnungen von drei auf zwei pro Geschoss zugunsten der Wohnflächen ermöglicht dabei verbesserte Grundrisszuschnitte mit aufgeweiteten Gangzonen sowie die Ergänzung vorher nicht vorhandener Bäder. Lastabfangende Stahlträger ermöglichen weiterhin eine Neugliederung der Wohnungsstruktur mit offenen Wohn-, Koch- und Essbereichen.

Die Sanierung der Fassade (Abb. 132) wird durch die Wiederherstellung und Betonung des horizontalen Charakters bestimmt: Unter Verzicht der aufwendigen Rekonstruktion des Gesimses wurde die historische Fenstergestaltung durch die Entfernung der Rollladenkästen und die Ergänzung von Fensterläden wieder aufgenommen, die ehemals einflügeligen Fenster mit geklebter Sprosse werden durch zwei-flügelige Fenster ersetzt, um im geöffneten Zustand mehr nutzbare Raumfläche zu erreichen.

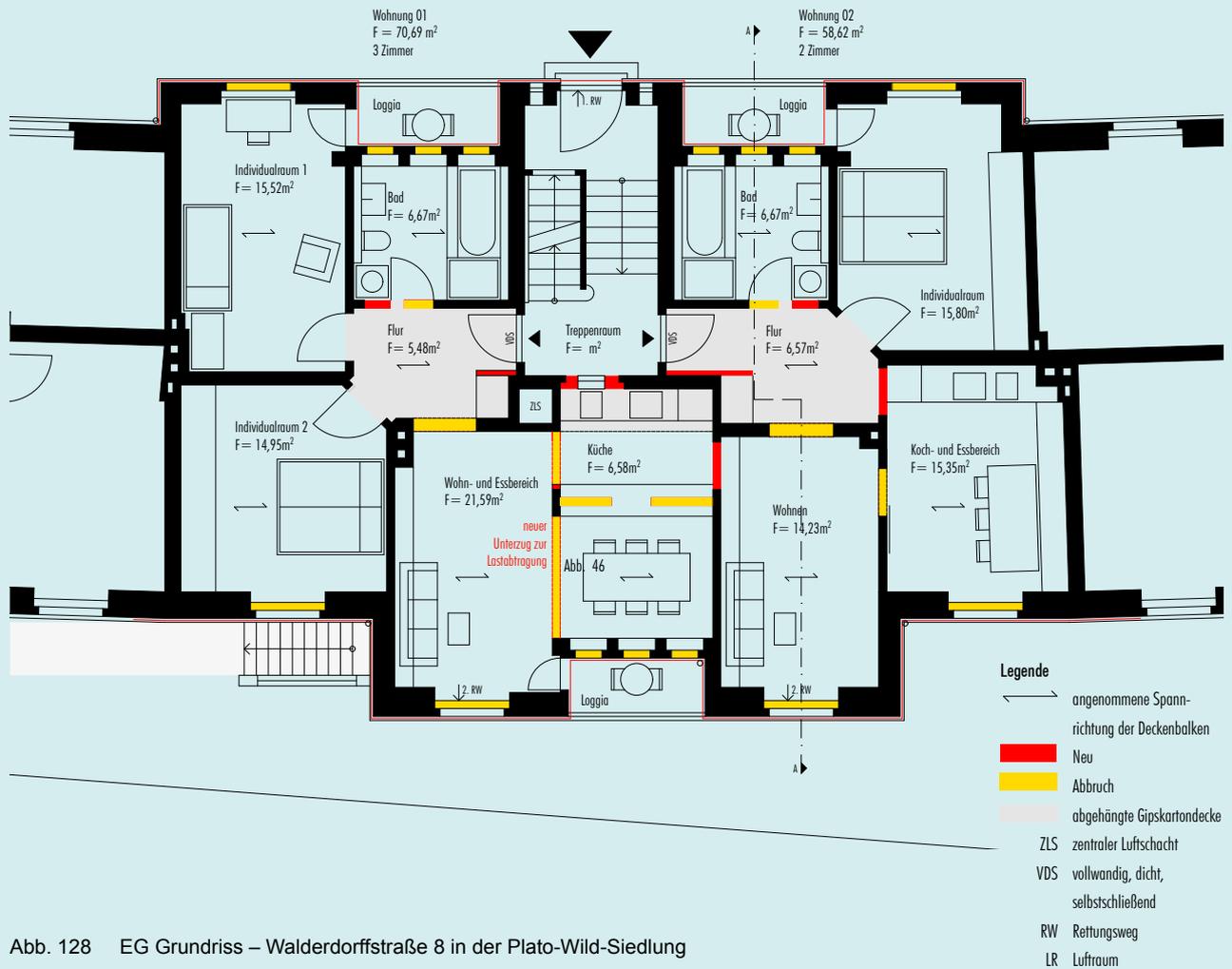


Abb. 128 EG Grundriss – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung



Abb. 129 Entwurf Straßenfassade – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung



Abb. 130 Bestand Straßenfassade

Studienarbeit Hoffmann, Meier, Queck, Smettan (2013): Bauen im Bestand. OTH Regensburg

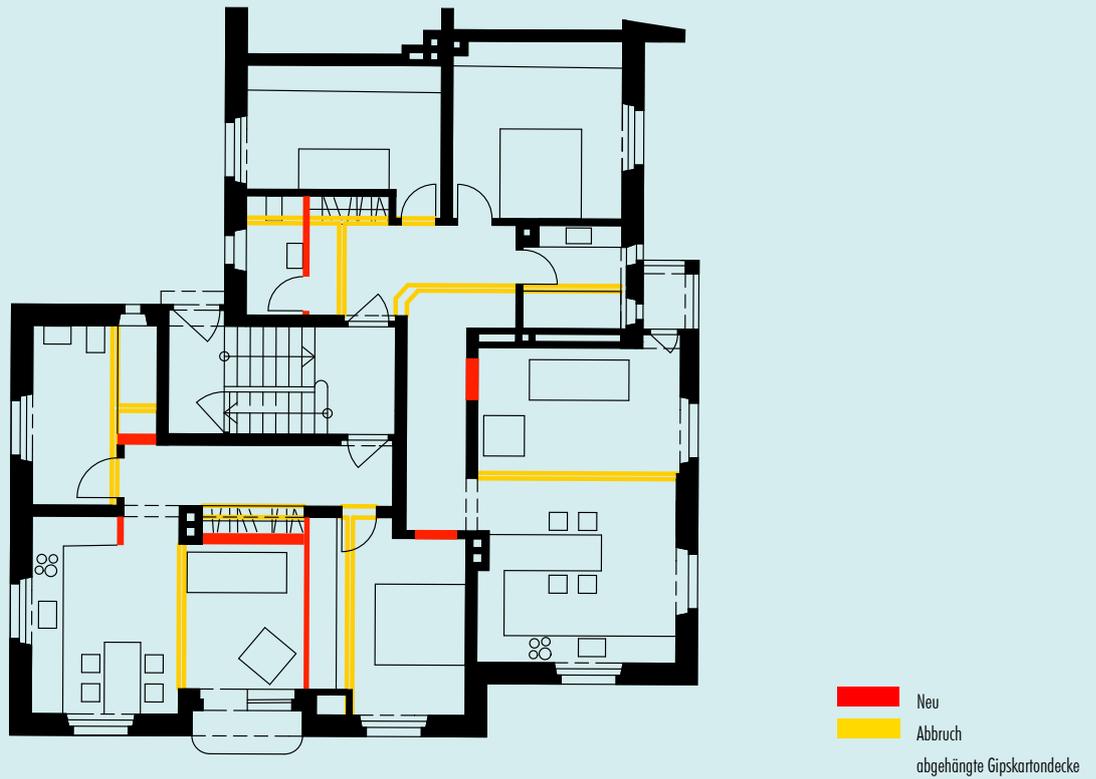


Abb. 131 EG Grundriss – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung

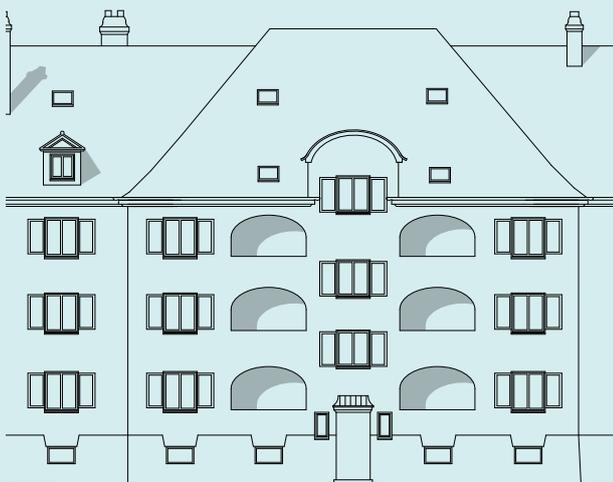


Abb. 132 Entwurf Straßenfassade – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung

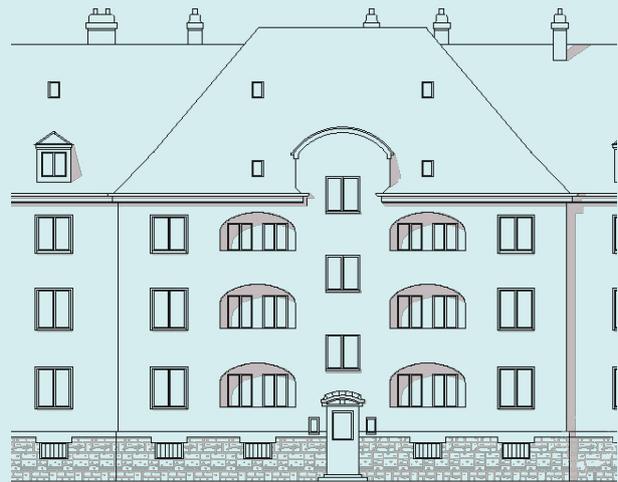


Abb. 133 Bestand Straßenfassade

Studienarbeit Kopp, Anja; Gareis, Franziska (2013): Bauen im Bestand. OTH Regensburg

### 1.3 Entwürfe Nachverdichtung

Der Ausbau der Dachräume im Zuge einer zielführenden Nachverdichtung des begrenzten Wohnraumes wird im folgenden Kapitel anhand zweier Beispiele erläutert.

Im Zuge eines das Erscheinungsbild des Ensembles erhaltenden Eingriffs in die Dachebene wird zum einen die Wirtschaftlichkeit der bestehenden Struktur erhöht, indem unter Beibehaltung der Baumasse bestehende Erschließungskerne mitbenutzt werden und des Weiteren durch effizientere Ausnutzung der Gebäudehülle die Energiebilanz des Ensembles verbessert wird.

Da diese Modernisierungsmaßnahmen einen erheblichen Eingriff in die Strukturen des Bestands mit sich bringen, sind in diesem Zusammenhang die Anforderungen des Kapitels Brandschutz zu berücksichtigen.

Der im vorherigen Kapitel anhand des Regelgeschosses aufgezeigte Entwurf von Hoffmann, Meier, Queck und Smettan sieht die Umstrukturierung des Dachgeschosses zu zwei Maisonettewohnungen mit überhöhtem Essbereich und einem großzügigen Wohnbereich vor (Abb.136/Abb.137). Unter Berücksichtigung nutzbarer Raumhöhen werden die Wohnflächen hierbei über eine interne Erschließung durch eine eingezogene Schlafgalerie erweitert, im Essbereich ankommend dient eine Leiter als zweiter Fluchtweg dieser Ebene. Der nachträgliche Einbau zweier Badezimmer wird richtigerweise an der Wohnungstrennwand verortet und dabei der in den Regelgeschossen beschriebene Installationsschacht mitbenutzt.

Die raumbezogene, aber auch historisch richtige Ergänzung und Anordnung der Gauben in Größe und Lage (Abb.138) verstärkt den offenen Gestus der Wohnung. Für eine ausreichende Belichtung der Räume sorgt eine um ca. 60% vergrößerte Belichtungsfläche der Gauben, indem diese durch ein Glasdach mit ziegelroter Abschirmung ergänzt werden (Abb. 134).

Der Entwurf von Anja Kopp und Franziska Gareis (Abb. 139) zeigt dagegen die Vorgehensweise, eine räumliche Zonierung des Dachgeschosses durch einen eingestellten Sanitärkern zu erzeugen und dabei durch weitgehende Entfernung der Wandstrukturen einen offenen Grundriss unter der bestehenden Dachlandschaft zu erzeugen.

Die Kubatur des Gebäudes ohne Kniestock sowie die Fassadengestaltung werden durch die gegebene ausreichende Belichtungssituation im historischen Zustand belassen (Abb. 140/Abb. 141).

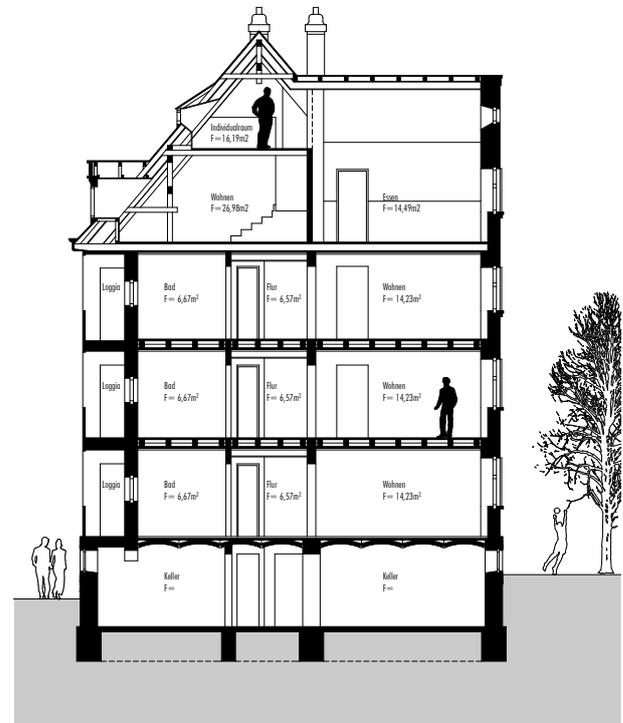


Abb. 134 Schnitt durch das Gebäude

Quelle: Haindl, Frank, Meier, Stanescu (2013):  
Bauen im Bestand. OTH Regensburg

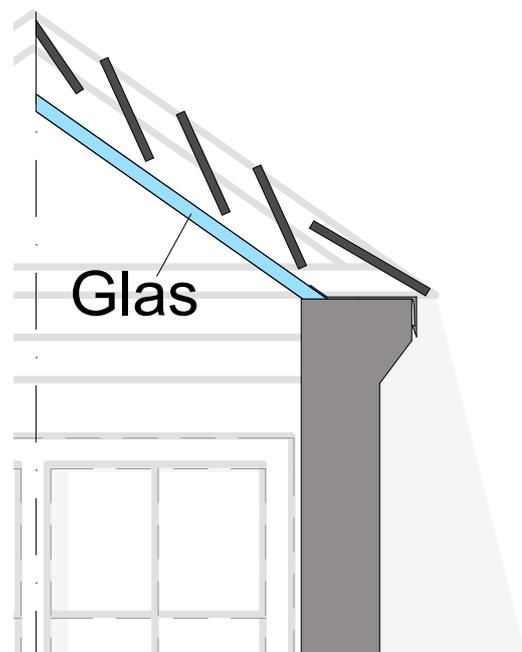


Abb. 135 Schnitt durch die neue Gaupe

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg

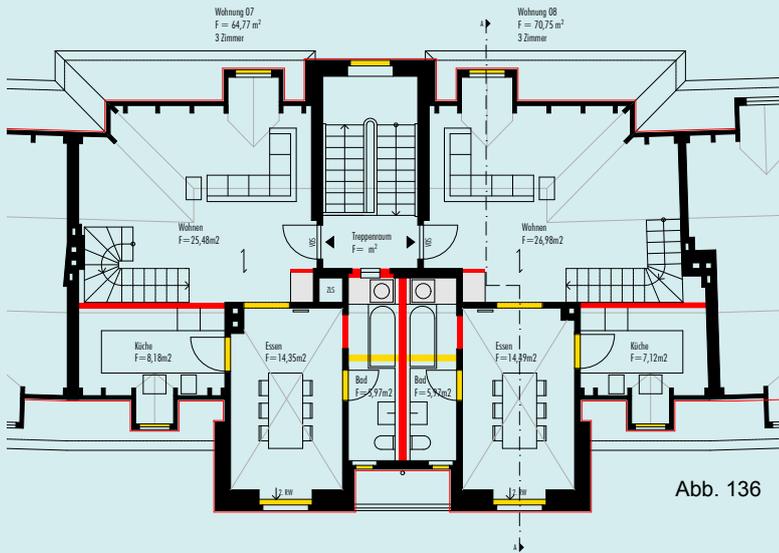


Abb. 136 DG Grundriss – Walderdorfstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung

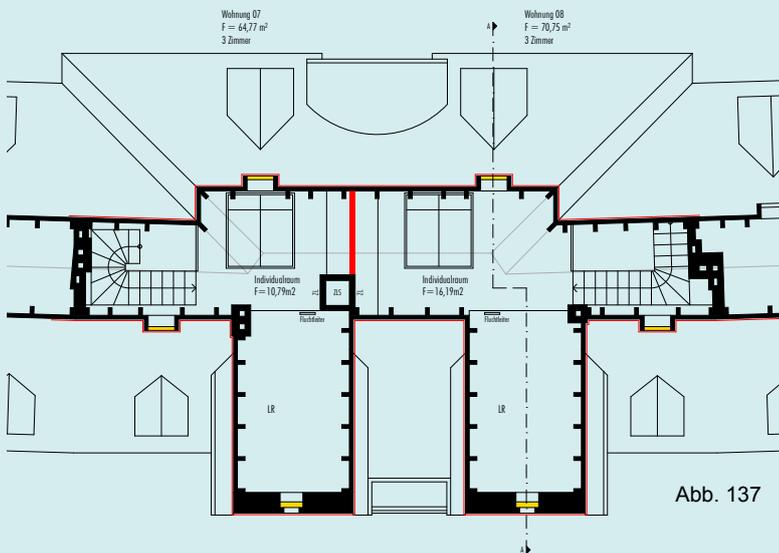


Abb. 137 Grundriss Galeriesgeschoss – Walderdorfstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung



Abb. 138 Entwurf Hoffassade – Walderdorfstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung

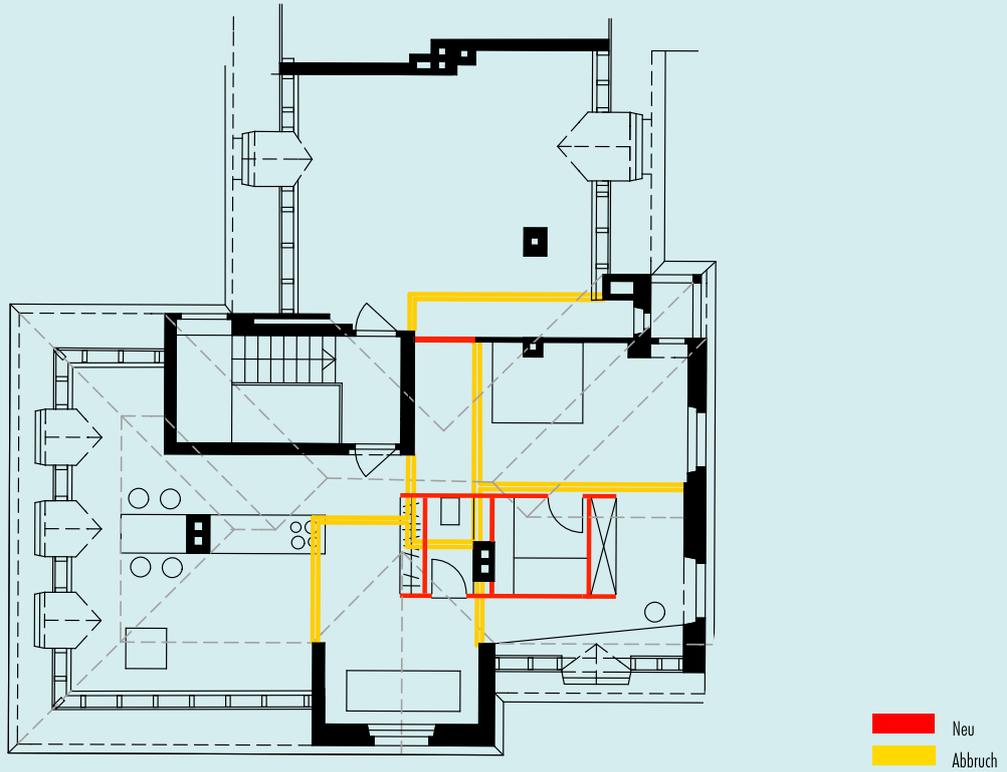


Abb. 139 DG Grundriss – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung



Abb. 140 Historische Ansicht Plato-Wild-Siedlung



Abb. 141 Historische Ansicht Plato-Wild-Siedlung

Studienarbeit Kopp, Gareis (2013): Bauen im Bestand. OTH Regensburg

## 1.4 Entwürfe Innenhofgestaltung

Neben der Beschäftigung mit der bestehenden Bausubstanz an sich stellt der adäquate Umgang mit vorhandenen Freiflächen einen wichtigen Bestandteil in der architektonischen Modernisierung dar. Da die nachträgliche Anbringung von privaten Freisitzen in Form von Balkonen hinsichtlich des Ensembleschutzes nicht möglich ist, kommt der Aktivierung des Innenhofes des Plato-Wild-Ensembles als private, aber auch gemeinschaftlich genutzte Freifläche eine besondere Bedeutung zu und bietet zusätzlich das Potenzial einer Aufwertung des Freiflächenbestands von bloßen Abstellflächen (Abb. 142) zu hochwertigen Freiräumen. Zwei studentische Arbeiten dienen im Folgenden exemplarisch als Betrachtungsgrundlage.

Im Entwurf von Hoffmann, Meier, Queck und Smettan wird der Baumbestand des Innenhofes erhalten und durch eine differenzierte Ausformulierung verschiedener Nutzungen von Spielplätzen über Nutzgärten bis hin zu Terrassenflächen aufgewertet. Im Ein-

schnitt des Ensembles zur Plato-Wild-Straße ergänzt ein neu gepflanzter Baum das Gartenkonzept.

Im Gegensatz zur offenen Raumstruktur des ersten Entwurfs verfolgt die Gruppe Duschl, Gassner, Neuhoff und Pleidl das Konzept von in den Innenhof eingestellten abgetrennten Funktionsboxen. Um Anwohnern die Möglichkeit von privaten Nutzungen im gemeinschaftlichen Hof zu ermöglichen, werden Pavillons in Holzbauweise als Treffpunkte aufgestellt und in einer zentralen Funktionswand mit Anschlüssen für Wasser und Strom versorgt. Als überdachte Terrassen, die auf zwei Seiten komplett geöffnet werden können (Abb. 145), können diese Einheiten selbst bei Regen genutzt werden.

Dieses Prinzip der lose in den Freiraum gestreuten Boxen kann in weiteren Planungen auf künftige Pavillons übertragen werden, die im Zuge einer Verdichtung ggf. neu benötigte Funktionen wie eine Kletterwand oder Kinderspielplätze aufnehmen.



Abb. 142 Foto Bestand Plato-Wild-Ensemble

Quelle: Michalski, Martha; Prifling, Marian; Schmidt, Dominik (2013): Gemeinnütziger Wohnungsbau der Zwischenkriegszeit

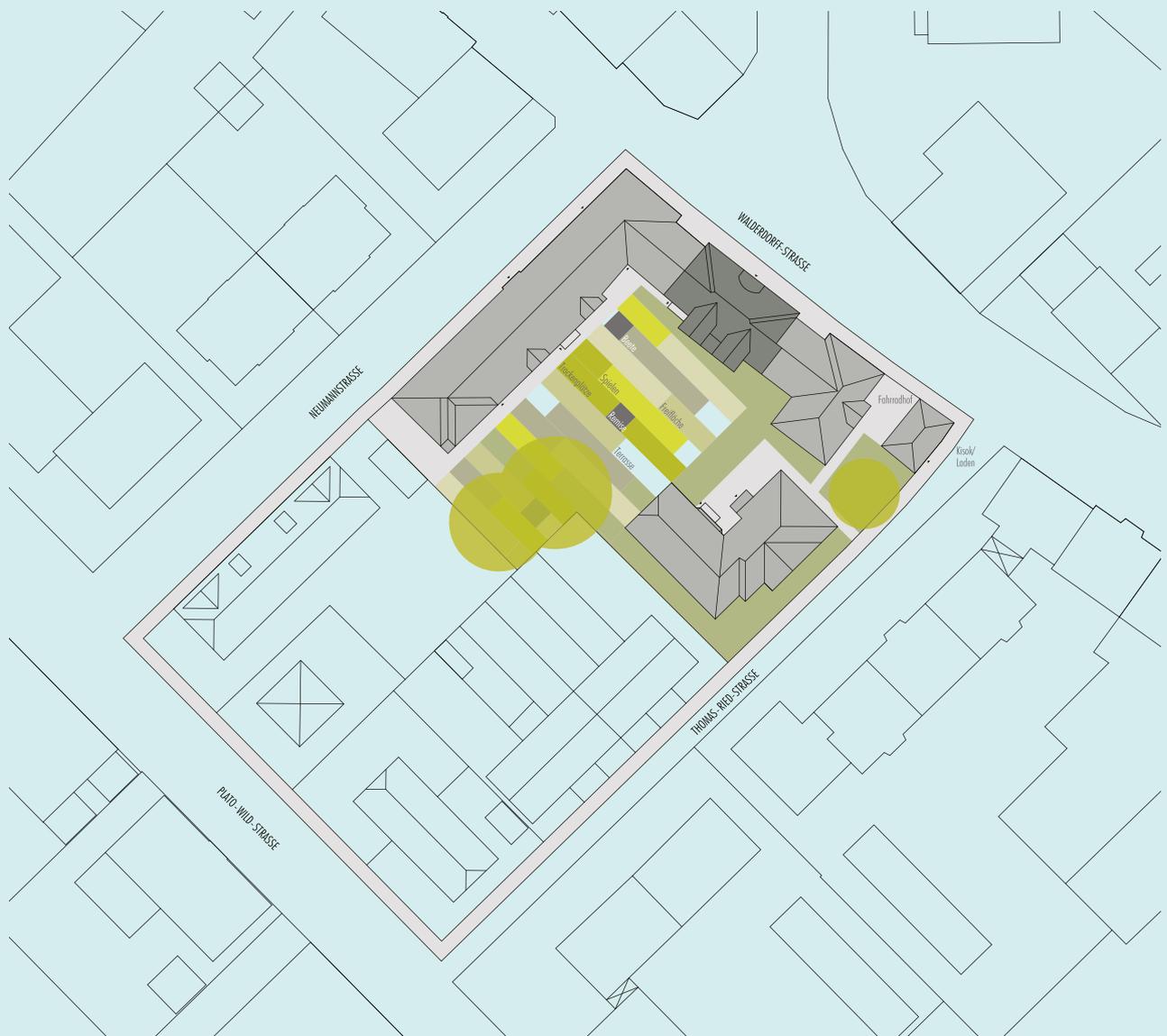


Abb. 143 Freiflächengestaltung Innenhof – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung

- Freiflächen (Wiese)
- Terrassen (Holzbelag)
- Beete
- Trockenplätze
- Spielen

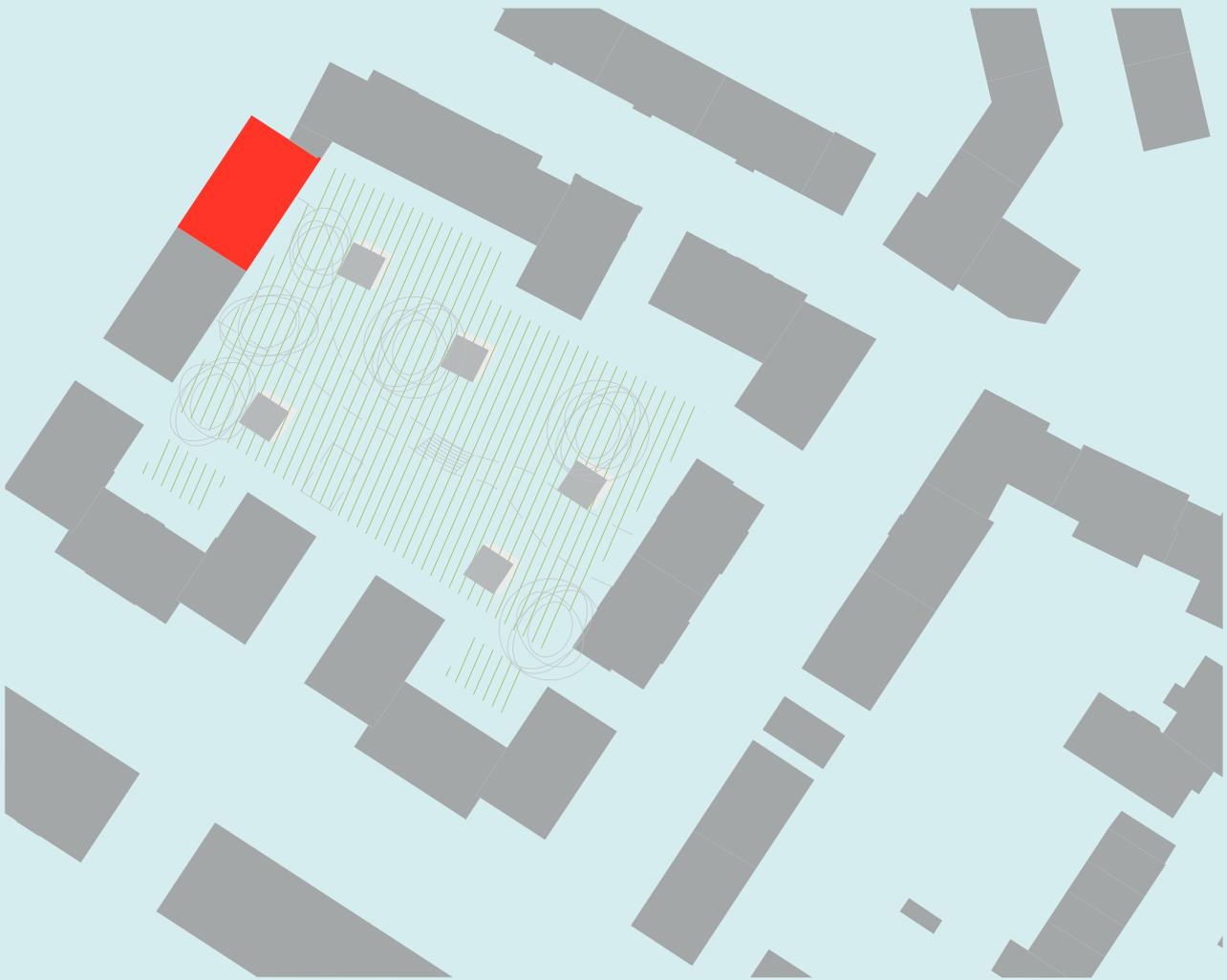


Abb. 144 Freiflächengestaltung Innenhof – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung

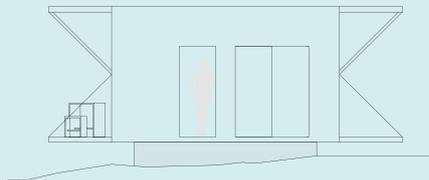
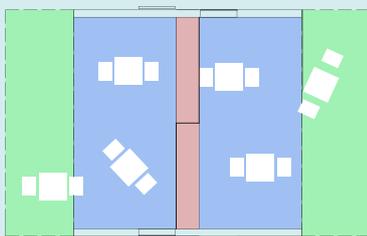


Abb. 145 Grundriss und Systemschnitt Pavillons – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung

**Studienarbeit Duschl, Gassner, Neuhoff, Pledl (2013): Bauen im Bestand. OTH Regensburg**

# 2. Kontrollierte Be- und Entlüftung

## 2.1 Grundlagen

Eine kontrollierte Wohnraumlüftung (KWL) ist ein System zur definierten und kontrollierten Be- und Entlüftung von Wohnungen, Gebäuden etc. In der Regel besteht eine solche Anlage aus einem Lüftungszentralgerät, einer Regeleinheit, einem Kanalsystem sowie meist einem System zur Wärmerückgewinnung. Durch die Kombination von Be- und Entlüftung kann der Raum gleichzeitig mit frischer Zuluft versorgt und verbrauchte Raumluft abgeführt werden. Kombinierte Be- und Entlüftungsanlagen garantieren eine optimale Luftführung und einen einwandfreien Luftzustand im Raum. Ein weiterer großer Vorteil ist die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung. Durch Reduzierung der Transmissionswärmeverluste aufgrund höherer Wärmeschutzanforderungen für die Außenbauteile steigt der prozentuale Anteil der Lufterwärmungsverluste. Will man die Wärmeverluste weiter reduzieren, so muss man in erster Linie bei den Lufterwärmungsverlusten ansetzen. Unter Zugrundelegung eines hygienisch vertretbaren Luftwechsels ist dies nur durch eine Wärmerückgewinnung aus der Abluft möglich, wie sie die KWL erlaubt. Für Niedrigenergie- und Passivhäuser wird deshalb die kontrollierte Wohnraumlüftung vorgeschrieben.

## 2.2 Warum wird belüftet?

Durch die EnEV 2014 und einschlägige DIN-Normen ist die Herstellung eines luftdichten Gebäudes und die Sicherstellung des Mindestluftwechsels zum Zwecke der Gesundheit und Beheizung des Gebäudes gesetzlich geregelt.

Unabhängig von gesetzlichen Vorgaben ist ein luftdichtes Gebäude die Grundlage eines tauwasserfreien Bauwerks.

Durch das Eindringen von warmer Raumluft in undichte Konstruktionen entsteht durch Kontakt mit kalter Außenluft Tauwasserausfall. Dies kann zu Schimmelpilzwachstum und zum Versagen der Konstruktion führen.

Die bauphysikalisch optimale Lage der Luftdichtungsschicht ist auf der Warmseite des Bauteils vorzusehen. So stellt dies auch die DIN 4108-7 dar. Zur Tauwasser- und Schimmelpilzvermeidung sollte außen eine zusätzliche Winddichtung vorgesehen werden.

## 2.2.1 Mindestluftwechsel

Durch die geschlossenen oder nicht vorhandenen Fugen ist der Mindestluftwechsel nicht mehr sichergestellt. Der geringe Luftwechsel entspricht im Winter bei geschlossenen Fenstern häufig nicht mehr den Anforderungen (CO<sub>2</sub>-Anreicherung, Zunahme von chemischen und gesundheitsschädlichen Schadstoffen) und reicht oft nicht mehr aus, um die anfallende Feuchte sicher abzuführen. Durch fehlerhaftes oder unzureichendes Lüften können Schadstoffanreicherungen in der Raumluft auftreten und sogar Feuchteschäden bei Taupunktunterschreitung der Luft und damit Kondenswasser- und Schimmelbildung an den schlecht belüfteten Raumecken und bei geometrischen Raumecken erzeugt werden.

## 2.2.2 Lüftungskonzept

Um den möglichen negativen Folgen der Luftdichtigkeit entgegenzuwirken, ist die Lüftungsnorm DIN 1946-6 für alle am Bau Beteiligten verbindlich und schreibt die Erstellung eines Lüftungskonzeptes vor. Dies dient als Nachweisverfahren, ob eine Lüftungstechnische Maßnahme für ein Gebäude nötig ist. Das Lüftungskonzept regelt die erforderlichen Luftmengen, die u. a. für den Bautenschutz notwendig sind. Zum Feuchteschutz des Gebäudes muss die Lüftungsanlage außerdem eigenständig und nutzerunabhängig funktionieren.

## 2.3 Wie wird gelüftet?

Generell wird zwischen vier verschiedenen Lüftungsformen unterschieden (DIN 1946-6)

- *Lüftung zum Feuchteschutz*: Nutzerunabhängige Lüftung (Minimalbetrieb) in Abhängigkeit vom Wärmeschutzniveau zur Vermeidung von Schimmelpilz- und Feuchteschäden
- *Mindestlüftung*: Nutzerunabhängige Lüftung, die unter üblichen Nutzerbedingungen Mindestanforderungen an die Raumluftqualität erfüllt
- *Grundlüftung*: Notwendige Lüftung zur Gewährleistung des Bautenschutzes sowie der hygienischen und gesundheitlichen Erfordernisse bei planmäßiger Nutzung einer Nutzungseinheit (Normallüftung)

- *Intensivlüftung*: Zeitweilig notwendige erhöhte Lüftung zum Abbau von Lastspitzen (Lastbetrieb)

Die einzelnen Lüftungsstufen können dabei einzeln oder additiv wirken, z. B. durch längere oder häufigere Fensteröffnungszeiten. Sie werden im Rahmen des zu erstellenden Lüftungskonzeptes immer für die gesamte Nutzungseinheit umgesetzt. Dieses gilt insbesondere für einzelne gefangene bzw. fensterlose Räume (DIN 18017) sowie für teilweise belüftete Räume in einer Nutzungseinheit über Einzelraumgeräte.

## 2.4 Hygiene, Reinigung und Wartung

Befasst man sich mit den hygienischen Aspekten einer KWL, so kommt man nicht daran vorbei, sich mit der VDI 6022 auseinanderzusetzen. Diese regelt Wartungsintervalle sowie unter anderem auch, welche Bauteile gereinigt bzw. gewartet werden müssen. Dies wären zum Beispiel Zu- und Abluftelemente, Luftfilter, Wärmetauscher, Ventilator und Gehäuse des Lüftungsgeräts. Bei der Reinigung der Kanäle treten wohl mit die größten Probleme auf, da sie schwer einsehbar sind und sich dort Schmutz besonders leicht ablagern kann. Außerdem stellt allein die Form des Kanals schon gewisse Anforderungen an die Reinigung. Wickelfalzrohre werden beispielsweise mit einer Rotationsbürste gereinigt, wogegen bei Flachkanälen eine Druckluftreinigung stattfindet.

## 2.5 Schallschutz

Um unerwünschte Geräusche zu unterbinden, die als Folge von Ventilatorrotation oder durch Telefoneschall entstehen können, sind umfassende Schallschutzmaßnahmen unerlässlich. Verschiedene Bestandteile eines Schallschutzsystems sind die Schalldämpfer selbst, welche direkt nach dem Lüftungsgerät bzw. dem Ventilator und in jedem Übergang zu einzelnen Wohneinheiten verbaut werden, flexible Leitungen zur Vermeidung von Schallübertragungen, schallisolierte Schläuche oder Rohre sowie Telefoneschalldämpfer in der Wohnung, um eine Schallübertragung zwischen den einzelnen Räumen zu vermeiden. Letztere sind vor allem in Schlafräumen sinnvoll, da für solche eine maximale Lärmbelastung von weniger als 30 dB vorgegeben ist, während in anderen Wohnräumen bis zu 35 dB zulässig sind. Als Vergleichswerte lassen sich hier etwa „normales

Atmen“ oder „Blätterrauschen“ mit etwa 10 dB oder ein „Kühlschrankbrummen“ mit 30 dB heranziehen.

## 2.6 Zentrale Lüftungsanlagen<sup>1</sup>

Eine zentrale Lüftungsanlage versorgt mit mindestens einem Ventilator über ein Kanalnetz mehrere Räume, Gebäudetrakte oder ein gesamtes Gebäude mit frischer Luft. Sie hat einen erheblichen Platzbedarf und benötigt besondere Maßnahmen hinsichtlich des Schall- und Brandschutzes. Bei der zentralen Be- und Entlüftungsanlage dagegen befördert je ein Ventilator die Außen- und Fortluft. Die Ventilatoren sind entweder in einem kompakten Lüftungsgerät oder getrennt in einem Zuluft- und einem Abluftgerät angeordnet.

Zentrale Lüftungsanlagen gibt es in drei Ausführungsarten:

- *mit nur einem gemeinsam veränderlichem Gesamtvolumenstrom*: Abluftventile haben fest eingestellte Volumenströme. Volumenstrom wird gleichzeitig bei allen Abluftventilen verändert;
- *mit wohnungsweise veränderlichem Volumenstrom*: Bewohner können wohnungs- bzw. raumweise Volumenstrom anpassen;
- *mit unveränderlichem Volumenstrom*: Ventilator ist ständig in Betrieb. Reduzierung des Volumenstroms ist nicht möglich.

## 2.7 Dezentrale Anlagen

Dezentrale Anlagen dienen der Entlüftung oder der Be- und Entlüftung einzelner Räume, mit oder ohne Wärmerückgewinnung. Dabei entfallen die Kosten für das Leitungssystem, außerdem können durch die individuelle raumweise Steuerung auch die Betriebskosten gegenüber Zentralanlagen günstiger ausfallen.

Bei Vorhandensein einer Fensterbrüstung ist der Einbau als stehendes Gerät direkt an der Brüstung, ggf. in Verbindung mit einem Elektro-Brüstungskanal, die einfachste Möglichkeit. Ein Gebläse saugt die Luft über einen Filter an und bläst sie über einen Wärme-

<sup>1</sup> Patzel, Otmar; Miller, Wolfgang; Wagner, Helmut; Bäck, Hans Joachim (2014): Anlagenmechanik für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik Tabellenbuch. Westermann Verlag.

tauscher, wobei die Luft je nach Bedarf aufgeheizt oder gekühlt wird, in den Raum.

Bei historischen Fassaden ist diese Bauart der Lüftungsanlage jedoch bedenklich und bei Auflagen durch das jeweilige Landesamt für Denkmalpflege ggf. nicht zulässig.

## 2.8 Wärmerückgewinnung

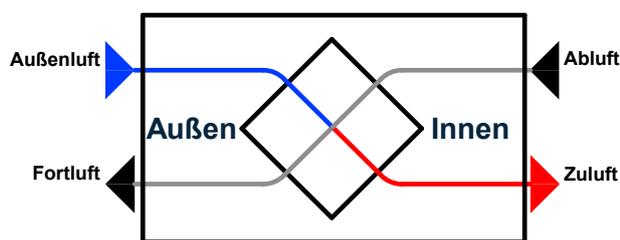


Abb. 146 Funktionsweise eines Plattenwärmetauschers

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg

Vorteile sind erhebliche Einsparungen an Energie durch Wärmerückgewinnung insbesondere bei Anlagen mit hohen Außenluftraten. Die Amortisationszeiten sind sehr kurz. Abgeführte Luft aus dem Raum wird, bevor sie das Gebäude verlässt, zurückgeführt zur Außenluftansaugung. Sie wird dort über einen Wärmetauscher geleitet, wobei sie die einströmende Frischluft zusätzlich erwärmt. Im Winter wird die kalte Außenluft erwärmt, im Sommer die warme Außenluft heruntergekühlt; dadurch wird weniger Energie benötigt, um die Raumtemperatur einzuregulieren. Es gibt folgende Systeme:

- **Rekuperatives System:** Der Wärmetauscher zwischen Fort- und Außenluft ist ein Kreuzstromwärmetauscher aus parallel angeordneten, gut leitenden Glas- oder Metallplatten. Es findet keine Berührung der beiden Luftströme statt, sodass keine Übertragung von Gerüchen, Staub oder Feuchtigkeit stattfindet. Günstige Herstellung, daher häufigste Verwendung in der Praxis.
- **Kreisverbundsystem:** Der Wärmeaustausch findet zwischen Fortluft und Außenluft über eine umlaufende Wärmeträgerflüssigkeit statt. Diese Systeme sind vor allem geeignet zur Nachrüstung bestehender Klimaanlage.

- **Wärmerohre:** Diese können auch zur Wärmerückgewinnung eingesetzt werden.

- **Regeneratives Verfahren:** Hierbei wird zwischen Fortluft und Außenluft über einen rotierenden Wärmetauscher mit axial angeordneten, wabenähnlichen Luftdurchlässen verfahren. Die von der Fortluft abgegebene Wärme wird jeweils nach einer halben Umdrehung an die einströmende Außenluft abgegeben. Dabei wird neben fühlbarer Wärme auch die latente Wärme in Form der in der Luft enthaltenen Luftfeuchte ausgetauscht.

- **Wärmepumpen:** Luftwärmepumpen können in einer Luftheiz- bzw. Luftkühlanlage bei entsprechender Luftführung der Fortluft bzw. Außenluft über den Verdampfer direkt zur Wärmerückgewinnung eingesetzt werden.

## 2.9 Kanalordnung und -verlegung<sup>2</sup>

### 2.9.1 Vertikale Kanalführung

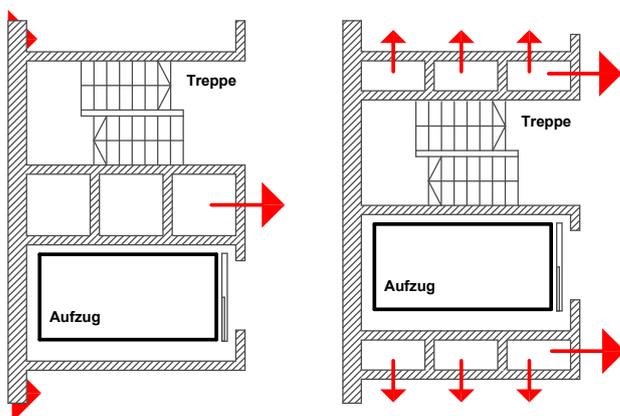


Abb. 147 Anordnung der Lüftungsschächte im Gebäudekern und deren Verteilungsmöglichkeiten im Raum

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg

Für die vertikale Verlegung bieten sich in erster Linie die Gebäudekerne an. Diese enthalten in der Regel die nicht veränderbaren Nutzungen, also Treppen, Aufzüge, Nasszellen und Steigschächte für Sanitär-, Heizungs- und Elektroninstallationen, sodass die verbleibenden Nutzflächen für eine variable Grundrissaufteilung frei gehalten werden können.

<sup>2</sup> Krimmling, Jörn; Deutschmann, Uwe; Preuß, André; Renner, Eberhard (2014): Atlas Gebäudetechnik – Grundlagen, Konstruktionen, Details. R. Müller Verlag.

Durch ihre zentrale Lage haben sie kurze Anschlüsse zu den einzelnen Fluren und Räumen. Durch ihre massive Ausführung in Stahlbeton und Mauerwerk, die meistens auch die Gebäudeaussteifung übernimmt, ist eine feuerbeständige Bauart gegeben.

### 2.9.2 Horizontale Kanalführung

Die Luftkanäle werden, falls sie nicht frei im Raum angeordnet werden, meist verdeckt in Unterhängedecken (z. B. in einem Doppelboden) angeordnet. Dabei spielen vor allem die Richtung der Unterzüge und die Anbindung an den Gebäudekern eine Rolle.

Kreuzungen von Unterzügen sollten möglichst vermieden werden. Müssen Unterzüge von größeren Kanälen gekreuzt werden, ist es aus statischen Gründen u. U. erforderlich, den Kanal in mehrere Kanäle mit geringeren Abmessungen aufzuteilen. Auch die Kreuzung von Unterzügen mit kleineren Abzweigekämen oder Geräteanschlüssen ist oft unvermeidlich. Dafür sind – in begrenztem Umfang – Aussparungen in Unterzügen notwendig. Diese Aussparungen in Stahlbetonunterzügen sind am ehesten an der Stelle des größten Feldmoments (Querkräfte = 0) möglich.

### 2.9.3 Möglichkeiten der Verlegung

Zur Befestigung der Luftkanäle werden Ankerschienen in die Schachtwände eingelassen, an denen die Kanäle mit Stahlwinkelkonstruktionen gehalten werden. Die Befestigungen erhalten zur Verhinderung von Körperschallübertragungen elastische Einlagen. Schächte über mehrere Stockwerke müssen ggf. Abfangkonstruktionen bekommen. Einige gängige Arten der Verlegung sind:

- *Verlegung in vertikalen Schächten:* Bei größeren Luftmengen, in der Regel nur für Außen- und Fortluft, kann der Schacht direkt zur Luftführung verwendet werden. Er muss dann glatte Innenwandungen besitzen (Beton oder verputztes Mauerwerk). Für aufbereitete Zuluft mit bestimmten Temperatur- und Feuchteanforderungen scheiden massive Schächte schon wegen ihrer zu hohen Speicherfähigkeit aus. Bei der Verlegung mehrerer Luftkanäle sollten diese möglichst in gemeinsamen Schächten zusammengeführt werden. Größere Schächte sollten begehrbar sein und für Kontroll- und Wartungszwecke Bühnen in Form von Gitterrosten erhalten.

- *Dezentrale vertikale Steigleitungen:* Für Induktionsgeräte von Hochdruck-Induktionsklimaanlagen eignet sich auch eine dezentrale vertikale Verteilung. Dabei werden die Induktionsgeräte wechselseitig von einer Seite mit Primärluft, von der anderen mit Leitungen für Heizung und Kühlung versorgt.

- *Horizontale Verteilung im Brüstungsbereich:* Bei geringen Geschosshöhen reicht häufig die Abhängöhe der untergehängten Decke nicht aus, um die horizontalen Luftkanäle unterzubringen. Hier bieten sich der Brüstungsbereich und der Bereich vor der Fassade an. Vor allem für Hochdruck-Induktionsklimaanlagen mit Induktionsgeräten an der Fassade ist dies wegen der kurzen Anschlüsse für den Primärluftkanal und die Versorgungsleitungen eine wirtschaftliche Lösung.

- *Verlegung im Deckenbereich:* Die Montage unterhalb der Decke erfolgt mittels Traversen aus Winkelstahl, die an verstellbaren Gewindestangen oder Federspannhängern abgehängt werden. Diese werden mit Ankerschienen oder zugelassenen Schraubdübeln befestigt. Zur Vermeidung von Körperschallübertragungen sollten federnde Rohrabhängiger oder elastische Einlegebänder an den Auflagern verwendet werden. Auch eine Befestigung an der Wandkonsole ist möglich, schallmässig sind aber abgehängte Konstruktionen vorzuziehen.

- *Verlegung in Fußböden:* In Sonderfällen (z. B. in Rechenzentren oder Laborgebäuden) kann es notwendig sein, Luftkanäle in einem aufgeständerten Doppelboden zu verlegen. Die abnehmbaren Bodenplatten ermöglichen eine gute Zugangsmöglichkeit für die Kanäle und für andere Installationen. Die Luftkanäle selbst werden an Traversen oder Doppelbodenkonstruktionen angehängt oder über eine elastische Dämmplatte direkt auf die Rohdecke aufgelegt und befestigt. Flache, sog. Mini-Luftleitungen für Ventilator-Warmflurheizungen werden direkt oberhalb der Trittschalldämmung im Estrich verlegt.

- *Durchfahren von Decken und Wänden:* Beim Durchgang durch Decken und Wände sind zur Vermeidung von Körperschallübertragungen dauerelastische Dämmschalen vorzusehen. Am besten wird der Kanal mit einer zweiten Schale oder einem Mantelrohr mit Dämmschicht (sog.

Hartmantel) umgeben. Gegen Luftschallübertragung von einem Raum zum anderen ist der Durchbruch mit einer plastischen Dichtungsmasse abzudichten. Beim Durchgang durch Brandabschnittswände und Decken zwischen Geschossen sind entsprechend DIN 4102-6 Brandschutzklappen vorzusehen.

- *Reinigungsöffnungen:* In der Nähe von Richtungsänderungen und bei unzugänglichen Kanalabschnitten sind bei allen Luftkanälen Reinigungsöffnungen vorzusehen. Diese müssen wegen der späteren Zugänglichkeit und der formalen Ausbildung rechtzeitig mit dem Lüftungsprojektanten und anderen Ausbaugewerken abgestimmt werden.

#### 2.9.4 Luftführung und Luftdurchlässe

Um das Ziel einer sinnvollen Lüftung, nämlich eine gute Raumdurchspülung zu erreichen, ist die Luftführung von entscheidender Bedeutung. Die Luftführung im Raum hängt ab von der Lage und Art der Zu- und Abluftdurchlässe, der Zuluftgeschwindigkeit, der Strömungsrichtung und der Temperaturdifferenz zwischen Zuluft und Raumluft. Bei Räumen mit örtlich begrenzten Schadstoffen ist ferner eine Absaugung möglichst nahe am Entstehungsort anzustreben. Bei der Luftführung künstlich belüfteter bzw. klimatisierter Räume sind verschiedenste Gesichtspunkte zu beachten:

- *Raumklimatische Gesichtspunkte:* Gleichmäßige Verteilung der Luft; Zugfreiheit; Abführung von Schadstoffen und Wärme; Reinheitsgrad der Luft; Geräuschkämmung
- *Bauliche Gesichtspunkte:* Sitzanordnung bei Aufenthaltsräumen; Lage der Schafstoffquellen; Lage der wärmeabgebenden Maschinen, Leuchten usw.; Lage und Aussehen der Luftdurchlässe; Unterbringung der Zu- und Abluftkanäle

#### 2.10 Grundsätzliche Lüftungsarten

Beim Wohnungsbau ist die Mischlüftung (Verdünnungs- oder Strahl Lüftung) gebräuchlich. Die eingeblasene Luft vermischt sich rasch mit der Raumluft (Induktionswirkung). Je nach Ausblasgeschwindigkeit und Temperaturdifferenz dringt der Luftstrahl mehr oder weniger tief in den Raum ein. Unterschieden

wird dabei nach der Entstehung tangentialer (A) oder diffuser (B) Strömungswalzen in der Raumluft. Die Mischlüftung ist für eine Vielzahl von Lüftungsarten und Räumen ohne spezielle Anforderungen gebräuchlich.

#### Luftführung im Raum

Bei der Luftführung im Raum muss man neben der Art und Richtung der Luftströmung unterscheiden, ob die Zuluft kälter oder wärmer als die Raumluft ist.

Wahl der Luftführung: Welche Art der Luftführung infrage kommt, ist oft nicht eindeutig zu beantworten. Die hängt von den Raumbedingungen (formale Raumgestaltung, Bestuhlung, Unterhängedecken, Platz für Kanäle, Luftauslässe usw.) ab, vor allem auch davon, welche Temperaturverhältnisse vorwiegend auftreten (Kühlung oder Heizung).

#### Zu- und Abluftgitter

Die einfachste und gebräuchlichste Form für Luftdurchlässe sind Lüftungsgitter als Loch- oder Drahtgitter, Gitterbänder oder als Steggitter mit waagerechten oder senkrechten Lamellen.

#### Luftlenkung

Für Zuluftgitter, seltener für Abluftgitter, kommen gerichtete oder verstellbare Lamellen zur Luftlenkung infrage. Die Stege können entweder einzeln oder gemeinsam, in einer oder auch in zwei Richtungen verstellt werden.

#### Regulierung

Einstellbare Drosselemente oder „Schöpfungen“ ermöglichen eine Mengenregulierung des Luftvolumenstroms. Zum Verstellen der Lamellenstege werden Schraubenzieher oder spezielle Schlüssel verwendet. Auch eine automatische Regulierung mittels eines Stellmotors ist möglich. Für die Gitterauswahl werden von den Herstellern Diagramme und Tabellen für die Bestimmung der Gittergröße, der Volumenströme und der Schalleistungspegel zur Verfügung gestellt.

#### 2.11 Behaglichkeit

Die Behaglichkeit hängt im Wesentlichen von der Lufttemperatur, Luftbewegung, Raumluftfeuchte und

der Luftqualität ab. Die Lufttemperatur hängt ab von der operativen Raumtemperatur, d.h. von der vom Menschen empfundenen Raumtemperatur. Bei der operativen Temperatur handelt es sich um den Mittelwert der Strahlungstemperatur, die beispielsweise von Heizkörpern ausgeht. Weiterhin hängt die Lufttemperatur ab von den Temperaturen der Raumschließungsflächen sowie vom Wärmeleitwiderstand der Kleidung und dem Turbulenzgrad der Luft.

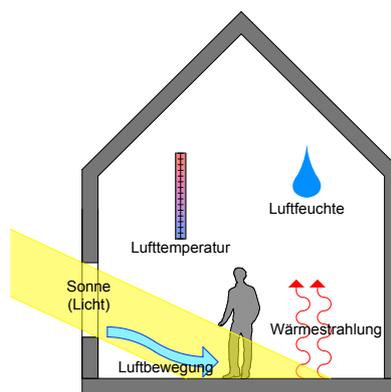


Abb. 148 Hauptfaktoren für das Behaglichkeitsempfinden in Wohngebäuden. Zeichnung: Saller (2014). OTH Regensburg; Daten: Hausladen, Gerhard; de Saldanha, Michael; Sager, Christina; Liedl, Petra (2005): ClimaDesign. Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik mehr können. Callwey Verlag

## Die Luftbewegung

Der Mensch ist in geschlossenen Räumen sehr empfindlich und empfindet eine Luftgeschwindigkeit von  $0,1 < v < 0,25$  m/s als behaglich.

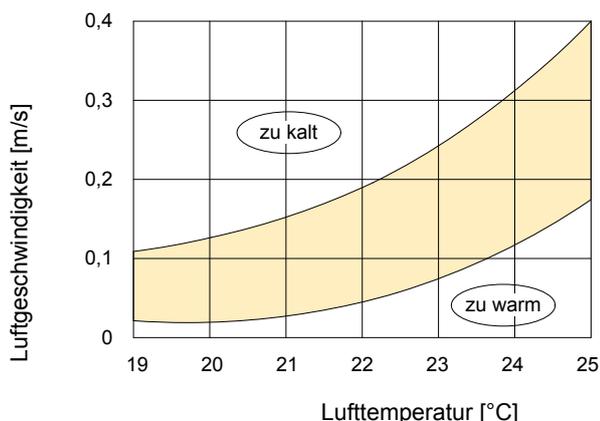


Abb. 149 Diagramm zur Behaglichkeit, abhängig von Luftgeschwindigkeit und -temperatur. Zeichnung: Saller (2014). OTH Regensburg; Daten: Hausladen, Gerhard; de Saldanha, Michael; Sager, Christina; Liedl, Petra (2005): ClimaDesign. Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik mehr können. Callwey Verlag

## 170 Architektonische Modernisierung

## Luftbedarf<sup>3</sup>

- O<sub>2</sub>-Gehalt sinkt kaum ab in Räumen (> 20 %) (bis 16 % O<sub>2</sub> keine Beschwerden!)
- Behaglichkeit wird durch CO<sub>2</sub>-Gehalt bestimmt
- CO<sub>2</sub>-Anstieg:
  - Blut wird sauer
  - Reduktion des Sauerstofftransports
  - Kopfschmerzen, Benommenheit
- 10 % CO<sub>2</sub> tödlich
- Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK): 0,5 % CO<sub>2</sub>
- Über 0,15 % CO<sub>2</sub> wird Luft als unfrisch empfunden
- Für Klimatechnik empfohlen: 0,1 % CO<sub>2</sub>
- CO<sub>2</sub> ist Leitgröße für alle anderen Humangestoffe

## Einfluss der Raumluftfeuchte auf die Behaglichkeit

Hat einen relativ geringen Einfluss, die Folgen bei zu trockener Luftfeuchte sind trockene Schleimhäute, zu hohe Luftfeuchte empfinden wir als schwül. Die Luftfeuchte sollte deshalb zwischen minimal 35 % und maximal 65 % liegen. Die Schwüle-Grenze liegt bei 11,5 g/kg, z. B. 55 % Luftfeuchte bei 26 °C. Die untere Grenze liegt bei 5 g/kg, z. B. 35 % Luftfeuchte bei 20 °C.

## 2.12 Projektbeispiele

Im Folgenden werden Projektbeispiele zur kontrollierten Be- und Entlüftung von Wohngebäuden am Sanierungsbeispiel Plato-Wild-Straße<sup>4</sup> vorgestellt:

<sup>3</sup> Hausladen, Gerhard; de Saldanha, Michael; Sager, Christina; Liedl, Petra (2005): ClimaDesign. Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik mehr können. Callwey Verlag.

<sup>4</sup> Richard, Martin; Brinsteiner, Stefan; Putz, Andreas; Schmid, Stefan (2012): Gebäudemodernisierung Plato-Wild-Ensemble. M 6.4 - Gebäudesanierung. Gebäudeklimatik 4. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.

In der vorliegenden Studienarbeit wird das Zentralgerät der Lüftungsanlage im Dachgeschoss aufgestellt und von dort werden durch zwei Versorgungsschächte die Zu- und Abluftleitungen nach unten geführt. Um weitgehend auf abgehängte Decken zu verzichten, werden die Lüftungskanäle zwischen den Sparren verlegt. Durch die Lage der Versorgungsschächte ist es möglich, die Abluft direkt im Bad und aus der Küche abzusaugen. Dadurch konnte das Ausmaß der abgehängten Decken auf ein Minimum (Bad/WC) reduziert werden. Im Bad befindet sich zudem der Wohnungsverteiler – von diesem können somit die benötigten Frisch- bzw. Abluftkanäle problemlos verlegt werden, ohne die Kanäle zu kreuzen oder massive Eingriffe im Mauer- und Balkenwerk vorzunehmen. Einzige Ausnahme bildet hier das Dachgeschoss. In diesem müssen die Balken im Küchen- und Wohnbereich, etwa auf Höhe des Wandschranks, gekreuzt und somit die Decke abgehängt werden. Die Frischluftversorgung der einzelnen Räume erfolgt über Kanäle, die bis zur Außenwand gezogen werden, und schließlich weiter über Lüftungsgitter, welche an der Decke angebracht sind. Die Ansaugung der Abluft erfolgt ebenfalls über die Decke mittels Tellerventilen.

In den Grundrissen in Abb. 150 ff wird die Leitungsführung in den einzelnen Räumen ersichtlich, sowie die Ein- und Auslasspunkte für Frischluft und Abluft. Anhand der Balkenpläne wird deutlich, wie die Leitungsführung und die Verteilung in der Decke gehandhabt werden kann.

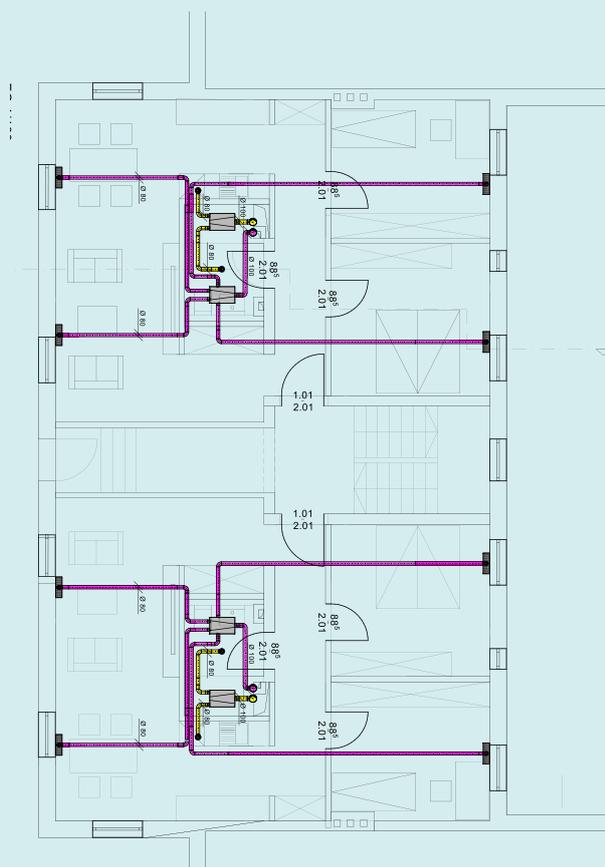


Abb. 150 Grundriss Erdgeschoss

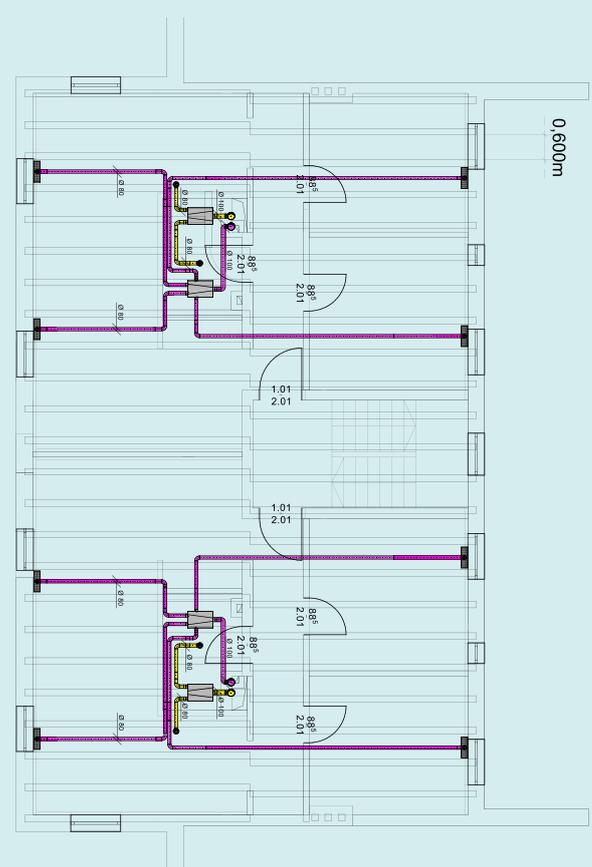


Abb. 151 Grundriss Erdgeschoss – Balkenlage

**Studienarbeit Kaser, Leicht, Heitauer, Werther (2012): Gebäudemodernisierung Plato-Wild-Ensemble. Bauen im Bestand. OTH Regensburg**

Das Zentralgerät der Lüftungsanlage wird auch in diesem Entwurfsansatz im Dachgeschoss aufgestellt. Von dort aus wird die Zuluftleitung durch einen zentralen Schacht nach unten und die Abluft durch zwei Versorgungsschächte nach oben geführt. In diesem Beispiel ist es möglich, die Decke im Bad, Abstellraum und Teilen des Flurs abzuhängen. So bietet sich genügend Platz, an denen Balken gekreuzt werden müssen, die Kanäle zu verlegen.

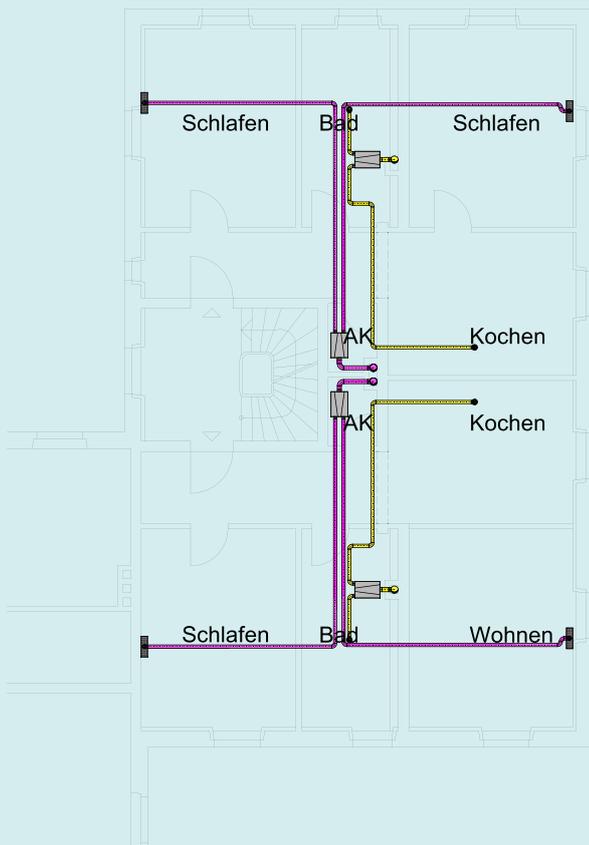


Abb. 152 Grundriss Erdgeschoss

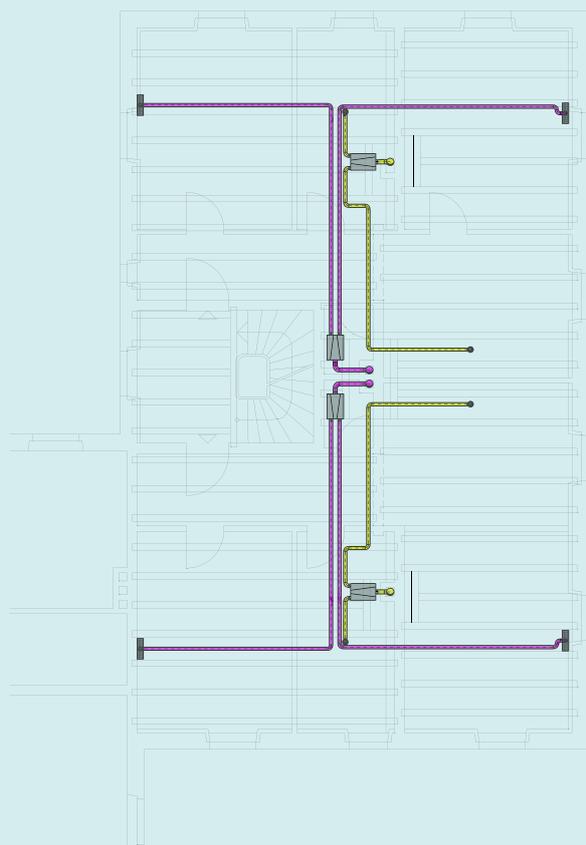


Abb. 153 Grundriss Erdgeschoss – Balkenlage

**Studienarbeit Keller, Hoffmann, Götz (2012): Gebäudemodernisierung Plato-Wild-Ensemble.  
Bauen im Bestand. OTH Regensburg**

# 3. Feuchte in Holzbalken

## 3.1 Grundlagen

Bevor über eine mögliche Schädigung durch Feuchte an den Holzbalken diskutiert werden kann, müssen zunächst die Bedingungen geklärt werden, die vorherrschen müssen, damit Schäden am Holz entstehen. In der DIN 68800 Teil 3: 1990 steht: „Eine Gefahr durch den Befall holzerstörender Pilze liegt vor, wenn die Holzfeuchte 20 Masseprozent (M.-%) langfristig übersteigt.“ Von einer langfristigen Überschreitung spricht man, wenn die Holzfeuchte länger als sechs Monate den besagten Grenzwert überschreitet.

Damit ein Pilzwachstum entsteht, sind drei Faktoren entscheidend: ein Nährboden (die Holzart), die Temperatur und die relative Luftfeuchte, welche auf die massebezogene Holzfeuchte einwirkt.

Der echte Hausschwamm hat sein Temperaturoptimum zwischen 18 und 22 °C. Bei Temperaturen über 26 °C stellt er sein Wachstum ein.

Bevor das Wachstum der holzerstörenden Pilze wie Echter Hausschwamm, Kellerschwamm etc. einsetzt, muss zunächst eine „Aktivierungsfeuchte“ überschritten werden. Diese stellt sich bei 95 % relativer Luftfeuchte ein, was für das Holz ca. 25 bis 28 M.-% ausmacht. Diese Schwelle ist erforderlich, damit die Keime und Pilzsporen überhaupt erstmals auskeimen können, aus denen sich die Hyphen entwickeln, die das Holz abbauen. Zu beachten ist jedoch, dass auch bei Überschreiten der Aktivierungsfeuchte nicht automatisch sofort Pilze wachsen. Je nach Bedingungen dauert es einige Tage, bis die Sporen keimen.

Auch wenn das Pilzwachstum bereits aktiviert wurde, muss weiterhin eine gewisse Feuchte vorherrschen, damit die Pilze weiterwachsen und Holz abbauen können.<sup>5</sup>

## 3.2 Studien zur Problemstellung

Ob eine Innendämmung Schäden an den Holzbalkenköpfen verursacht oder nicht und ob und welche Probleme bei einer derartigen Konstruktion auftreten, wurde in den letzten Jahren vermehrt auf Basis von Studien untersucht. Einige davon, deren Thematik für unseren Leitfaden relevant ist, sollen im Folgenden vorgestellt werden. Wichtig hierbei sind die Konstruktion und Materialität der Innendämmung, auf

<sup>5</sup> Kehl, Daniel (2011): Pilzmodelle – Ist der Befall vorhersehbar? In: die neue quadriga Holzbau (1). Wolnzach.

welche Arten die Holzfeuchte auftreten kann und welche Lösung empfohlen wird und wie mit dem Gefach umzugehen ist.

### 3.2.1 Risikofaktor Balkenkopf? – Holzbalkendecken und die Innendämmung<sup>6</sup>

Eine einheitlich gültige Konstruktions- und Einbauvariante für Innendämmungen, die an jedem Gebäude schadensfrei bleibt, kann nicht entwickelt werden. Was an einem Gebäude sicher funktioniert, kann bei anderen Bestandmaterialien oder anderen klimatischen Bedingungen problematisch sein.

Um den Balkenkopf liegt im Mauerwerk üblicherweise eine Fuge, die als kapillare Trennung von der Mauerwerksfeuchte dient. Ist diese mit der Raumluft verbunden, spricht man von einem luftumspülten Balken. In historischen Gebäuden hat dies zu keinen Schäden geführt, da der Wasserdampfgehalt der Luft, beispielsweise wegen undichter Fenster und niedrigerer Feuchteproduktionen, geringer ausfiel als heute. Um zu verhindern, dass zu viel warmfeuchte Raumluft an den Balken herantritt, abkühlt und kondensiert, sollte der Balken konvektionshemmend angeschlossen werden, beispielsweise durch Kompressionsbänder oder Mörtelverstrich. Eine Trocknung des Balkens durch die warme Raumluft ist als unrealistisch einzustufen, da die dafür notwendigen Strömungsgeschwindigkeiten nicht dauerhaft erreicht werden ( $> 0,1\text{m/s}$ ).

Ob und wie viel im Gefach gedämmt werden sollte oder nicht, ist von Fall zu Fall erneut zu entscheiden. Messungen in einem Gründerzeitgebäude in Wiesbaden<sup>7</sup> ergaben einen etwas höheren Wassergehalt im Balkenkopf mit vollständiger Dämmung im Gefach als ohne. Zu bedenken ist hierbei, dass Feuchteverhältnisse auf den ungedämmten Wandoberflächen im Deckenhohlraum wiederum zu Schimmel führen könnten. Unterhangdecken oder bestimmte Bodenaufbauten können die Wassermenge, die in das Bauteil eintritt, reduzieren und Schüttungen können diese regulieren.

<sup>6</sup> Ruisinger, Ulrich (2011): Risikofaktor Balkenkopf? – Holzbalkendecken und die Innendämmung. die neue quadriga Holzbau (1). Institut für Bauklimatik TU Dresden.

<sup>7</sup> Loga, Tobias (2005): Energetische Modernisierung eines Gründerzeithauses in Wiesbaden, Tagungsband zum 6. Leipziger Bau-schadenstag am 27. September 2005, S. 81–91.

Ein gut funktionierender Schlagregenschutz, insbesondere bei Sichtmauerwerk, ist, um eine sichere und schadensfreie Konstruktion zu erhalten, zwingend notwendig, unabhängig von einer Innendämmung.

Laut Messungen der Hochschule Lausitz können aktive und passive Maßnahmen der Wärmezufuhr an Balkenköpfen, wie beispielsweise ein Heizungsbypass oder eine elektrische Begleitheizung, die Situation am Balkenkopf verbessern. Hierbei sollte jedoch der zusätzliche Energieaufwand dem Einsparpotenzial der Innendämmung kritisch gegenübergestellt werden.

An einem Testhaus mit einer Innendämmung aus 50 mm dickem kapillaraktivem Material auf einer 560 mm dicken Wand wurden Messungen durchgeführt. Nach Austrocknung der Baufeuchte stellten sich bei niedrigen Außentemperaturen Luftfeuchten bis 95 % bei Temperaturen unter ca. 5 °C im Luftspalt vor dem Balkenkopf ein. Diese Bedingungen sind für die Aktivierung holzerstörender Pilze unkritisch. Laut hygrothermischen Berechnungen löst eine Innendämmung aus Calciumsilikat eine leichte Erhöhung des Wassergehalts im Balken gegenüber der unsanierten Konstruktion aus. Trotz der Schwankungen über die simulierte Zeit erreicht der Wassergehalt des Balkens auch mit Calciumsilikat nie den kritischen Wert von 20 M.-%.

### 3.2.2 Holzbalkenköpfe im Mauerwerk<sup>8</sup>

Häufig wird eine Innendämmung als Ursache für Schäden an den Balkenköpfen von Geschossdecken genannt. Laut Kehl werden diese Schäden jedoch häufig bereits vor der Aufbringung einer Innendämmung bei der Sanierungsmaßnahme entdeckt. Somit ist nicht die Innendämmung die Ursache für diese Schäden, sondern beispielsweise eine hohe Holzfeuchte, die bereits beim Einbau vorhanden war, oder hohe Mauerwerksfeuchten. Es können auch nachträglich Schäden am Balkenkopf entstehen, wenn der Feuchteschutz von innen, beispielsweise durch Bäder, und/oder außen nicht mehr gewährleistet ist, unabhängig von einer Innendämmung.

Im Zusammenhang mit dieser Studie wurden an Gebäuden mit unterschiedlichen Innendämmkonstruktionen Untersuchungen und Messungen durchgeführt.

1. Beispiel: Ein zweigeschossiges Gebäude in Brieske mit Dachgeschoss und Holzbalken, die auf einer nordwestorientierten Außenwand aufliegen. Die Außenwände tragen noch den Originalputz, innen wurde jedoch eine 25 mm Calciumsilikatplatte aufgebracht. An den Balkenköpfen zwischen Erd- und Obergeschoss wurde eine Holzfeuchtemessung durchgeführt.

Ergebnis: Die relative Luftfeuchte um den Balken herum betrug 50 bis 80 % und die Holzfeuchte schwankte zwischen 10 bis 17 M.-% und liegt somit in einem gänzlich unkritischen Bereich.

2. Beispiel: Bei einem dreigeschossigen Gebäude in Waidhofen wurde das 450 bis 600 mm dicke Ziegelmauerwerk mit einer 100 mm starken Calciumsilikatplatte gedämmt.

Ergebnis: Für den gemessenen Zeitraum lag die Luftfeuchte um den Balkenkopf zwischen 45 und 70 % und somit 15 bis 25 % höher als die Raumluft. Daraus wurde die rel. Holzfeuchte abgeleitet und es ergab sich eine Ausgleichsfeuchte von 10 bis 14 M.-%.

Ob nun eine Innendämmung an einem Gebäude aufgebracht werden soll oder nicht – für den Schutz der Balkenköpfe sind ein Schlagregenschutz der geforderten Klasse und ein intakter diffusionsoffener Außenputz von höchster Bedeutung. Häufig findet man unter den zu sanierenden Bestandsgebäuden Sichtmauerwerk, das besonders feuchtegefährdet ist, da die Kapillarkräfte der Ziegel ohne eine Putzlage besonders hoch sind und für erhöhte Feuchteinträge sorgen. In solch einem Falle könnte eine aktive oder passive Balkenbeheizung die Holzfeuchte deutlich verringern. Diese wird jedoch nur für kritische Sonderfälle empfohlen, bei denen das Sichtmauerwerk erhalten werden soll, und es wird ansonsten auf eine Verbesserung des Schlagregenschutzes verwiesen.

Ob das Gefach in die Dämmmaßnahme mit einbezogen werden soll, ist abzuwägen. Eine Dämmung zwischen den Balken kühlt die Wandtemperatur an dieser Stelle zusätzlich ab, was die Situation für den Balken verschlechtern könnte. Ohne Dämmung steigt jedoch das Schimmelpilzrisiko zwischen den Balken.

Laut Kehl sollte der Luftraum am Holzbalken von der Raumluft abgetrennt sein, da die oftmals sehr feuchte Raumluft an diesen kalten Stellen der Konstruktion

<sup>8</sup> Kehl, Daniel (2012): Holzbalkenköpfe im Mauerwerk, Büro für Holzbau und Bauphysik. Leipzig.

zu hohen Luftfeuchten oder im Extremfall zu Tauwasserausfall führen kann.

Um eine schadenfreie Sanierung durchzuführen, sollten bereits vorhandene Schäden erkannt und vor der Dämmmaßnahme beseitigt werden. Außerdem muss in jedem Falle ein ausreichender Schlagregenschutz vorhanden sein.

### 3.2.3 Innovative Innendämmung im Denkmalschutz<sup>9</sup>

Um das Augsburger Landesamt für Finanzen zu sanieren, sollten beispielhaft für ähnliche Projekte unterschiedliche Innendämmsysteme zunächst hygrothermisch simuliert und anschließend verbaut werden und nach Fertigstellung in messtechnischen Auswertungen verglichen werden. Die Sanierung des 1492 errichteten, denkmalgeschützten Gebäudes sollte sowohl dem Denkmalschutz als auch dem Klimaschutz gerecht werden. Neben der Sanierung der Gebäudehülle mit verschiedenen Dämmsystemen wurde ein Austausch der Fenster und eine Dämmung der obersten Geschossdecke vorgenommen.

An verschiedenen Dämmsystemen sollte unter anderem eine Innendämmung der Nord- und Ostseite des Osttraktes im EG mit 80 mm Dämmputz ( $\lambda = 0,08 \text{ W/mK}$ ) und Innenwanddämmung der Nord- und Ostseite des Osttraktes im 1. OG mit 80 mm starken Calciumsilikatplatten (CaSi) ( $\lambda = 0,059 \text{ W/mK}$ ) untersucht werden.

Mit dem Programm WUFI-2D<sup>®</sup> wurde das Dämmsystem mit Calciumsilikat simuliert. Die Lösung mit Wärmedämmputz wurde vernachlässigt, da Dämmputz über einen höheren Lambda-Wert verfügt und somit weniger auf den Feuchtehaushalt einwirkt als CaSi. Es wurde neben anderen kritischen Detailpunkten die Einbindung der Geschossdeckenbalken in das Mauerwerk bei Zeiten mit einer Holzfeuchte von über 20 M.-% oberhalb von 15 °C als Schadenskriterium simuliert.

Die Simulation ergab, dass zunächst vor der Dämmmaßnahme der Deckenbalken feuchtetechnisch unkritisch liegt. Direkt nach der Umbaumaßnahme steigt der Feuchtegehalt des Balkenkopfes zunächst bis zu einem Maximalwert von knapp unter 20 M.-% bei einer Ausgleichsfeuchte von 80 % r.F. Die Holzfeuchte sinkt jedoch nach kurzer Zeit wieder auf

Werte unterhalb von 17 M.-%. Grundsätzlich ergibt sich für CaSi, auch im eingeschwungenen Zustand, ein etwas höherer Wassergehalt als bei anderen Innendämmsystemen, allerdings stets unterhalb von 20 M.-% und somit unkritisch. Die messtechnischen Untersuchungen ergaben direkt nach Anbringen der Calciumsilikatplatte, ebenso wie nach dem Aufspritzen des Putzes, eine relative Luftfeuchte von 100 % zwischen Dämmstoff und Wand. Beim CaSi sinkt dieser Wert jedoch sehr schnell auf 80 % r.F. und verweilt nach einem Vierteljahr dauerhaft unter 70 % r.F. Beim Dämmputz hingegen dauert es über zwei Jahre, bis die relative Feuchte hinter dem Dämmputz kontinuierlich sinkt und letztlich auch einen Wert von 70 % r.F. erreicht.

### 3.3 Rückschluss aus den Studien

Zum Thema Balkenkopf und Innendämmung existieren viele Meinungen und viele verschiedene Vorschläge, wie damit umzugehen sei. Ein allgemeingültiger Lösungsansatz ist derzeit nicht verfügbar, wohl aber allgemeingültige Problemfelder, die sich im Wesentlichen auf den Schlagregenschutz, die aufsteigende Feuchte im Mauerwerk, Raumfeuchte im und am Gefach der Decke beziehen und die daraus resultierende Holzfeuchte am Balkenkopf.

Dabei kann für fast alle Fragestellungen eine Antwort nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Stand gefunden werden, die aber in ihrer Wechselwirkung zu hinterfragen sind. So ist ein funktionsfähiger Schlagregenschutz und die Unterbrechung von aufsteigender Feuchte im Mauerwerk Grundvoraussetzung für die Sanierung der Deckenaufleger und auch ohne Maßnahmen zur Innendämmung erforderlich. Eine exakte Erfassung des Ist-Standes ist hierbei zwingend notwendig, damit Fehlstellen in Putz und Mauerwerk frühzeitig erkannt und die damit verbundenen Schäden nicht der Innendämmung zugeordnet werden.

Hinsichtlich der Luftumspülung des Balkens mit Raumluft ist noch kein abschließendes Ergebnis verfügbar, allerdings eine deutliche Tendenz zur Begrenzung der nachströmenden Luft erkennbar. Die derzeit üblichen Methoden basieren auf der Reduzierung der nachströmenden Luft durch die Einbringung von Kompribändern oder Mörtel in die dreiseitig umlaufenden Fugen des Balkens. Die Auswirkung von dampfbremsenden Boden- bzw. Deckenschichten ist positiv zu sehen, da sie die feuchte gesättigte Raumluft im Gefach und somit am Balkenkopf weiter

<sup>9</sup> Krus et al. (2013): Innovative Innendämmung im Denkmalschutz. In: Bausubstanz (1).



begrenzt, ebenso ist eine feuchteregulierende Schüttung vorteilhaft.

Für die Dämmung im Bereich des Gefaches ist eine Wechselwirkung erkennbar: So steigt mit zunehmender Dämmung die Lufttemperatur im Deckenraum und somit reduziert sich das Schimmelrisiko, gleichzeitig sinkt aber die Mauertemperatur ab, wodurch wiederum ein erhöhtes Risiko für den Balkenkopf entsteht. Hier ist festzustellen, dass nur eine detaillierte Betrachtung der Wechselwirkung belastbare Aussagen erzeugen kann.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass, vorausgesetzt die Randbedingungen der Feuchte von außen sind gelöst, die Innendämmung einen gangbaren und sicheren Weg für die Sanierung darstellt, ohne in die äußere Fassade einzugreifen. Wie der Gefachanteil zu dämmen ist und ob eine zusätzliche Temperierung erforderlich ist, muss allerdings in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

# 4. Konstruktionsdetails

## 4.1 Grundlagen

### 4.1.1 Vorbemerkung

Die Schlagwörter Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit wurden in den letzten Jahren immer mehr zu den bestimmenden Vokabeln hinsichtlich der energetischen Sanierung von Gebäuden. Bevor nun die Sanierungsvorschläge diskutiert werden, sollen die Aspekte Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit an dieser Stelle kurz beleuchtet werden.

Bei der energetischen Sanierung von Gebäuden werden in der Regel die getroffenen Maßnahmen meist hinsichtlich ihres Energieeinsparpotenzials bewertet. So lässt sich auf Basis der vermiedenen Aufwendungen für die Energieversorgung unter Berücksichtigung der finanziellen Aufwendungen für die Modernisierung die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme beurteilen.

Der Begriff Nachhaltigkeit wird 1713 von Hans Carl von Carlowitz in seinem Werk *Sylvicultura oeconomica* erstmals thematisiert. Er mahnt dabei an, nur so viel Holz zu schlagen, wie auch nachwachsen kann.

Dem Geiste dieser ursprünglichen Definition folgend, ist die starke Verbindung der Worte Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit nur schwer nachzuvollziehen, da in den meisten Fällen die Dauerhaftigkeit der getroffenen Maßnahmen und ihre Auswirkungen auf das Gebäude nur wenig berücksichtigt werden. Oft wird zugunsten kurzfristiger wirtschaftlicher Aspekte auf den Erhalt wertvoller Fassaden verzichtet und durch den Einsatz neuer Dämmstoffe ein hohes Risiko hinsichtlich der Beständigkeit des historischen Gebäudes eingegangen.

Eine sinnvolle Definition des Begriffs Nachhaltigkeit ist das Bestreben, sodass durch getroffene Modernisierungen das bauphysikalische Verhalten der Bauteile eines Gebäudes, das über viele Jahre oder vielleicht Jahrhunderte funktioniert hat, nicht unter diesen Maßnahmen leidet oder gar Schaden nimmt.

Die Dämmeigenschaften von Bauteilen sind zwar wichtig, aber bei historisch wertvollen Gebäuden nicht das Nonplusultra.<sup>10</sup>

### 4.1.2 Innendämmung

Bei vielen Bestandsgebäuden sind Außendämmungen hinsichtlich der Bewahrung der bauhistorisch wertvollen Fassadengestaltung nicht anwendbar. Wie im Teil D Bauphysik und Bauschadensanalyse ausführlich aufgezeigt, stellt die Innendämmung hier eine geeignete Alternative dar.

Bevor aber die Annahmen und Berechnungen aus Teil D verwendet werden können, müssen zunächst einige grundlegende Punkte am Gebäude sichergestellt werden:

- Mauerwerk darf nur einen bauüblichen Feuchtegehalt aufweisen. Es darf keine aufsteigende Feuchte im Mauerwerk vorliegen.
- Ein funktionsfähiger Schlagregenschutz muss vorhanden sein.
- Die Balken bzw. Balkenköpfe dürfen eine nutzungübliche Holzfeuchte (20 M.-% im Mittel) nicht überschreiten und müssen frei von Schäden (Holzschädlingen, Pilzen) sein.

Von besonderer Bedeutung ist hierbei der Schlagregenschutz, da seine Beeinträchtigung das höchste Schadenspotenzial aufweist. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass eine Innendämmung ohne intakten Regenschutz nicht funktionsfähig ist, da ihr Potenzial, Feuchte abzugeben, begrenzt ist. Im Teil D wird mit Hilfe von hygrothermischen Simulationen berechnet, dass das Fehlen des Außenanstrichs zu kritischen Werten der Holzfeuchte in den Balkenköpfen führt.

Somit kann festgestellt werden, dass für Fassaden, die keinen Dachüberstand besitzen, die Schlagregenbeanspruchung eine erhebliche Gefahr darstellt.

Dem Prinzip der Dauerhaftigkeit folgend, sollte bei Gebäudeseiten ohne Witterungsschutz, z. B. in Form eines Dachüberstandes, somit auf eine Innendämmung verzichtet werden, wenn nicht geeignete Maßnahmen zur Kompensation vorgesehen sind.

<sup>10</sup> Arbeitskreis „Denkmalpflege und Bauen im Bestand“ (2014): Baudenkmal und Energie: Bayerische Ingenieurekammer-Bau

## 4.2 Detail Sockel

Bei dem dargestellten Sockeldetail handelt es sich um eine Preußische Kappendecke (auch Berliner Gewölbe genannt), die auf einer 35 cm starken Betonwand ( $2200 \text{ kg/m}^3$ ) aufliegt, die mit 20 cm Naturstein, hauptsächlich Sandstein, verblendet ist. Das aufgehende Mauerwerk besteht aus Vollziegeln ( $1800 \text{ kg/m}^3$ ), mit 20 mm Kalkzementputz außen und 15 mm innen. Die Natursteinverkleidung ist durch ein Überhangblech von oben geschützt. Zusätzlich ist etwa in der Mitte des Sockelmauerwerks eine Horizontal Sperre angebracht. Bei etwa der Hälfte der Sockelzone stoßen die Gehwegplatten direkt an die Verkleidung.

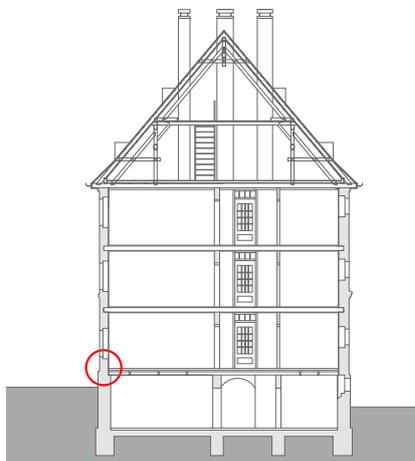


Abb. 154 Sockeldetail Bestandssanierung mit Innendämmung

Quelle: Zeitler (2014). OTH Regensburg

### 4.2.1 Wärmeschutz

Entsprechend den Berechnungen im Teil D „Bauphysik und Bauschadensanalyse“ ist eine Wandinnendämmung mit 30 mm und 80 mm möglich. Da eine Dämmung der Kappendecke von unten nur mit hohem Aufwand möglich ist und diese geringe Höhe des Kellers noch weiter reduzieren würde, wird eine Dämmvariante auf der Decke vorgeschlagen.

Wie in den Berechnungen dargestellt, ist ab einer Dämmhöhe von 70 mm Perlite eine ausreichende Oberflächentemperatur der Bodenkante sichergestellt. In der dargestellten Variante wird von 100 mm Perlite-Schüttung (alternativ Steinwolle) zwischen den Lagerhölzern ausgegangen. Ähnlich wie bei der Wanddämmung wird mit dem Nagelparkett und einem Randabschluss mithilfe eines Kompribands ein

weiterhin diffusionsoffenes System aufgebaut, das aber ein direktes Einströmen der Raumluft in den Bodenaufbau verhindert. Über die Randfugen und den diffusionsoffenen Dielenboden kann Feuchtigkeit abgeführt werden.

Als Heizsystem wird eine Sockelheizung vorgeschlagen, da durch den in Teil D beschriebenen „Coanda-Effekt“ eine gleichmäßige Temperatur der Wandfläche erzielt wird. Weiterhin wird durch die direkte Befestigung der Heizung an dem Bestandputz eine sanfte Sockeltemperierung erreicht, die sich positiv auf die höhere Feuchtebelastung aus der Natursteinfassade auswirkt. Weiterhin ist durch die erhöhte Austrocknung des Mauerwerks mit einer deutlichen Reduktion der Wärmeleitfähigkeit des Ziegels zu rechnen.

### 4.2.2 Feuchteschutz

Durch das Einbringen der armierten Nivellierspachtel wird eine glatte Fläche geschaffen, die frei ist von Rissen und Fugen. Dadurch wird der kapillare Feuchtigkeitstransport aus den Kellerräumen unterbrochen und die Voraussetzung für ein funktionsfähiges diffusionsoffenes System geschaffen.

Weiterhin soll durch die Einführung eines 30 cm breiten Rundkiesstreifens die Spritzwasserbelastung und somit die Feuchtebelastung der Natursteinwand reduziert werden.

### 4.2.3 Schallschutz

Durch die punktuelle Ausrichtung der Lagerhölzer auf Entkopplungsmatten und die Befestigung des Nagelparketts auf Korktrennstreifen kann der Trittschall deutlich verbessert werden. Trotz des diffusionsoffenen Aufbaus erscheint die Umsetzung der Anforderungen nach DIN 4109 möglich.

### 4.2.4 Brandschutz

Für die vorgeschlagene Konstruktion wird der Bestandsschutz für die Kellerdecke aufrechterhalten. Unabhängig vom Bestandsschutz sollte jedoch auf eine ausreichende Farb- und Putzschicht auf den Trägern geachtet werden, um diese vor Korrosion zu schützen.

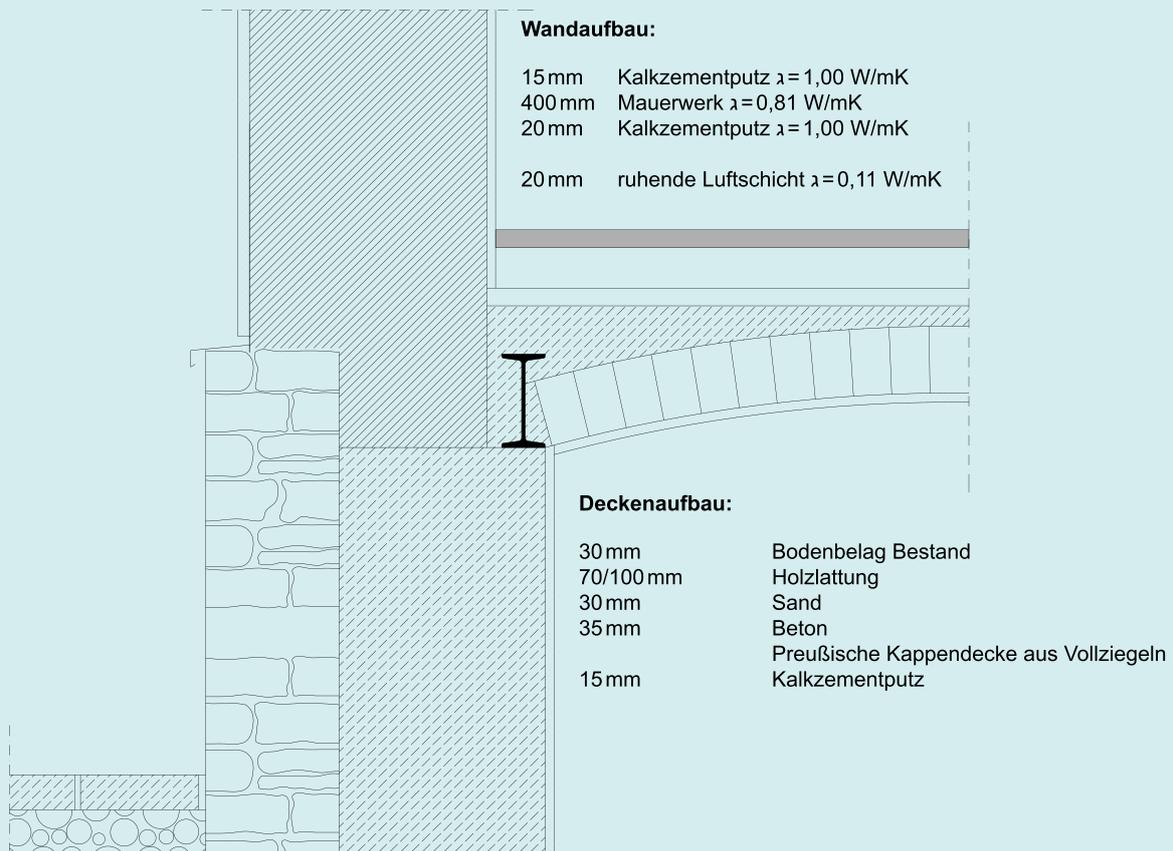


Abb. 155 Schnitt Sockel Bestand Quelle: Saller, (2014). OTH Regensburg

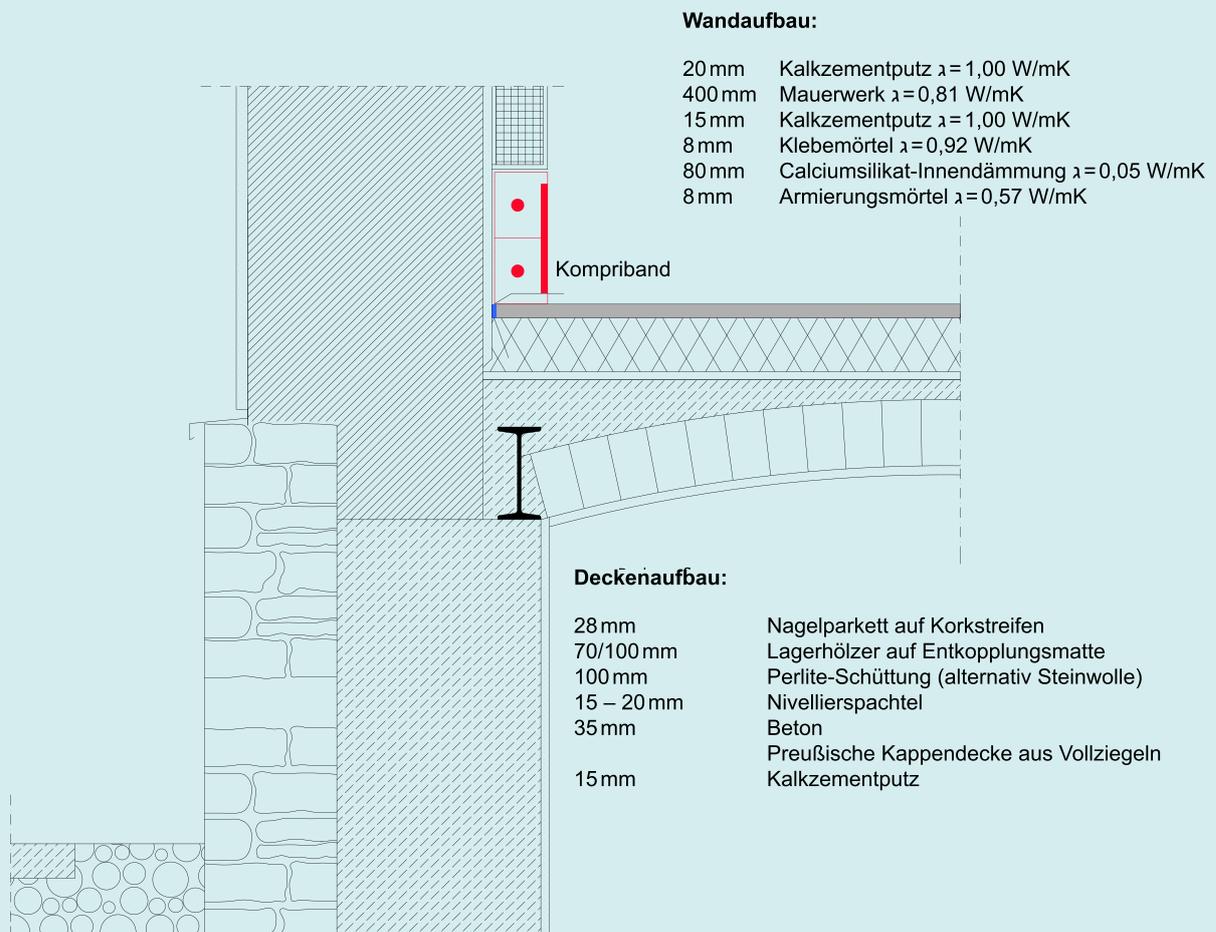


Abb. 156 Schnitt Sockel Sanierung Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg

### 4.3 Detail Fenster

Das dargestellte Detail zeigt ein einfaches Holzfenster aus den 1980er-Jahren aus Fichte mit Isolierverglasung und einem Stockmaß von 56 mm. Trotz der geringen Dimensionen wirkt das neue Fenster (1980er) im Gegensatz zu den alten zweiflügeligen Sprossenfenstern unförmig. Das in Teil B erarbeitete Konservierungskonzept schlägt deshalb einen Austausch der Fenster in Anlehnung an die historischen Formate vor.

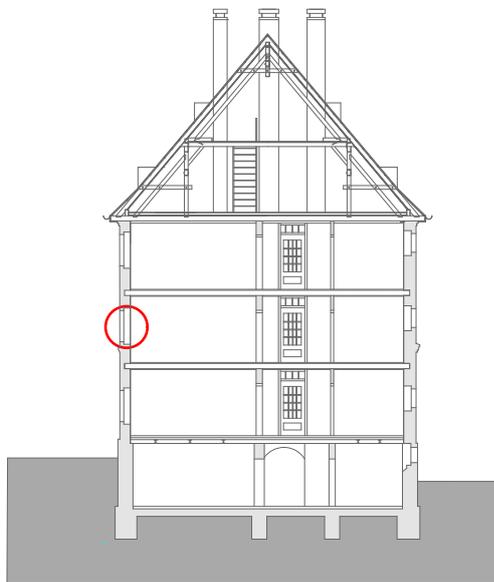


Abb. 157 Fensterdetail Bestandssanierung mit Innendämmung

Quelle: Zeitler (2014). OTH Regensburg

#### 4.3.1 Wärmeschutz

Entsprechend den EnEV-Berechnungen im Teil H wird von einem  $U_w = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$  der Fensterkonstruktion ausgegangen.

Eine Möglichkeit, dieser Anforderung zu entsprechen, ist in Abb. 159 dargestellt. Hier wird das bestehende Fenster durch ein zweiflügeliges Sprossenfenster mit Zweifachverglasung ergänzt. Somit wird eine Art Kastenfenster geschaffen.

Die 20 mm starke Laibungsplatte wird mit einem Kompriband luftdicht und diffusionsoffen mit beiden Fensterkonstruktionen verbunden. In gleicher Weise wird der Armierungsputz mit einer Anputzleiste an den Fensterstock angeschlossen. Durch eine bewuss-

te Undichtigkeit in der äußeren Fensterebene kann durch ein teilweises Öffnen des inneren Kastenfensters die Frischluftmenge sehr gut dosiert werden. Auch der in der Doppelfassade bekannte Effekt der Aufheizung des Glaszwischenraums wird sich hier in der Winter- und Übergangszeit positiv auswirken.

Ein entsprechendes Ergebnis kann mit dem Austausch der Fenster durch ein zweiflügeliges Sprossenfenster mit Dreifachverglasung und einem Stockmaß von 75 mm erreicht werden, wie in Abb. 160 zu sehen ist.

Möchte man die beiden Varianten vergleichen, so stellt man fest, dass sie von innen betrachtet optisch gleich wirken, da die neuen, historisch schlanken Profile mit Zwei- oder Dreifachverglasung ausgeführt werden können. Demzufolge wird die Dreifachverglasung von außen sogar schlanker wirken.

Weiterhin sind aufgrund der angedachten kontrollierten Wohnraumlüftung die zusätzlichen Lüftungsmöglichkeiten des Kastenfensters nur begrenzt nutzbar. Eine Einschränkung der Nutzbarkeit und des Sichtfeldes durch die doppelte Flügelanordnung ist aber deutlich spürbar.

#### 4.3.2 Feuchteschutz

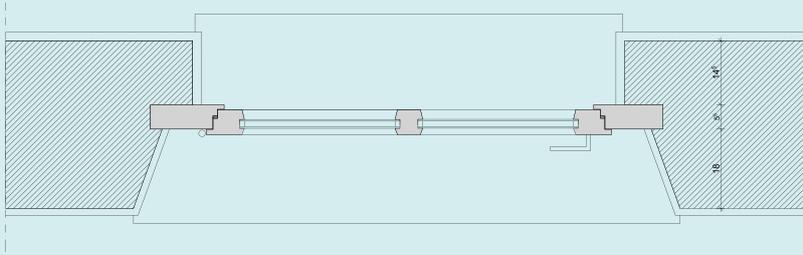
Hinsichtlich des Feuchteschutzes ist die Dreischeibenvariante im Vorteil, da durch den Zwischenraum des Kastenfensters ein Luftvolumen entsteht, das schwer zu kontrollieren ist. Hier besteht die Gefahr, dass die warme Raumluft an der kalten Außenscheibe des Kastenfensters kondensiert, wenn sie nicht entsprechend abgelüftet wird.

#### 4.3.3 Schallschutz

Im Bereich der Schallschutzanforderungen ist das Kastenfenster sehr gut geeignet, bei gleichzeitigem Schallschutz einen gewissen natürlichen Luftwechsel zu liefern, da das äußere Fenster wie eine Prallscheibe funktioniert. Aber auch hier gilt, dass durch den Einbau einer Wohnraumlüftung dieser Vorteil wieder aufgehoben wird.

#### 4.3.4 Brandschutz

Da für beide Konstruktionen keine Brandschutzanforderungen bestehen, kann hier keine Bewertung durchgeführt werden.



**Wandaufbau:**

- 15 mm Kalkzementputz  $\lambda = 1,00 \text{ W/mK}$
- 380 mm Mauerwerk  $\lambda = 0,81 \text{ W/mK}$
- 20 mm Kalkzementputz  $\lambda = 1,00 \text{ W/mK}$

Abb. 158 Grundriss Fenster Bestand

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg

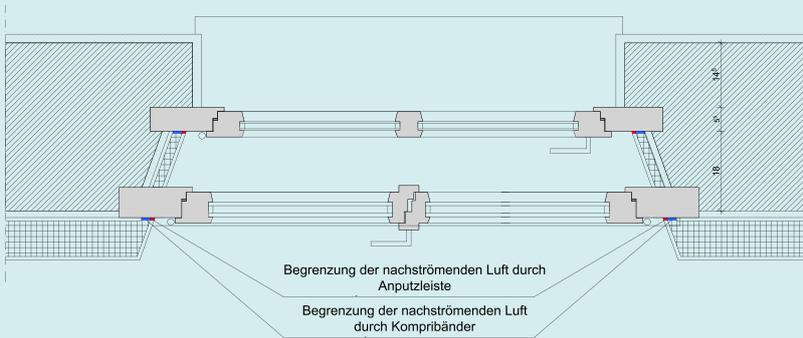
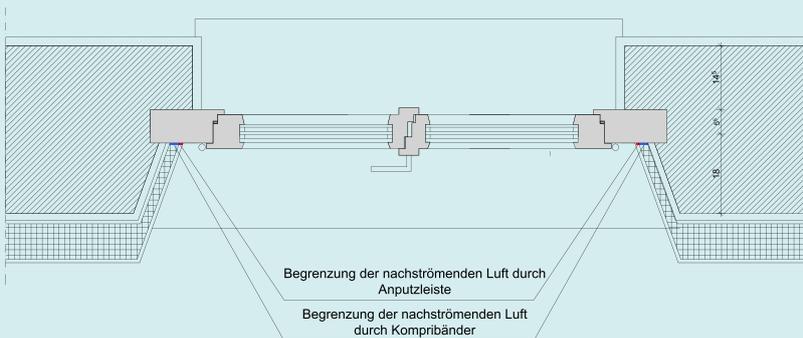


Abb. 159 Grundriss Fenster Sanierungsvariante Doppelfenster

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg



**Wandaufbau:**

- 20 mm Kalkzementputz  $\lambda = 1,00 \text{ W/mK}$
- 380 mm Mauerwerk  $\lambda = 0,81 \text{ W/mK}$
- 15 mm Kalkzementputz  $\lambda = 1,00 \text{ W/mK}$
- 8 mm Klebemörtel  $\lambda = 0,92 \text{ W/mK}$
- 80 mm Calciumsilikat-Innendämmung  $\lambda = 0,06 \text{ W/mK}$
- (20 mm Calciumsilikat-Laibungsdämmung  $\lambda = 0,06 \text{ W/mK}$ )
- 8 mm Armierungsmörtel  $\lambda = 0,57 \text{ W/mK}$

Abb. 160 Grundriss Fenster Sanierungsvariante Drei-Scheiben-Verglasung

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg



## 4.4 Detail Deckeneinbindung

Das dargestellte Balkenkopfdetail zeigt einen üblichen Anschluss für die bis 1940 in fast allen Mehrfamilienhäusern eingesetzte Holzbalkendecke.

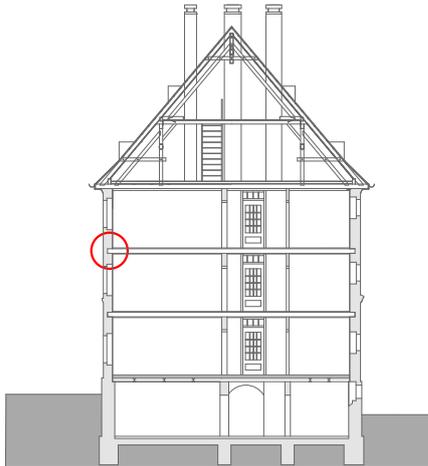


Abb. 161 Deckendetail Bestandssanierung mit Innendämmung

Quelle: Zeitler (2014). OTH Regensburg

### 4.4.1 Wärme-/Feuchteschutz

Wie im Teil D „Bauphysik und Bauschadensanalyse“ ausführlich dargestellt, wird durch die in Abb. 164 gezeigte Konstruktion die Temperatur und Holzfeuchte des Balkenkopfes im Verhältnis zur Bestandssituation nicht verändert. Somit wird durch die Sockelheizung und das Öffnen der Innendämmung im Bereich des Deckenanschlusses eine Bauteileigenschaft erreicht die trotz Innendämmung keine höhere Gefährdung aufweist. Durch den luftdichten, aber diffusionsoffenen Anschluss der Geschossdecke an die Außenwand wird eine Raumluftumspülung der Balkenköpfe verhindert. Die Innendämmung ist mit 30 und 80 mm umsetzbar.

Abb. 167 und Abb. 168 zeigen den Anschluss der Innenwand mit 30 und 80 mm Dämmstärke. In beiden Fällen ist kein Dämmkeil nach Berechnung notwendig, wenn der bestehende Putz an der Innenwand durch die Innendämmung unterbrochen wird.

Wie bereits angeführt, wird auch für dieses Detail eine Sockelheizung vorgeschlagen, mit dem Ziel, eine gleichmäßig warme Außenwand, basierend auf dem „Coanda-Effekt“, zu erzielen. Auch die Verringerung

der Wärmeleitfähigkeit der Ziegelwand durch die linienförmige Aufheizung/Austrocknung der Außenwand ist ein gewünschter Effekt.

### 4.4.2 Schallschutz

Die bestehende Deckenkonstruktion (siehe Abb. 163) erfüllt mit  $R'_w = 43$  dB und  $L'_{n,w} = 70$  dB die in der DIN 4109 geforderten Werte nicht. Da aber für die Konstruktion Bestandsschutz angenommen wird, ist eine Ertüchtigung wünschenswert, aber nicht verpflichtend.

Gegenüber Massivdecken haben Holzbalkendecken konstruktionsbedingt einige schallschutztechnische Besonderheiten. Infolge der geringen flächenbezogene Masse, ist die Schalldämmung im tiefen Frequenzbereich schlecht. Ausgehend von der Eigenschaft, dass die Anforderungen an den Trittschallschutz bei Holzbalkendecken schwieriger zu erfüllen sind als der geforderte Luftschallschutz gleicher Anforderungskategorie, kann in den meisten Fällen die Decke nach der Trittschalldämmung bemessen werden.

Abb. 165 zeigt einen Deckenaufbau, der nach Herstellerangaben einen Normtrittschallpegel  $L'_{n,w} = 46$  dB erreicht und somit den erhöhten Anforderungen der DIN 4109 Bbl. 2 entspricht. Entsprechend der getroffenen Annahme, dass bei Holzbalkendecken der Trittschallschutz schwieriger zu erfüllen ist als der Luftschallschutz, kann davon ausgegangen werden, dass auch hier die erhöhten Anforderungen der DIN 4109 Bbl. 2 erfüllt sind.

### 4.4.3 Brandschutz

Die in Abb. 165 gezeigte Deckenkonstruktion erfüllt die Anforderungen der Feuerwiderstandsklasse F60-B, welche bei einer Komplettanierung der Decke notwendig werden.

Abb. 163 zeigt den Deckenaufbau Bestand, der angewandt werden kann, wenn der Bestandsschutz erhalten bleibt.

Hinsichtlich des Einbaus von Installationen, z. B. Lüftungsleitungen im Hohlraum der Holzbalkendecke, ist festzustellen, dass diese keine zusätzliche Brandlast im Deckenaufbau darstellen dürfen. Somit ist festzuhalten, dass Kanäle entsprechend den Vorgaben der Hersteller brandschutztechnisch ummantelt werden müssen.

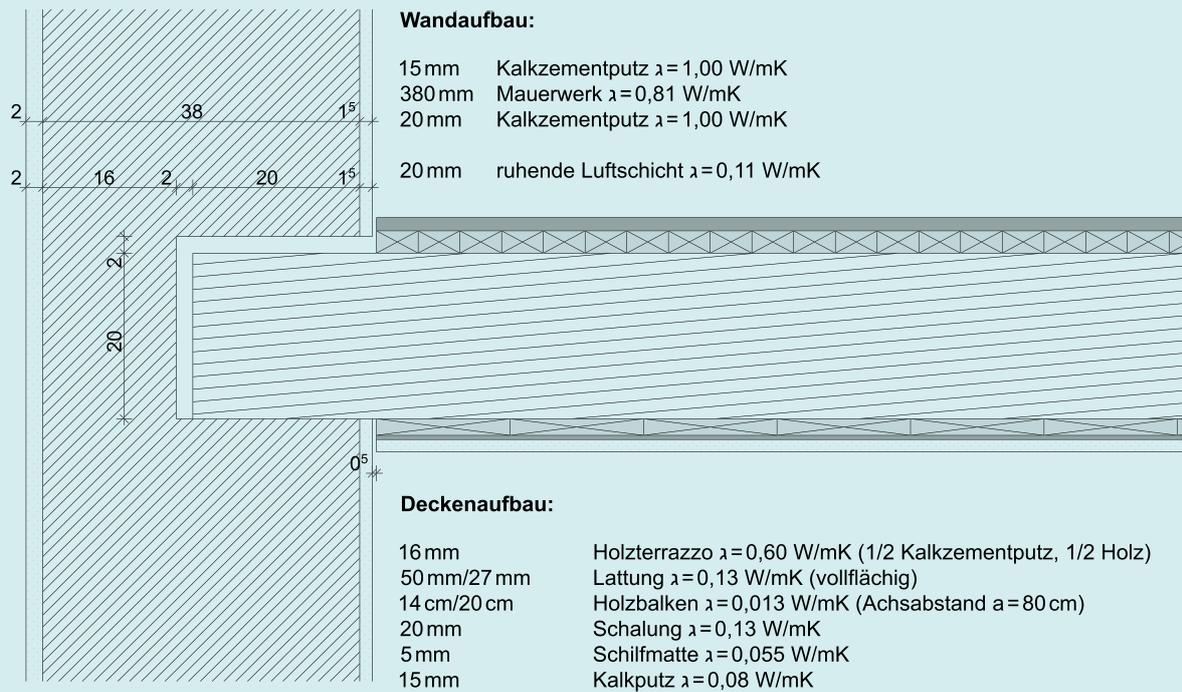


Abb. 162 Schnitt Balkenkopf Bestand

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg



Abb. 163 Schnitt Deckenaufbau Bestand

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg

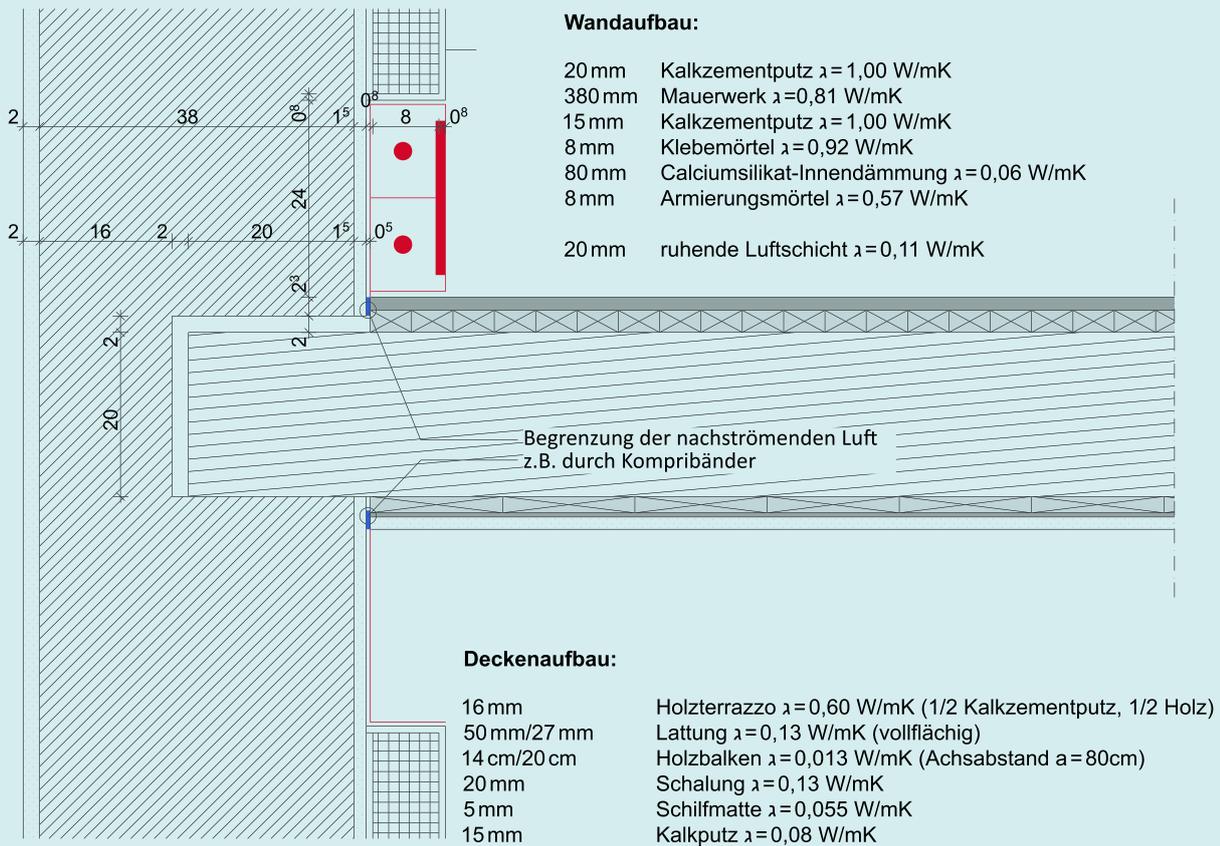


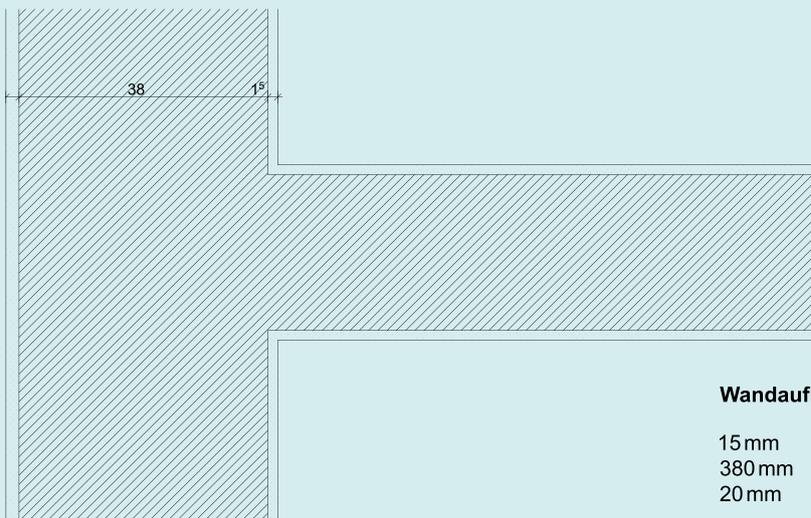
Abb. 164 Schnitt Balkenkopf Sanierung

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg



Abb. 165 Schnitt Deckenaufbau Sanierung

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg

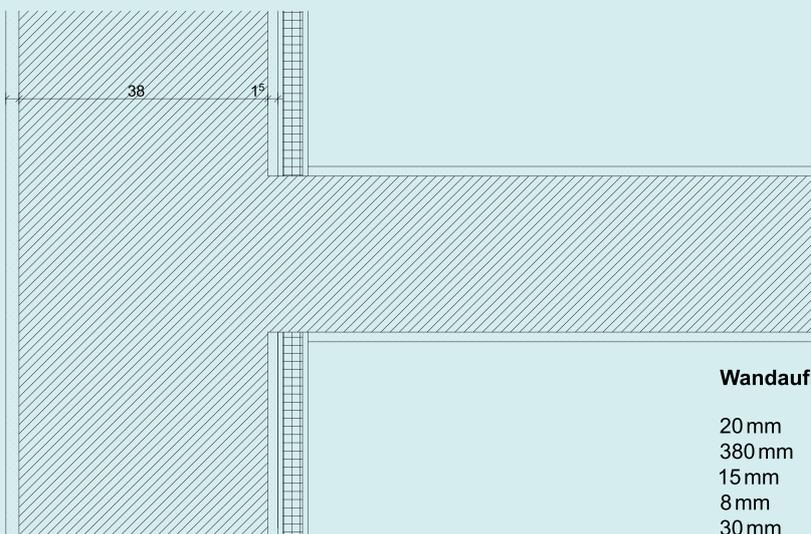


**Wandaufbau:**

15 mm	Kalkzementputz $\lambda = 1,00 \text{ W/mK}$
380 mm	Mauerwerk $\lambda = 0,81 \text{ W/mK}$
20 mm	Kalkzementputz $\lambda = 1,00 \text{ W/mK}$

Abb. 166 Grundriss Anschluss Innenwand Bestand

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg

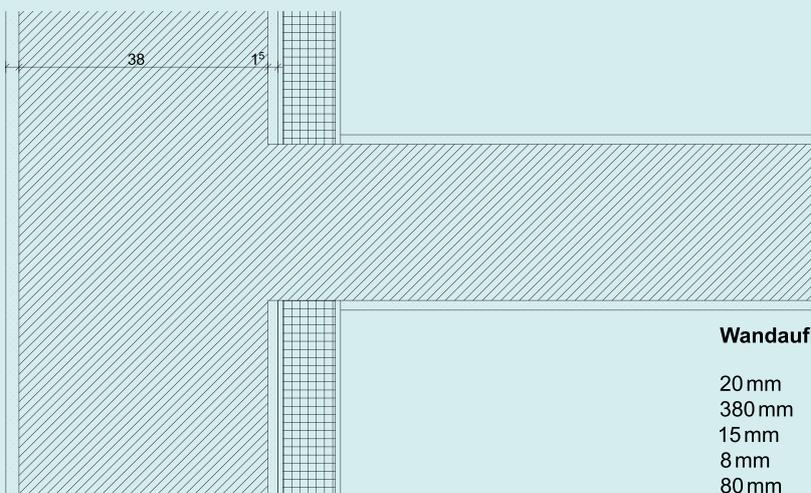


**Wandaufbau:**

20 mm	Kalkzementputz $\lambda = 1,00 \text{ W/mK}$
380 mm	Mauerwerk $\lambda = 0,81 \text{ W/mK}$
15 mm	Kalkzementputz $\lambda = 1,00 \text{ W/mK}$
8 mm	Klebemörtel $\lambda = 0,92 \text{ W/kM}$
30 mm	Calciumsilikat-Innendämmung $\lambda = 0,06 \text{ W/kM}$
8 mm	Armierungsmörtel $\lambda = 0,57 \text{ W/mK}$

Abb. 167 Grundriss Anschluss Innenwand Sanierungsvariante 3 cm

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg



**Wandaufbau:**

20 mm	Kalkzementputz $\lambda = 1,00 \text{ W/mK}$
380 mm	Mauerwerk $\lambda = 0,81 \text{ W/mK}$
15 mm	Kalkzementputz $\lambda = 1,00 \text{ W/mK}$
8 mm	Klebemörtel $\lambda = 0,92 \text{ W/kM}$
80 mm	Calciumsilikat-Innendämmung $\lambda = 0,06 \text{ W/kM}$
8 mm	Armierungsmörtel $\lambda = 0,57 \text{ W/mK}$

Abb. 168 Grundriss Anschluss Innenwand Sanierungsvariante 8 cm

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg



## 4.5 Detail Traufe

Die vorliegenden Details unterscheiden zwei grundsätzliche Ausbauvarianten: mit und ohne den Ausbau des Dachgeschosses.

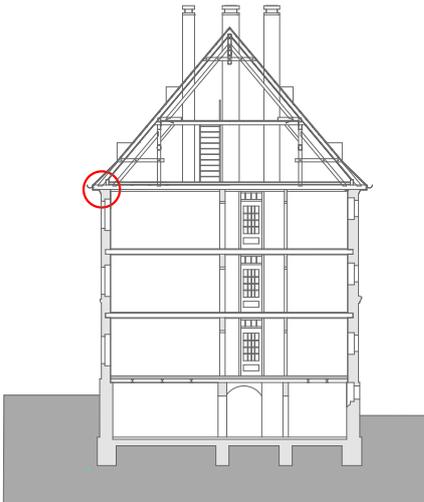


Abb. 169 Traufdetail Bestandssanierung mit Innendämmung

Quelle: Zeitler (2014). OTH Regensburg

### 4.5.1 Wärme-/Feuchteschutz

Teil D „Bauphysik und Bauschadensanalyse“ zeigt deutlich, dass die Ausbildung dieser Details unkritisch ist, wenn eine Hinterströmung der Dämmung mit der Raumluft verhindert wird. Die Abb. 170 zeigt hierbei die Variante ohne Dachgeschossausbau. Da hier die bestehende Decke erhalten bleibt, muss diese dampfbremsend in Form eines Kompribandes an die Außenwand angeschlossen werden. Durch den diffusionsoffenen Aufbau der 160 mm starken Steinwolle-dämmung zwischen den Lagerhölzern und der 24 mm dicken sägerauen Schalung ist dieser Anschluss so ausreichend.

Im Bereich über der Mauer muss der „schwere Deckeneinschub“ durch einen „leichten Deckeneinschub“ in Form von einer Steinwolle-dämmung ausgetauscht werden. Dadurch ist es möglich, eine warme Kante über der Vollziegelwand auszubilden, an welche die Deckendämmung anschließen kann.

Abb. 172 stellt die Variante des Dachgeschossausbaus dar. Bei diesem Detail ist besonders auf den dichten

Anschluss der Innenseite Außenwand an die neu zu erstellende Dampfbremse der Zwischensparrendämmung zu achten. Die warme Kante über der Vollziegelwand wird in gleicher Weise ausgebildet, diesmal für den Anschluss der Zwischensparrendämmung. Ähnlich dem Detail Deckeneinbindung, wird auch hier das letzte Stück Innendämmung ausgespart, um die Temperatur der Holzpfette nicht negativ zu beeinflussen. Beide Ausbauvarianten können sowohl mit 30 mm als auch mit 80 mm Innendämmung ausgeführt werden.

### 4.5.2 Schallschutz

Der Schallschutz für die oberste Geschossdecke unterliegt den gleichen Voraussetzungen, wie beim Detail Deckeneinbindung bereits dargestellt. Allerdings ist zu beachten, dass der Schallschutz nach DIN 4109 für die unter Abb. 172 dargestellte Ausführung verbindlich ist.

### 4.5.3 Brandschutz

Entsprechend der Festlegung zum Schallschutz ist auch der Brandschutz für die unter der Abb. 172 dargestellte Ausbauvariante in Form der Feuerwiderstandsklasse F60-B verbindlich. Der in der Abb. 173 dargestellte Deckenaufbau entspricht dieser Anforderung.

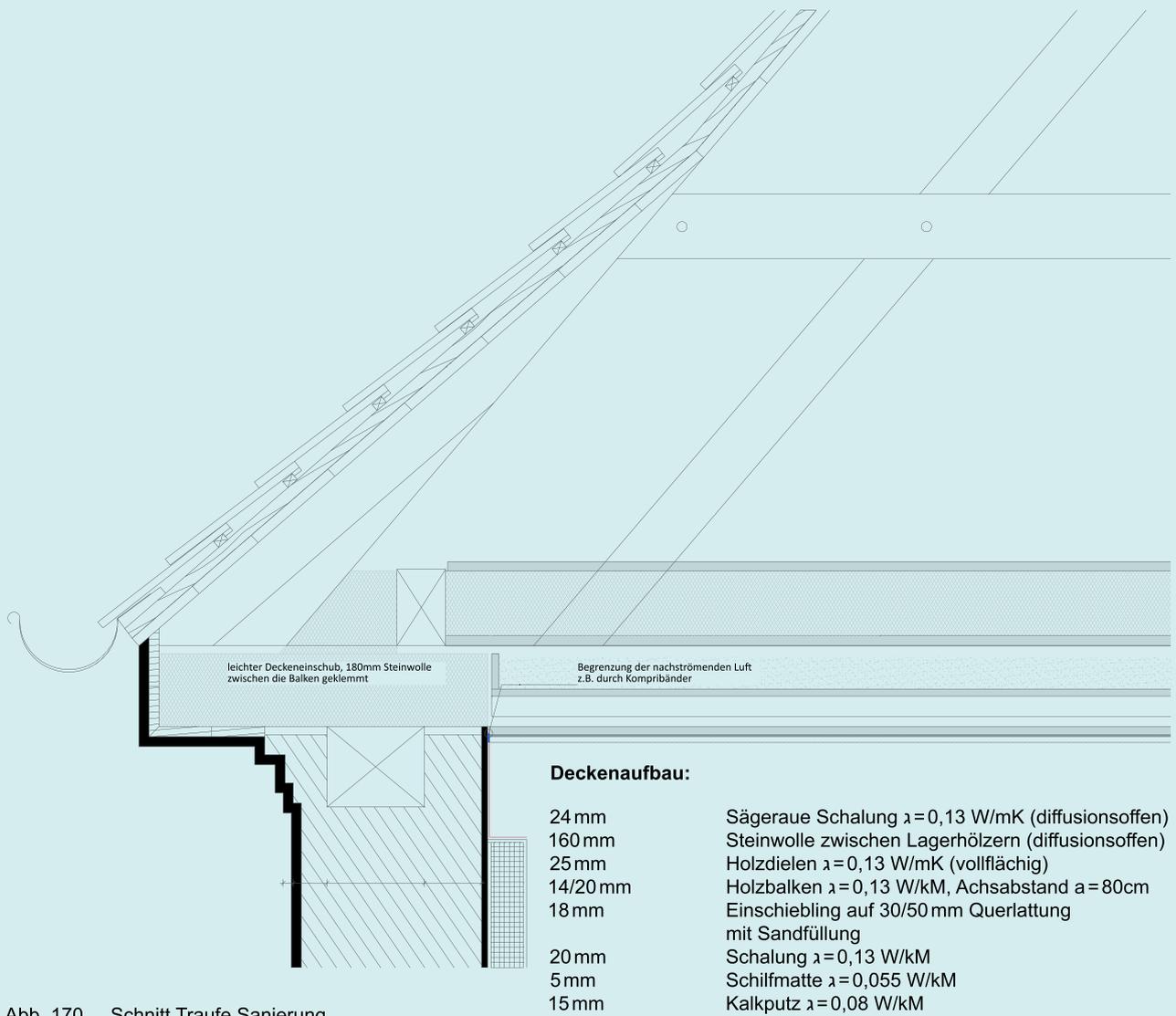


Abb. 170 Schnitt Traufe Sanierung

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg

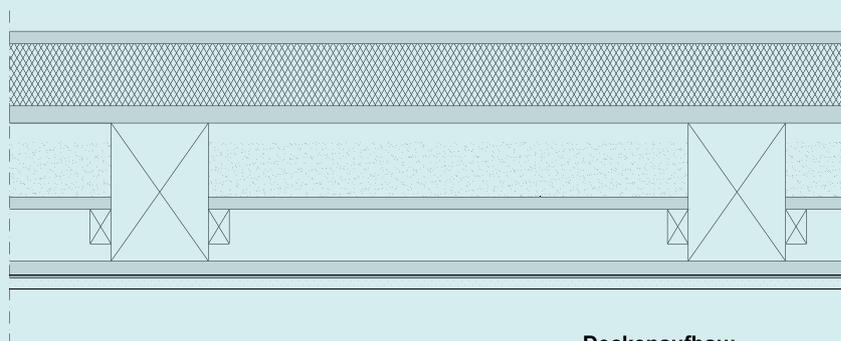


Abb. 171 Schnitt Deckenaufbau Dachstuhl Bestand

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg

### Dachaufbau:

30/50 mm	Dacheindeckung
	Lattung/Konterlattung
	Winddichtung
24 mm	Sägeraue Schalung $\lambda=0,13$ W/mK (vollflächig)
14 cm	Sparren $\lambda=0,13$ W/mK
60 mm	Aufdopplung auf Sparren $\lambda=0,13$ W/mK
200 mm	Steinwolle zwischen Sparren $\lambda=0,035$ W/mK
15 mm	OSB-Platten dicht gestoßen
	(Dampfbremse) $\lambda=0,13$ W/mK
30 mm	Holz-UK Gipskarton
2x 12,5 mm	GKF-Platten

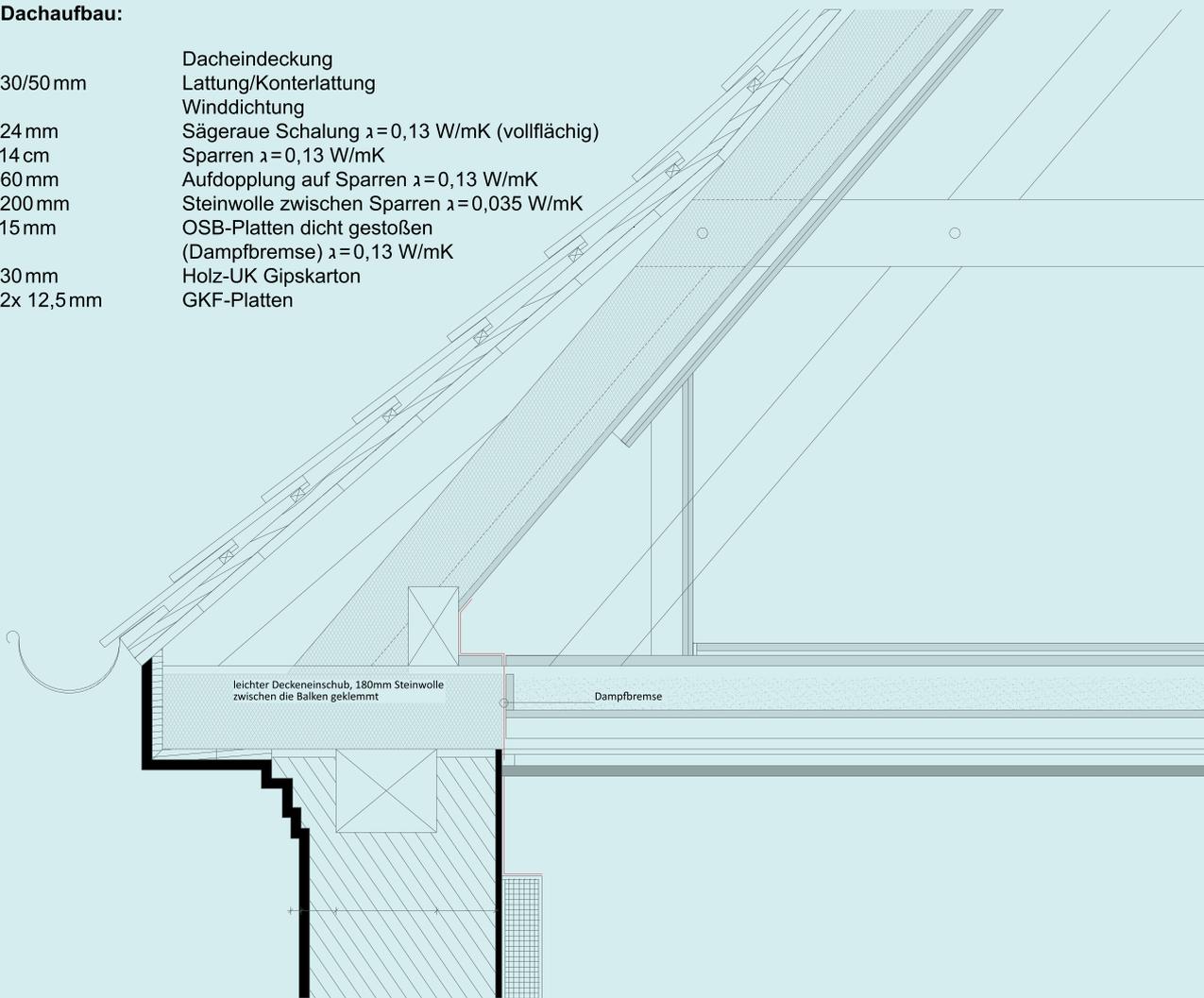
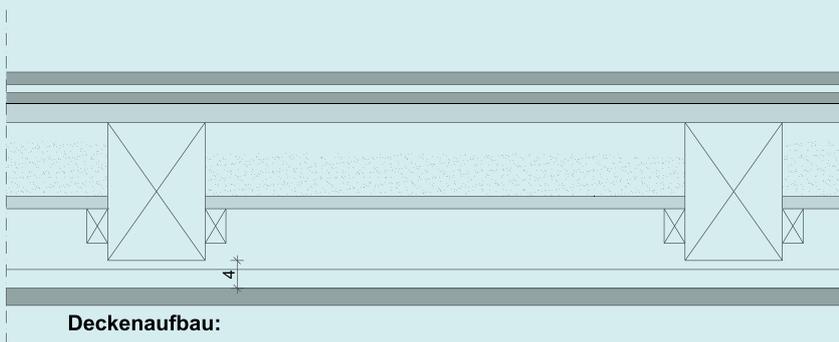


Abb. 172 Schnitt Traufe Dachgeschossausbau

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg



### Deckenaufbau:

18 mm	Trockenestrich
12 mm	Trittschalldämmung Mineralwolle $\lambda=0,035$ W/mK
25 mm	Holzdielen $\lambda=0,13$ W/mK (vollflächig)
14 cm/20 cm	Holzbalken $\lambda=0,013$ W/mK (Achsabstand $a=80$ cm)
18 mm	Einschiebling auf 30/50 mm Querlattung mit Sandfüllung
	(Auflast aus Sand $100$ kg/m <sup>2</sup> )
17 mm	CD Direktschwingabhängler
25 mm	GKF-Platte

Abb. 173 Schnitt Deckenaufbau Dachstuhl Sanierung

Quelle: Saller (2014). OTH Regensburg



1.	Standortvoraussetzungen	192
1.1	Klimatische Einflüsse	192
1.2	Energiepotenziale	195
1.3	Energieinfrastruktur	201
1.4	Energiebedarf	202



Teil F  
Bestands- und Potenzialanalyse

# 1. Standortvoraussetzungen

Voraussetzung für die Planung einer strukturierten und optimalen Energieversorgung ist die Erhebung von wichtigen Bestandsdaten und Einflüssen des zu versorgenden Objektes. In einem ersten Schritt werden sowohl klimatische Einflüsse als auch energetische Potenziale ermittelt. Ein weiterer Arbeitsschritt ist die Analyse der Energieinfrastruktur des bestehenden Objektes. Aus diesen Datenerhebungen lassen sich im Anschluss notwendige Maßnahmen für die Konzeptentwicklung ableiten.

## 1.1 Klimatische Einflüsse

Der Energieverbrauch eines Gebäudes wird nicht nur durch die bauphysikalischen Eigenschaften des Gebäudeobjektes bestimmt. Ebenso haben die standortbezogenen Klimabedingungen erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch eines Objektes. Wichtige klimatische Einflussfaktoren sind die Quantität und Qualität der Sonneneinstrahlung, die Temperaturverteilung und Niederschlagsmengen. Die ermittelten Klimadaten werden in die energetische Modernisierung und Auslegung der Energieversorgung (z. B. Auslegung eines Solarthermiesystems) miteinbezogen.

Standortspezifische Klimadetails können in einem ersten Schritt beim Deutschen Wetterdienst (DWD) angefordert werden:

[www.dwd.de](http://www.dwd.de)

Der Deutsche Wetterdienst ist für die Erfüllung der meteorologischen Erfordernisse aller Wirtschafts- und Gesellschaftsbereiche in Deutschland zuständig. Relevante Klimakarten sind im Climate Data Center (CDC) vom DWD für jeden Standort erhältlich:

- Lufttemperatur
- Niederschlag
- Sonnenscheindauer
- Globalstrahlung

Darüber hinaus können spezifische Klimadaten auch aus geeigneten Softwareprogrammen bezogen werden. Mithilfe der Klimasoftware Meteonorm der Firma Meteotest können unterschiedlichste Klimaparameter angefordert werden.

[www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com)

Die Software bezieht Daten aus weltweit 8350 Wetterstationen und stellt über 30 Klimaparameter zur Verfügung:

- Windgeschwindigkeit
- Niederschlag
- Sonnenscheindauer
- Lufttemperatur
- Globalstrahlung horizontal
- u. v. m.

Eine weitere Quelle für aktuelle Klimadaten sind neu entwickelte Energieatlanten, die von einzelnen Bundesländern zur Verfügung gestellt werden. Diese zentralen Internetportale wurden entwickelt, um Basisdaten gebündelt anzubieten. Darüber hinaus können hier bereits auch spezifische Informationen zu ausgewählten erneuerbaren Energieangeboten bezogen werden.

[www.energieatlas.bayern.de/index.html](http://www.energieatlas.bayern.de/index.html)

### Beispiel:

#### Klimadaten für den Standort Regensburg

##### Sonneneinstrahlung

Die Globalstrahlung beträgt im jährlichen Mittel 1103 kWh pro m<sup>2</sup> mit einer Unsicherheit von 6% (Quelle Meteonorm). Die Globalstrahlung setzt sich aus direkter und diffuser Strahlung zusammen. Die höchste Einstrahlung wird im Juli erreicht. Hier wird auch der betragsmäßig höchste Anteil an direkter Strahlung erzielt. Im Dezember werden die niedrigsten Werte erreicht (vgl. Abb. 174).

Ein weiterer Kennwert zur Beschreibung der Sonneneinstrahlung ist die Sonnenscheindauer. Die Sonnenscheindauer in Regensburg zwischen 1952 bis 2012 kann der Abb. 175 entnommen werden.

##### Temperatur

Der Abb. 176 kann die gemittelte Lufttemperatur nach Monaten in Regensburg entnommen werden (Daten 1985–2005; Unsicherheit: 0,3°C). Darüber

## Globalstrahlung (Regensburg)

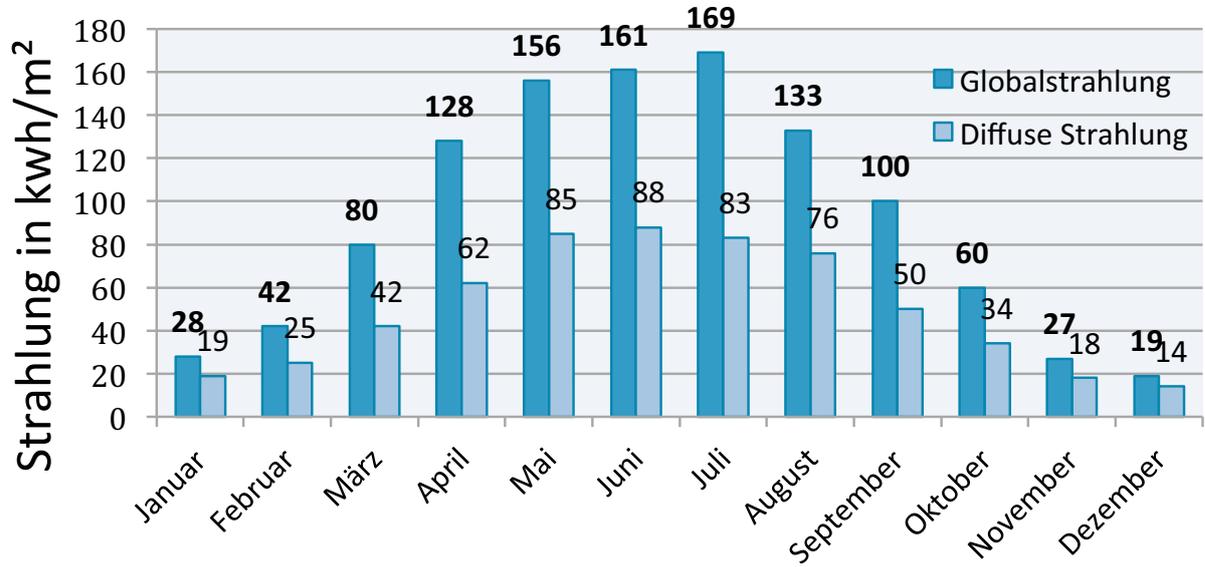


Abb. 174 Gemittelte Globalstrahlung für die Stadt Regensburg  
Quelle: Software Meteonorm Temperatur (Datenerfassung 1986–2005; 49,1° N/12,1° E 336m)

## Sonnenscheindauer (Regensburg)

Quelle Deutscher Wetterdienst DWD

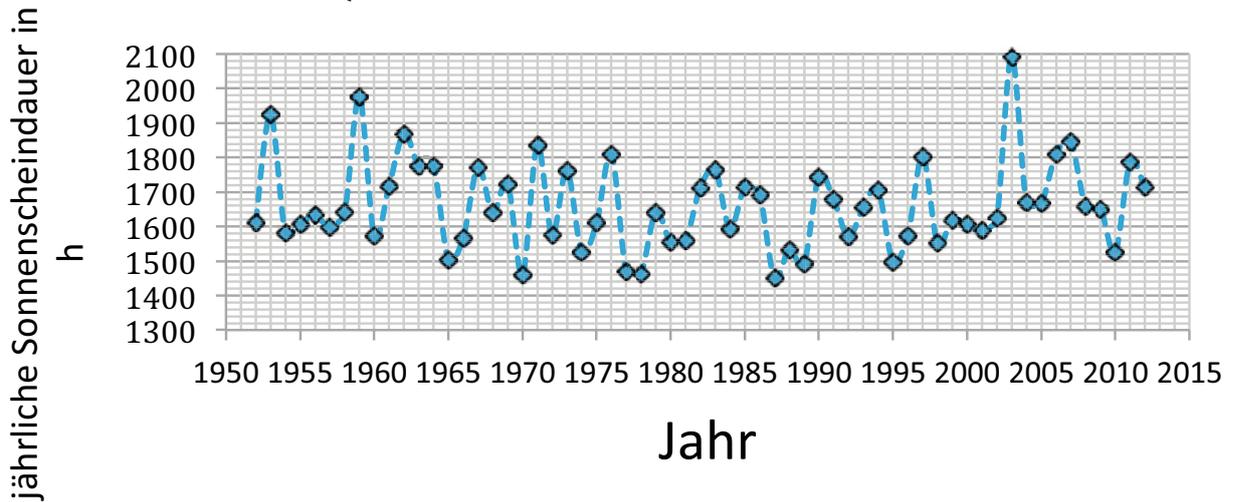


Abb. 175 Jährlich gemittelte Sonnenscheindauer für die Stadt Regensburg  
Quelle: Datensatz vom Deutschen Wetterdienst (DWD)

## Lufttemperatur (Regensburg)

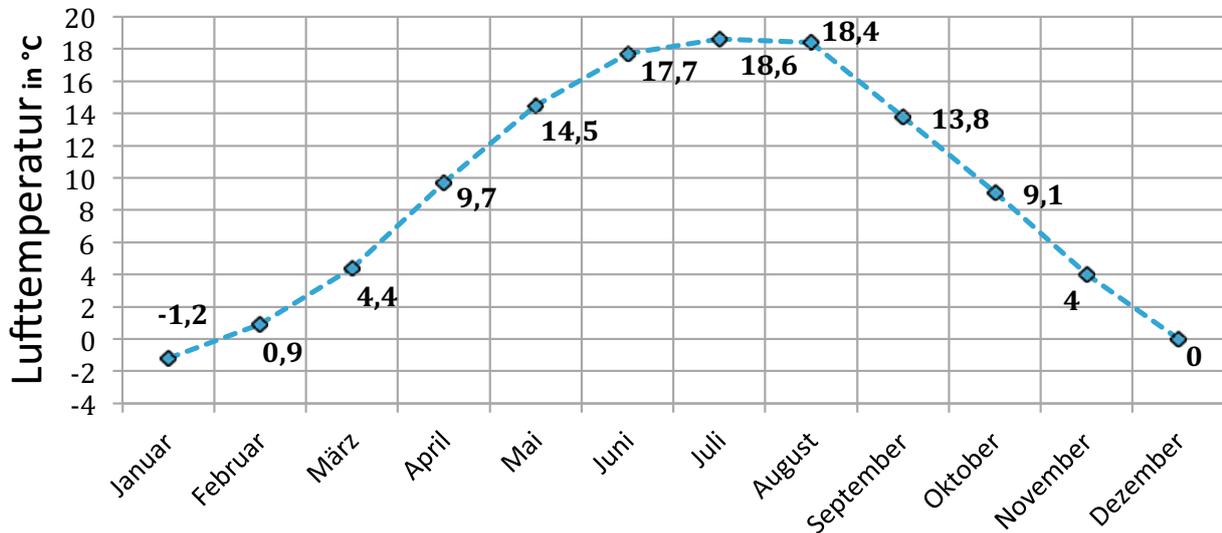


Abb. 176 Monatlich gemittelte Lufttemperatur für Regensburg  
Quelle: Software Meteonorm (Datenerfassung 1986–2005; 49,1° N/12,1° E 336 m)

## Jährlicher Niederschlag (Regensburg)

Quelle Deutscher Wetterdienst DWD

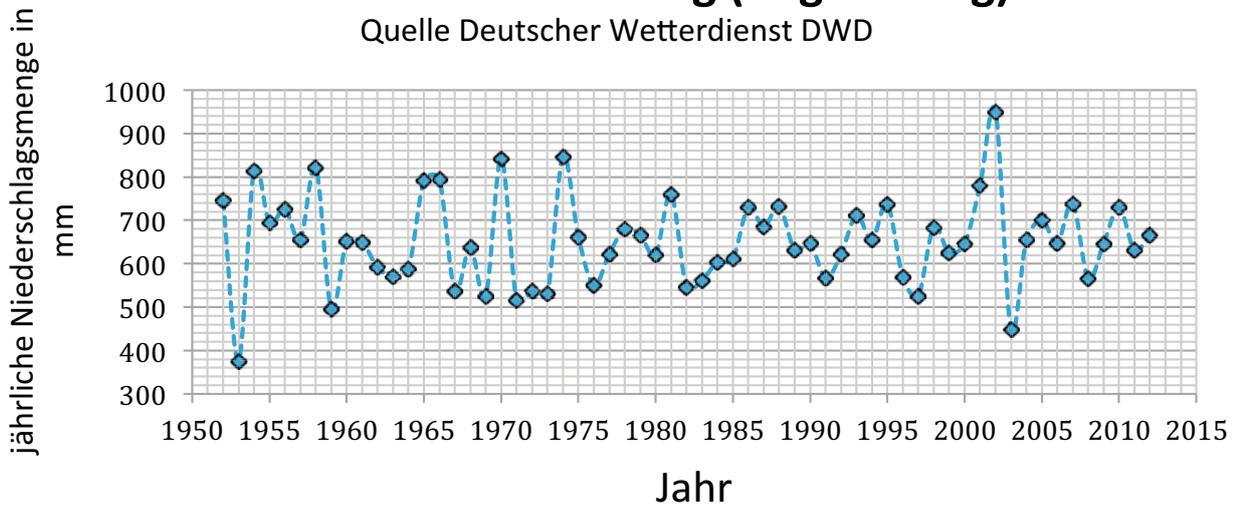


Abb. 177 Jährlich gemittelter Niederschlag in Regensburg  
Quelle: Datensatz vom Deutschen Wetterdienst (DWD)

hinaus wurden Daten zur gemittelten Jahrestemperatur und maximale bzw. minimale Temperaturen über einen Zeitraum von 60 Jahren erhoben.

## Niederschlagsmenge

Die Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ergeben eine gemittelte Niederschlagsmenge zwischen 1952 und 2012 von 663 mm pro Jahr. Der Abb. 177 können die jährlichen Niederschlagsmengen entnommen werden.

## 1.2 Energiepotenziale

Unser Lebensraum stellt ein großes Angebot an unbegrenzten Energieströmen zur Verfügung, sodass unser Energiebedarf ohne Rückgriff auf endliche Ressourcen prinzipiell gedeckt werden kann. Zur Verfügung stehen viele regenerative energetische Potenziale.

### 1.2.1 Solarenergie

Im Zuge von Neubau- und Sanierungsprojekten bildet die Nutzung der Sonnenenergie oft einen festen Bestandteil des Energieversorgungskonzeptes. Die Strahlungsenergie der Sonne kann sowohl in thermische als auch in elektrische Energie umgewandelt

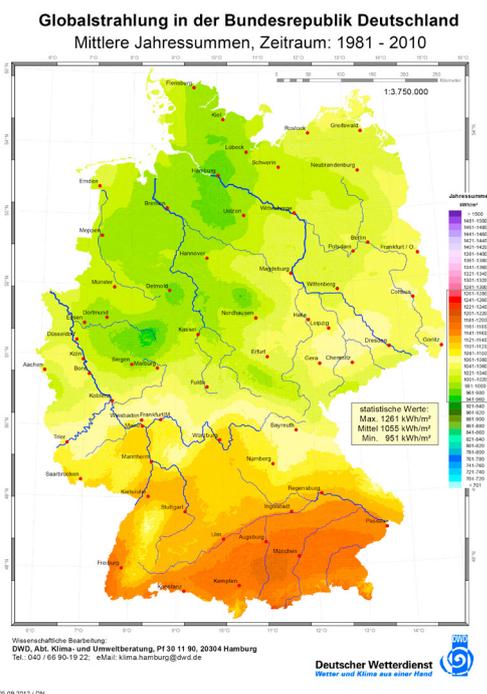


Abb. 178 Globalstrahlung in Deutschland – mittlere Jahressummen, Zeitraum: 1981–2000

werden. Für eine Beurteilung des Solarpotenzials können mithilfe von Strahlungskarten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) die statistischen Strahlungswerte je nach Standort ermittelt werden. Diese Rohdaten können auch aus anderen Quellen bezogen werden (z. B. Meteonorm).

Ein weiterer wichtiger Kennwert zur Beschreibung der Solarenergie ist die Sonnenscheindauer in Stunden pro Jahr. Auch diese kann mit entsprechenden Statistiken vom DWD ermittelt werden.<sup>1</sup> Ferner können diese Solarenergiekennwerte auch mit einer Software der Firma Meteonorm analysiert werden.<sup>2</sup>

### Nutzungsszenario

#### 100 % Solarthermie

Die nutzbare Solarenergie wird ausschließlich zur Wärmebereitstellung verwendet.

#### 100 % Fotovoltaik (PV)

Gesamte Solarenergie wird in elektrische Energie umgewandelt.

#### Brauchwasserszenario

Dachflächenanteil zur solarthermischen Nutzung zur Bereitstellung des Warmwasserbedarfs. Verbleibende Fläche wird für PV freigegeben.

#### Brauchwasser und Heizungsunterstützung

Bereitstellung von Dachflächen zur Abdeckung des Warmwasser- und Heizwärmebedarfs. Restflächen für PV-Verwendung freigegeben.

Der Ertrag von solartechnischen Anlagen hängt im Wesentlichen von der Ausrichtung der Dachflächen, deren Größe, deren Neigung und vorhandener Verschattung ab. Generell werden Fotovoltaikanlagen und Solarthermiemodule auf südwestlich, südlich und südöstlich ausgerichteten Dachflächen installiert. Die optimale Dachneigung wird in Deutschland mit 30° angegeben.<sup>3</sup> Nord-, nordost- und nordwest-orientierte

1 Deutscher Wetterdienst (DWD): Klima- und Umweltberatung, www.dwd.de, Hamburg.

2 Meteonorm: Ermittlung von Einstrahlungswerten, www.meteonorm.com/de, Bern.

3 Konrad, Frank (2007): Planung von Photovoltaik-Anlagen. Grundlagen und Projektierung. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag; Friedr. Vieweg & Sohn Verlag.

Dachflächen bleiben bei der Solarenergienutzung unberücksichtigt.

Bei der Auswahl geeigneter Dachflächen ist der besondere architektonische Aspekt der hier behandelten Gebäudeobjekte zu berücksichtigen. „Der Einbau solcher Anlagen ist bei Baudenkmalern und im Ensemble ausnahmsweise denkbar, wenn

- damit keine nachteiligen Veränderungen am historischen Konstruktionsbestand (z. B. Dachwerk) einhergehen
- das historisch geprägte Gesamterscheinungsbild des Denkmals und seine räumliche Wirkung nicht beeinträchtigt wird
- die Dachfläche vom öffentlichen Raum nicht unmittelbar einsehbar ist“<sup>4</sup> (zum Innenhof gerichtete Dachflächen).

Für Solaranlagen auf Baudenkmalern, im Ensemble und im Nahbereich von Baudenkmalern besteht eine Erlaubnispflicht nach Art. 6 DSchG, die bei der zuständigen Denkmalschutzbehörde eingeholt werden muss.<sup>5</sup>

4 Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (BLfD) (Hg.) (2012): Erneuerbare Energien – Solarthermie, Photovoltaik, Windkraft, Geothermie und Energie aus Biomasse in denkmalgeschützten Bereichen. Beratungsrichtlinie 01/2012. München.

5 Baur, Andreas; Hambauer, Daniela; Vollmar, Bernd (2012): Solarenergie und Denkmalpflege. Hg. v. Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege (BLfD). München.

Gestaltungsziele bei Installation von Solarmodulen:

- Geschlossene Anordnung der Module
- Rahmenlose Paneele
- „Dachkonforme“ Modulfarbe
- Unauffällige Befestigungen
- Dachflächenintegriert
- Keine „Sägezahn-Lösungen“

Mithilfe von Luftbildern, Bildern und Bebauungsplänen können geeignete Dachflächen zur Nutzung von Solarenergie ermittelt werden. In der Planung unberücksichtigt bleiben ungeeignete Gebäude, nicht verwendbare Dachflächen (z. B. Dachfenster) sowie abgeschattete Flächen (z. B. Kamin).

Mithilfe der ermittelten Dachflächenpotenziale und der statistischen Solarstrahlungswerte können unter Berücksichtigung der Dachneigung und Ausrichtung der Dachflächen (Azimut) die jährlich nutzbare Solareinstrahlung untersucht werden. Mithilfe einer geeigneten Simulationssoftware (z. B. Meteonorm) kann der statistisch Solarstrahlungswert abhängig von Ort, Neigung und Azimut der Dachfläche ermittelt werden. Sind eindeutige Angaben zur Dachneigung aus vorhandenen Bebauungsplänen nicht ersichtlich, können für die Region typische Durchschnittswerte angenommen werden. Die gesamte nutzbare Solareinstrahlung wird in Kilowattstunden pro Jahr ange-

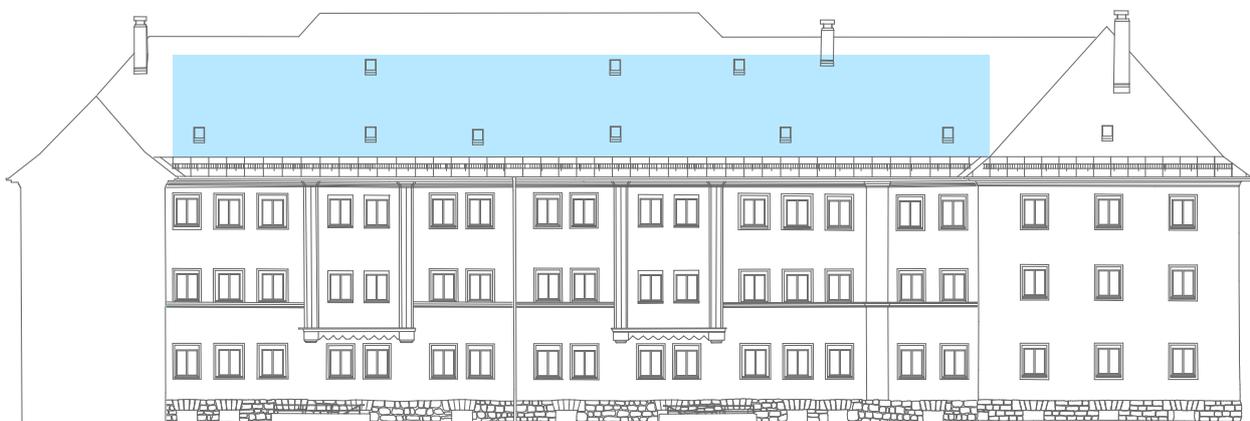


Abb. 179 Für Solarstrahlung nutzbare Dachfläche im Gebäudebereich Fünfhäusereck

geben und liefert eine Aussage über die bereitgestellte Energiemenge durch Solarenergie.

### Beispiel:

#### Ermittlung des Potenzials der Solarenergie am Beispiel des Plato-Wild-Ensembles

In einem ersten Schritt wurden die spezifischen Solarenergiekennwerte für Regensburg bestimmt. Die nutzbare Solareinstrahlung (Globalstrahlung) erreicht auf einer horizontalen Fläche in Regensburg im Jahresmittel zwischen 1 135 und 1 149 kWh Strahlungsenergie pro m<sup>2</sup>. Am Standort des behandelten Objektes beträgt die Sonnenscheindauer im Jahresmittel zwischen 1 550 und 1 600 h/a.<sup>6</sup>

Eine Untersuchung der geeigneten Dachflächen unter Berücksichtigung aller oben genannten Aspekte wurde im Rahmen einer Studienarbeit<sup>7</sup> durchgeführt. In einem ersten Schritt wurden ausschließlich Dachflächen ausgewählt, deren Ausrichtung zum Innenhof geht. Aus diesen wurden dann jene bestimmt, deren Dachausrichtung für eine solare Nutzung infrage kommen.

<sup>6</sup> Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV); Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hg.) (2013): Energieatlas Bayern 2.0. Online verfügbar unter: <http://www.energieatlas.bayern.de/energieatlas.html>, zuletzt geprüft am 25.10.2013.

<sup>7</sup> Birkenseer, Andreas; Meyer, Stefan (2013): Analyse des Dachflächenpotenzials zur Nutzung von Solarthermie und Photovoltaik im Plato-Wild-Ensemble. Studienarbeit. Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg.

Die Ergebnisse des Auswahlverfahrens können der Abb. 179 entnommen werden.

Die geeigneten Dachflächen verfügen alle über eine südwestliche Dachausrichtung und eine Dachneigung von 45°. Aus den Ergebnissen der Baudokumentation konnten die jeweiligen Abmaße der geeigneten Dachflächen ermittelt werden.

### 1.2.2 Windenergie

Das Potenzial der Windenergie vor Ort kann mithilfe einer Datenbank ermittelt werden. In vielen Bundesländern existieren mittlerweile Windatlanten zur genauen Analyse des standortspezifischen Windenergiepotenzials. Gängige Windkraftwerke lassen sich zum heutigen Zeitpunkt erst ab einer mittleren Windgeschwindigkeit [ $> 4,5$  m/s] wirtschaftlich betreiben. Der ökonomische Einsatz von Windkraftanlagen in Stadtgebieten ist ohnehin fraglich, da die Windgeschwindigkeiten in den Städten häufig eher bescheiden sind. Ferner ist der Einsatz von Windkraftanlagen in Wohngebieten und angrenzenden Gebieten mit komplexen Zulassungsverfahren verbunden und nur schwer realisierbar. Kleinwindanlagen zur Selbstversorgung in Wohngebieten sind immer wieder Bestandteil von gerichtlichen Auseinandersetzungen. Der Einsatz von Windenergie zur Versorgung der in diesem Leitfaden behandelten Ensembleobjekte wird nicht weiter verfolgt.

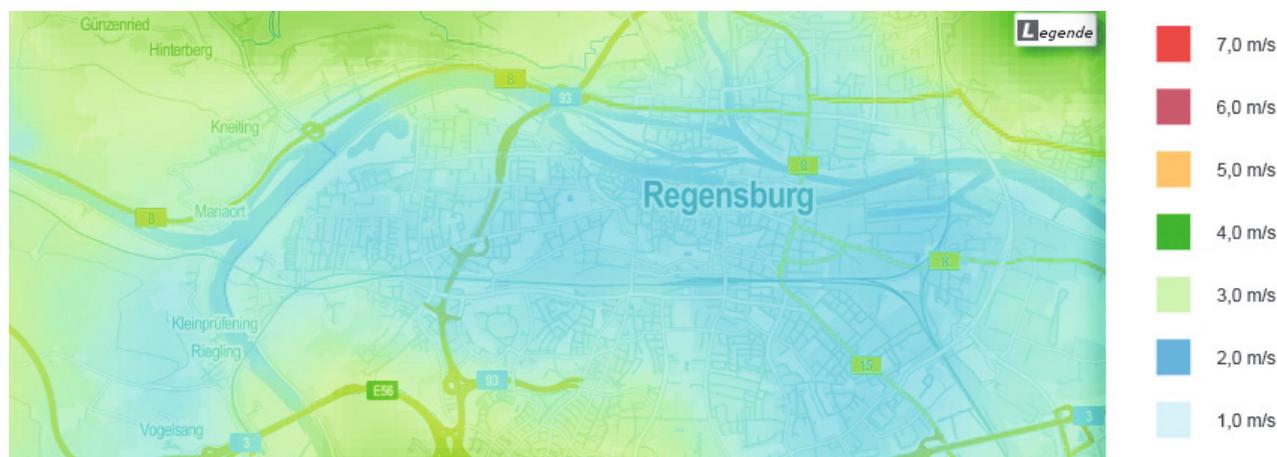


Abb. 180 Mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über dem Grund (Jahresmittel) im Raum Regensburg („Bayerischer Windatlas – Nutzung der Windenergie“. Hg.: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, 2014)

## Beispiel:

### Ermittlung des Windenergiepotenzials am Beispiel des Plato-Wild-Ensembles

Der wirtschaftliche Betrieb einer Windkraftanlage im Plato-Wild-Ensemble ist auf Basis der durchgeführten Windgeschwindigkeitsanalyse auszuschließen. Aufgrund des fehlenden Potenzials und der Schwierigkeit, Windkraftanlagen in Wohngebieten zu installieren, wurde von einer weiteren Bearbeitung abgesehen.

#### 1.2.3 Geothermieenergie

Geothermie umfasst die Energiegewinnung aus dem Erdinneren bzw. der Erdoberfläche. Dabei wird unterschieden zwischen Tiefengeothermie und oberflächennahe Geothermie.

#### Oberflächennahe Geothermie

##### Grundwasserwärmepumpe

Grundwasser wird über einen Brunnen entnommen, der Wärmepumpe zugeführt und wieder in den Untergrund eingeleitet. Hierzu sind ein Förder- und ein Schluckbrunnen notwendig. Die Nutzung des Grundwassers bedarf grundsätzlich einer Genehmigung, die in der zuständigen Wasserbehörde eingeholt werden kann. Ein Einsatz einer solchen Anlage in Grundwasserschutzgebieten ist nicht möglich.

##### Erdwärmesonde

Erdwärmesonden werden senkrecht im Boden eingebracht und reichen bis zu einer Tiefe von 100 m. Konstante Temperaturen ermöglichen ganzjährige Wärmeentnahmen. Bohrungen für Erdwärmesonden erfordern auch eine wasserrechtliche Genehmigung durch die zuständigen Wasserbehörden.

##### Erdwärmekollektoren

Kunststoffrohre, horizontal verlegt in einer Tiefe von 1,2 bis 1,5 m, entziehen dem Erdreich Wärme. Länge und Fläche des Erdwärmekollektors sind abhängig von der gewünschten Wärmeleistung. Der Einsatz von Erdwärmekollektoren erfordert eine freistehende Fläche, die auch zukünftig nicht zur Bebauung vorgesehen ist. Geringeren Wärmeleistungen im Winter im Vergleich zu Sonden stehen niedrigere Investitionskosten gegenüber.

Oberflächennahe Geothermie nutzt den Untergrund bis zu einer Tiefe von in etwa 300 m und Temperaturen bis zu 25 °C für die Energiegewinnung. Überwiegend wird diese Art der Energiegewinnung zur Bereitstellung von Wärme genutzt. Stromgewinnung mit oberflächennaher Geothermie ist aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus nicht möglich. Als Wärmequellen kommen das Grundwasser, das Erdreich und oberflächennahe Gesteinsstrukturen infrage. Die Wärmequellen können mithilfe einer Wärmepumpe genutzt werden.<sup>8</sup>

Tiefengeothermie nutzt tief liegende Lagerstätten (ab 400 m) als Wärmequelle. Wärme kann Thermalwasser und/oder Gesteinsstrukturen entzogen werden. Im Gegensatz zur oberflächennahen Geothermie stehen hier hohe Temperaturen zur Verfügung. Die gewonnene Wärmeenergie kann ohne Einsatz einer Wärmepumpe direkt verwendet werden. Ab Temperaturen von über 200 °C ist darüber hinaus eine Verstromung der Wärme möglich.

Geothermie zählt zu den regenerativen Energieträgern und ist ganzjährig verfügbar. Im Gegensatz zu fluktuierenden Energieerzeugern (Wind- und Solarenergie) kann die Geothermie zur Grundlastdeckung beitragen. Voraussetzung für die Stromgewinnung aus Erdwärme ist ein hohes Temperaturniveau der gewonnenen Wärme, umsetzbar nur mit Tiefengeothermie. Diese ist jedoch mit einem hohen technischen Aufwand (tiefe Bohrung) verbunden und mit der Infrastruktur eines Ensembles im Stadtgebiet nur schwer zu vereinen. Darüber hinaus ist eine sinnvolle Nutzung der Tiefengeothermie auf bestimmte Regionen in Deutschland beschränkt. Eine oberflächennahe Erdwärmennutzung ist technisch einfach zu realisieren und für den Einsatz in den hier diskutierten Ensembles schon deutlich mehr geeignet. Zum heutigen Zeitpunkt finden sich in vielen Haushalten in Deutschland bereits oberflächennahe Geothermiesysteme, die aus der Erde aufsteigende Wärme nutzen, ohne aus großer Tiefe hohe Temperaturen an die Oberfläche zu fördern.

<sup>8</sup> Stober, Ingrid; Fritzer, Thomas; Obst, Karsten (2011): Tiefe Geothermie. Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland. 3. Aufl. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Berlin.

Erdwärmekollektoren benötigen entsprechende oberirdische Freiflächen, die in einem Ensemble häufig nicht in der benötigten Größe zur Verfügung stehen. Flächen im Innenhof sind oftmals zu klein, um eine ausreichende Versorgung des Häuserkomplexes gewährleisten zu können. Im Gegensatz dazu ist der Einsatz von Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen mit einem niedrigen Flächenbedarf verknüpft. Die benötigten Bohrungen auf dem Quartiersgelände werden jedoch oftmals aus wasserrechtlichen Gründen als bedenklich eingestuft. Eine Überprüfung der rechtlichen Rahmenbedingungen bei den zuständigen Behörden vor Ort wird dringend empfohlen. Die bereitgestellten Energieatlanten der Bundesländer geben einen ersten orientierenden Überblick über die Nutzungsmöglichkeiten der oberflächennahen Geothermie mittels Erdwärmesonden.<sup>9</sup> Ferner können benötigte Bohrungen oftmals in Konkurrenz zu anderen Vorhaben (z. B. Tiefgarage) stehen. Zahlreiche Informationen bietet ein Leitfaden des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, der alle notwendigen Informationen zum Thema Erdwärmesonden bereithält.<sup>10</sup>

### 1.2.4 Energie aus Biomasse

Zur Biomasse zählen Roh- und Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft. Biomasse ist ein nach-

9 Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV); Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hg.) (2013): Energieatlas Bayern 2.0.

10 Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) (2012): Leitfaden Erdwärmesonden in Bayern. Hg. v. Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.

wachsender Rohstoff, der bei nachhaltiger Bewirtschaftung beständig bereitsteht. Die Biomasse ist häufig regional verfügbar, ein weiter Transportweg wie im Falle von fossilen Brennstoffen entfällt. Durch den örtlichen Bezug der Brennstoffe bleibt die Wertschöpfung in der Region. Eine aufwendige Aufbereitung und Bereitstellung der biogenen Brennstoffe im Vergleich zu Heizöl und Erdgas ist nicht notwendig. „Energie aus Biomasse schafft ein Stück Unabhängigkeit von Krisenregionen, schont Ressourcen und ist ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz.“<sup>11</sup> Eine nachhaltige Erzeugung und regionale Verwendung der Biomasse bedeutet eine nahezu kohlendioxidneutrale Nutzung, d. h. eine Verbrennung der Biomasse gibt nur die Menge an Kohlendioxid frei, die beim Anbau der Biomasse gebunden wurde.

Weit verbreitet ist der Einsatz von Biomasse zur Bereitstellung von Wärmeenergie. Durch die Verbrennung von biogenen Brennstoffen wird Wärme gewonnen, die beim Verbraucher zur Raumheizung, Trinkwassererwärmung oder als Prozesswärme genutzt werden kann. Seit der Einführung von staatlichen Fördermaßnahmen im Jahr 2000 gewinnt die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung aus biogenen Brennstoffen immer mehr an Bedeutung hinzu. Biomasseheizkraftwerke erzeugen elektrische Energie aus Biomasse, die „Abwärme“ der Strom erzeugenden Anlage wird wiederum zur Raumheizung, Trinkwassererwärmung oder als Prozesswärme genutzt. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

11 CARMEN e.V.: Biomasse als Brennstoff: nachhaltig und erneuerbar. Online verfügbar unter: <http://www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe/brennstoffe>, zuletzt geprüft am 26.08.2014.

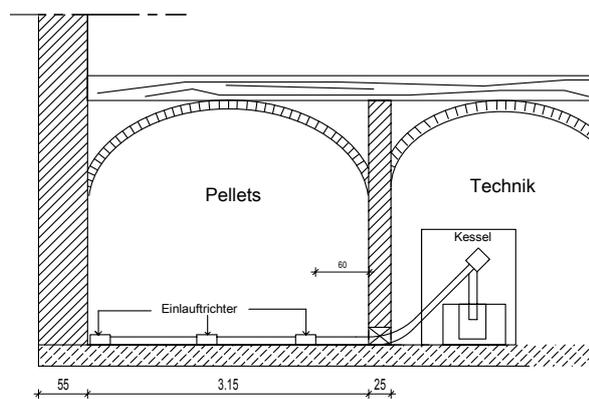
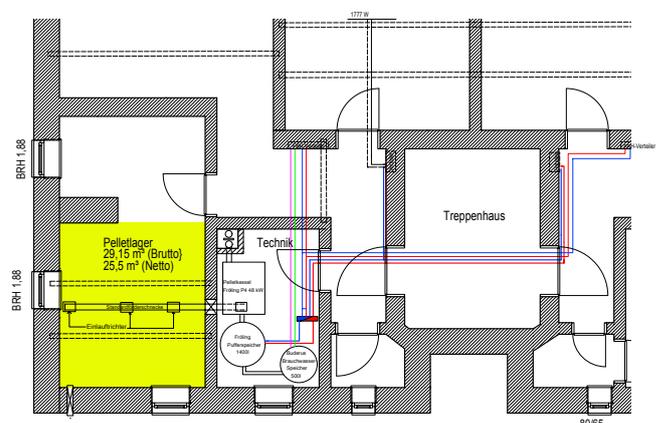


Abb. 181 Integration einer Holzpelletanlage in den Gebäudebestand (Safferlingstr. 15)  
Quelle: Projektarbeit, OTH Regensburg – Melzl, Wittmann, Puff



fördert unter anderem den Einsatz von Biomasse zur Stromerzeugung, wie beispielsweise die Verbrennung von Holz in Biomasseheizwerken und Biomasseheizkraftwerken, oder die Vergärung von Gülle und Silage aus Energiepflanzen in Biogasanlagen und anschließende Verstromung des Biogases. Biomasse wird in hohem Maße auch zur ausschließlichen Bereitstellung von Wärmeenergie genutzt. Wärmeerzeugung aus Biomasse wird durch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) gefördert.

„Laut dem Biomasseaktionsplan der Bundesregierung soll der Anteil der erneuerbaren Energien im Wärmebereich im Jahr 2020 auf 14 % steigen. Die Biomasse leistet dabei mit 91,7 % im Jahr 2011 bislang den weitaus größten Anteil im Bereich der regenerativen Wärmeversorgung, welche wiederum einen Anteil von 11 % an der gesamten Wärmebereitstellung hat.“<sup>12</sup> Biomasse ist jederzeit verfügbar und flexibel einsetzbar, daher kommt ihr eine bedeutende Rolle bei der Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien zu.

Holz als biogener Festbrennstoff nimmt im Bereich „Biomasse“ eine besondere Stellung ein. Zum heutigen Zeitpunkt kommen unterschiedlichste Holzbrennstoffe zum Einsatz und sind in vielen Fällen regional und preiswert zu erhalten. Gerade der Einsatz von Holzpellets als Energiebrennstoff hat in den letzten Jahren deutlich zugelegt.

Eine Beeinträchtigung des historischen Erscheinungsbildes ist durch die Nutzung von Biomasse im Gegensatz zu anderen bereits vorgestellten Energiepotenzialen nicht zu erwarten. Eine energetische Nutzung der Biomasse geht einher mit der schonenden Restaurierung historisch bedeutender Stadtquartiere.

## **Beispiel:**

### **Biomasse am Beispiel des Plato-Wild-Ensembles**

Bereits bei der Potenzialanalyse zeichnete sich die Biomasse als geeigneter Partner für eine zuverlässige Energieversorgung des Gesamtensembles ab. In zahlreichen Untersuchungen wurden mithilfe von studentischen Projektarbeiten die Hauptvertreter der biogenen Brennstoffe auf einen Einsatz im Stadtquartier

hin untersucht. Schwerpunkte der Recherchen waren die Verfügbarkeit, Lagerung und Wirtschaftlichkeit der einzelnen Brennstoffe.

## **Biogas**

Der gasförmige Biobrennstoff kann problemlos über die bestehende Gasinfrastruktur des örtlichen Energieversorgers bezogen werden. Durch den Anschluss des Plato-Wild-Ensembles an das Erdgasnetz des regionalen Energieversorgers ist ein Bezug des Biogases jederzeit möglich. Biogas kann sowohl als Brennstoff im Blockheizkraftwerk als auch in modernen Brennwertkessel verwendet werden. Der gasförmige Biobrennstoff verfügt über die gleichen stofflichen Eigenschaften wie Erdgas. Durch die Anbindung an eine bestehende Erdgasinfrastruktur ist eine Bevorratung des Brennstoffs nicht notwendig. Auf größere Umbaumaßnahmen, die mit den besonderen architektonischen Besonderheiten eines historischen Stadtquartiers abgestimmt sein müssen, kann verzichtet werden. Probleme bereiten die deutlich höheren Brennstoffkosten, die eine Wirtschaftlichkeit in weite Ferne rücken lassen.

## **Holzpellets**

Holzpellets sind kleine Presslinge aus Holzspänen und Sägemehl, die deutschlandweit verfügbar sind. Der Festbrennstoff kann unkompliziert bei regionalen Händlern bestellt werden und wird in den entsprechend angelegten Brennstofflagern bevorratet. Aus diesen wird der biogene Brennstoff selbstständig von einer Zuführeinrichtung (Schnecke, Förderband) automatisch in die Brennkammer transportiert. Aktuelle Pelletheizungen erreichen Wirkungsgrade von über 90 % und sind in Wartung und Betrieb mit herkömmlichen Gas- oder Ölheizungen vergleichbar. Im Rahmen einer Studienarbeit wurde in einem ersten Schritt die Integration einer Holzpelletanlage in den Gebäudebestand der Safferlingstraße 15 untersucht. Die Integration einer Pelletanlage mit Lagerraum im Gebäudekomplex kann der Abb. 181 entnommen werden. Obwohl die Lagerung des Brennstoffs im Allgemeinen einfach und unkompliziert ist, benötigt der Einsatz von Holzpellets im Gegensatz zu herkömmlichen fossilen Heizsystemen deutlich größere und aufwendigere Lagerräume. Holzpellets sind im direkten Vergleich zu fossilen Brennstoffen wesentlich preiswerter zu beziehen und kommen zum heutigen Zeitpunkt in Wohngebäuden schon verstärkt zum Einsatz.

<sup>12</sup> Institut für ZukunftsEnergieSysteme IZES (2014): Regionale Konzepte zum Ausbau der Bioenergie. Regionale Konzepte zum Ausbau der Bioenergieerzeugung aus Holz. Saarbrücken.

## Holzhackschnitzel

Hackschnitzel werden aus Waldholz, aus Sägenebenprodukten, aus Industrierestholz oder aus Flur- und Schwemmholz hergestellt und sind weiträumig regional verfügbar. Im Vergleich zu den Holzpellets muss ein deutlich höheres Lagervolumen bereitgestellt werden. Innovative Techniken erlauben heute bereits eine Vergasung der Hackschnitzel und mit dem entstehenden Holzgas können in einem kombinierten Prozess elektrische und thermische Energie gewonnen werden. Holzackschnitzel variieren in ihrer Qualität je nach Feuchtegehalt, jedoch sind sie deutlich preiswerter als Holzpellets zu erhalten. Gerade für einen Vergasungsprozess sind qualitativ hochwertige und damit kostenintensivere Hackschnitzel jedoch eine absolute Voraussetzung.

### 1.2.5 Energie aus Abwärme

Unter Abwärme fällt Wärmeenergie, die ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. Abwärmeenergie kann in unterschiedlichsten Formen auftreten:

- Abwasserabwärme
- Abluftabwärme
- Kühlwasser
- Abgaswärme

Voraussetzung für eine konstruktive Nutzung der Abwärme ist die Lokalisation von ungenutzten Abwärmeströmen und die Entwicklung von Konzepten, diese Abwärme an anderer Stelle wirtschaftlich zu nutzen.

Gerade nahe liegende Industriebetriebe können ein großer Abwärmeproduzent sein. Eine Nutzung der dort anfallenden Abwärme durch ein historisches Ensemble kann sinnvoll sein und muss detailliert untersucht werden:<sup>13</sup>

1. Ermittlung von Industriebetrieben
2. Ermittlung des Abwärmepotenzials (Abwärmeangebot)
3. Ermittlung des Abwärmenutzungspotenzials

<sup>13</sup> Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2008): Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen. Augsburg.

4. Abschätzung der Investitionen in die erforderliche Anlagentechnik

5. Abschätzung der ökonomischen Rahmenbedingungen

Eine potenzielle Wärmequelle stellen auch die Abwassersysteme dar. Durch den täglichen Warmwasserbedarf im Haushalt (Duschen, Waschmaschinen, Kochen etc.) entsteht eine nicht unerhebliche Menge an Abwasser, das erst dem Kanalnetz zugeführt und dann zu einer Kläranlage transportiert wird. Das Schmutzwasser weist direkt nach dem Verlassen des Gebäudes durchschnittlich eine Temperatur von etwa 25 °C auf, während der Jahresdurchschnitt innerhalb der Kanalisation bei ca. 15 °C liegt. Daraus ergibt sich ein Wärmepotenzial von über 1,2 kWh pro m<sup>3</sup> Abwasser, das durch den Einsatz einer Abwasserwärmereückgewinnungsanlage zur Beheizung der Gebäude genutzt werden kann.<sup>14</sup> Im Gegensatz zur Nutzung der Abwärme aus Industriebetrieben ist hier aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus der Einsatz einer Wärmepumpe unerlässlich.

Abwärmenutzungsanlagen bestehen aus den Komponenten:

- Abwärmeauskopplungsanlage
- Wärmetransport- und Verteilsystem einschließlich Übergabestationen

Ob das Verfahren wirtschaftlich ist, hängt stark von den jeweiligen Umständen ab. Wohnstrukturen mit Ensemblecharakter bieten sich aufgrund des hohen Wärmeverbrauchs für den Einsatz einer solchen Technik an. Jedoch muss der Einsatz einer derartigen Anlage vor Ort detailliert untersucht werden (Kanalanalyse) und ein wirtschaftlicher Betrieb belegbar sein.

## 1.3 Energieinfrastruktur

Im Hinblick auf eine Modernisierung der Energieversorgung ist es notwendig, Daten über die bestehende Energieinfrastruktur zu erheben. Dazu gehören bestehende Strom-, Wasser- und Erdgasleitungen, aber auch ungenutzte Schächte und Kamine, die für eine Sanierung genutzt werden könnten. In einem weiteren Schritt muss die bestehende Anlagentechnik zur

<sup>14</sup> Amt für Stadtentwicklung Regensburg (2008): Wärmeenergiegewinnung aus Kanalabwasser. Regensburg.

Energieversorgung dokumentiert werden. Darüber hinaus sollten vorhandene Nahwärmenetze oder Anschlussmöglichkeiten an ein Fernwärmenetz festgehalten werden. Ziel ist die detaillierte Charakterisierung des Ist-Zustandes der Gebäudeinfrastruktur. Aufgrund der Analyse kann schließlich bewertet werden, welche Sanierungsmaßnahmen im Hinblick auf die Energieversorgung notwendig und möglich sind. Die Gebäudebestandsanalyse und Bewertung der bestehenden Energieversorgung sind ein wichtiger Schritt, bevor zukünftige Modernisierungsmaßnahmen geplant werden können. Die Analyse der bestehenden Energieinfrastruktur hat einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung von Konzepten zur Energieversorgung.

### 1.3.1 Anlagentechnik

Aufgabe ist die Aufnahme aller Energieversorgungsanlagen im Gebäudebestand mit folgenden Informationen:

- Anlagentyp (Gastherme, BHKW ...)
- Baujahr
- Verwendeter Brennstoff (Heizöl, Gas etc.)
- Leistungsklasse
- Wirkungsgrad

### 1.3.2 Aufbau der Wärmeversorgung

Zur Entwicklung eines ganzheitlichen Energieversorgungskonzeptes ist die Analyse des bestehenden Wärmeversorgungsnetzes ein wichtiger Schritt.

#### Dezentrale Wärmeversorgung

Die Wärmeerzeugung findet direkt vor Ort in den einzelnen Wohnungen statt. Die aktuelle Wärmeversorgung von Wohngebäuden basiert zu einem hohen Anteil auf wohnungsspezifischen Lösungen.

#### Zentrale Wärmeversorgung

Eine zentrale Versorgung produziert Wärme an einem vordefinierten Ort und verteilt die Wärme mithilfe eines Versorgungsnetzes an die nahe liegenden Verbraucher. Zum Einsatz kommen hier auch Technologien, die für eine dezentrale Versorgung aufgrund einer Mindestanlagenleistung nicht geeignet sind.

### 1.3.3 Gasnetz

Ein Gasnetzanschluss ist nicht an jedem Ort verfügbar. Informationen dazu können beim zuständigen Energieversorger eingeholt werden.

Ist bereits ein Anschluss an das Gasnetz realisiert, können die jeweiligen Gasnetzpläne beim Energieversorger angefordert werden.

### 1.3.4 Stromnetz

Stromnetze stehend flächendeckend zur Verfügung und müssen nicht detailliert erfasst werden. Auskünfte zum jeweiligen Stromnetz können beim Betreiber eingeholt werden.

#### Beispiel:

#### Dokumentation der Anlagentechnik am Beispiel des Plato-Wild-Ensembles

Eine Übersicht (Stand 2013) über die bestehende Wärmeversorgung im Plato-Wild-Ensemble wurde vom dortigen Bauverein ausgehändigt. Eine Auswertung der vorhandenen Wärmeversorgung im Baublock II des Plato-Wild-Ensembles kann der Tab. 32 entnommen werden.

## 1.4 Energiebedarf

Im Anschluss an die Dokumentation der Energieinfrastruktur ist der nächste Schritt die Analyse des Energiebedarfs. Die Bewohner des Stadtquartiers verbrauchen Wärme und Strom. Beides muss zuverlässig zur Verfügung gestellt werden. Damit eine geplante, teils regenerative Anlagentechnik ideal auf die Anforderungen des Stadtquartiers abgestimmt werden kann, ist eine konkrete Aussage über den Wärmebedarf und den Stromverbrauch im Objekt notwendig. Zur Bestimmung der exakten Leistungsgröße der Anlagentechnik wird ferner eine detaillierte Heizlastberechnung angestrebt.

### 1.4.1 Wärmebedarf

Eine fundierte Abschätzung des Wärmebedarfs ist die Voraussetzung für die Entwicklung eines nachhaltigen Energiekonzeptes. Leitungsverluste begrenzen den weitläufigen Transport von Wärmeenergie. Die Wärme muss daher ortsnahe verbraucht werden, der

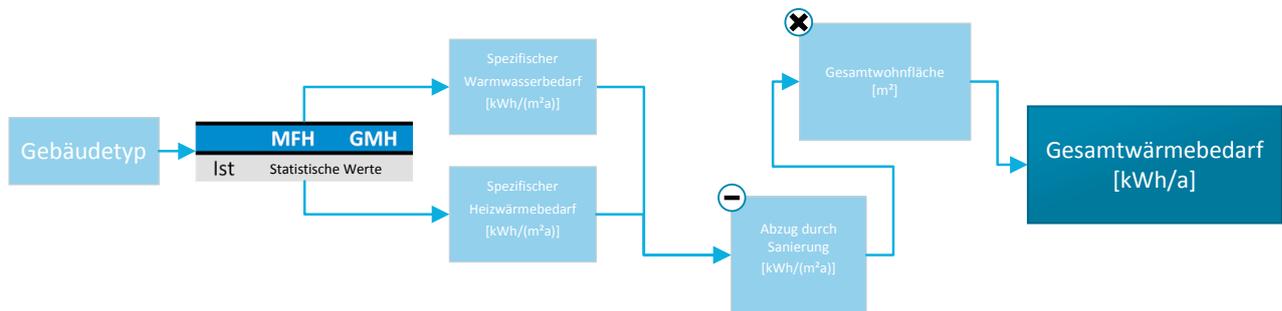


Abb. 182 Gesamtwärmebedarfsermittlung mit Hilfe von statistischen Kennwerten

Austausch mit einem übergeordneten Netz ist nicht möglich. Wärmeverbraucher und -erzeuger müssen daher genau aufeinander abgestimmt sein.

Der Gesamtwärmebedarf eines Stadtquartiers setzt sich aus Heizwärme und Brauchwarmwasser zusammen. Der Gesamtwärmebedarf einer Wohnstruktur kann mit unterschiedlichen Methoden ermittelt werden:

- Ermittlung mithilfe von statistischen Kennwerten
- Bestimmung des Wärmebedarfs aus realen Verbrauchswerten

### Wärmebedarfsberechnung mithilfe von Kennwerten

Sind reale Verbrauchsdaten nicht vorhanden, kann der Wärmebedarf des Objektes über spezifische Kennwerte bestimmt werden. Grundlage der Abschätzung ist die Zuordnung des bestehenden Objektes zu Gebäudeklasse und Baujahr. Aus vorhandenen Tabellen<sup>15</sup> des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) können spezifische Kennwerte zu Heizwärme- und Warmwasserbedarf entnommen werden. Anschließend müssen Energieeinsparungen aufgrund geplanter Sanierungsmaßnahmen abgezogen werden. Das Ergebnis wird mit der Gesamtwohnfläche multipliziert, um den Gesamtwärmebedarf des Objektes zu erhalten (vgl. Abb. 182).

<sup>15</sup> Born, Rolf; Diefenbach, Nikolaus; Loga, Tobias (2003): Energieeinsparung durch Verbesserung des Wärmeschutzes und Modernisierung der Heizungsanlage für 31 Musterhäuser der Gebäudetypologie.



Abb. 183 Gesamtwärmebedarfsermittlung „Reale Verbrauchswerte“

### Wärmebedarf aus realen Verbrauchszahlen

Aus den realen Verbrauchswerten eines Gebäudebestands lässt sich ein präziser Wärmeverbrauch ermitteln. Datengrundlage können der Brennstoffverbrauch oder die gelieferte Energie aus einem angeschlossenen Nahwärmenetz sein. Bereits vorhandene Wärmepumpen müssen mit dem Stromverbrauch in die Rechnung miteingehen. Der Gesamtwärmebedarf lässt sich gemäß der Abb. 183 ermitteln.

#### 1.4.2 Heizlastberechnung

Die Heizlastberechnung ist die Grundlage für die Dimensionierung einer Heizungsanlage. Sie gibt im Resultat die Wärmezufuhr in Watt an, welche nötig ist, um eine Raumtemperatur bei extremen Witterungsbedingungen konstant aufrechtzuerhalten. Nicht zu verwechseln ist sie mit dem Wärmebedarf, der das Produkt aus Heizlast und Beheizungszeit ist und in kWh angegeben wird. Die Heizlast wird nach der europäischen Norm DIN EN 12831 berechnet. Zu den Standardfällen dieser Norm gehören alle Gebäude, deren Raumhöhe fünf Meter nicht übersteigt und die unter Normbedingungen im stationären Zustand beheizt werden.

F

Block II - Planungsbereich A 1919

Gebäudeobjekt	Heizsystem	Anlagentechnik	Baujahr	Warmwasser
Neumannstraße 18	Dezentral	Gastherme	2002 - 2010	Dezentral
Neumannstraße 16	Zentral	Gas	k.A.	Zentral

Block II - Planungsbereich B 1921

Gebäudeobjekt	Heizsystem	Anlagentechnik	Baujahr	Warmwasser
Plato-Wild-Straße 5	Dezentral	Gastherme	1992 - 1999	Dezentral
Plato-Wild-Straße 7	Dezentral	Gastherme	1992 - 2013	Dezentral
Neumannstraße 20	Dezentral	Gastherme	2001 - 2011	Dezentral

Block II - Planungsbereich C 1924

Gebäudeobjekt	Heizsystem	Anlagentechnik	Baujahr	Warmwasser
Plato-Wild-Straße 1	Dezentral	Gastherme	1995 - 2001	Dezentral
Plato-Wild-Straße 3	Dezentral	Gastherme	1996 - 1998	Dezentral
Safferlingstraße 19	Dezentral	Gastherme	2001 - 2009	Dezentral

Block II - Planungsbereich D 1925

Gebäudeobjekt	Heizsystem	Anlagentechnik	Baujahr	Warmwasser
Neumannstraße 14	Dezentral	Gastherme	k.A.	Dezentral
Walderdorffstraße 6	Dezentral	Gastherme	1996 - 2002	Dezentral

Block II - Planungsbereich E 1926

Gebäudeobjekt	Heizsystem	Anlagentechnik	Baujahr	Warmwasser
Walderdorffstraße 2	Zentral	Gas	k.A.	Zentral
Walderdorffstraße 4	Zentral	Gas	k.A.	Zentral
Walderdorffstraße 4a	Zentral	Gas	k.A.	Zentral
Safferlingstraße 15	Dezentral	Gastherme	1992 - 2007	Dezentral
Safferlingstraße 17	Dezentral	Gastherme	1992 - 2007	Dezentral

Tab. 32 Dokumentation Anlagentechnik Plato-Wild-Ensemble Block II (Quelle: Bauverein)

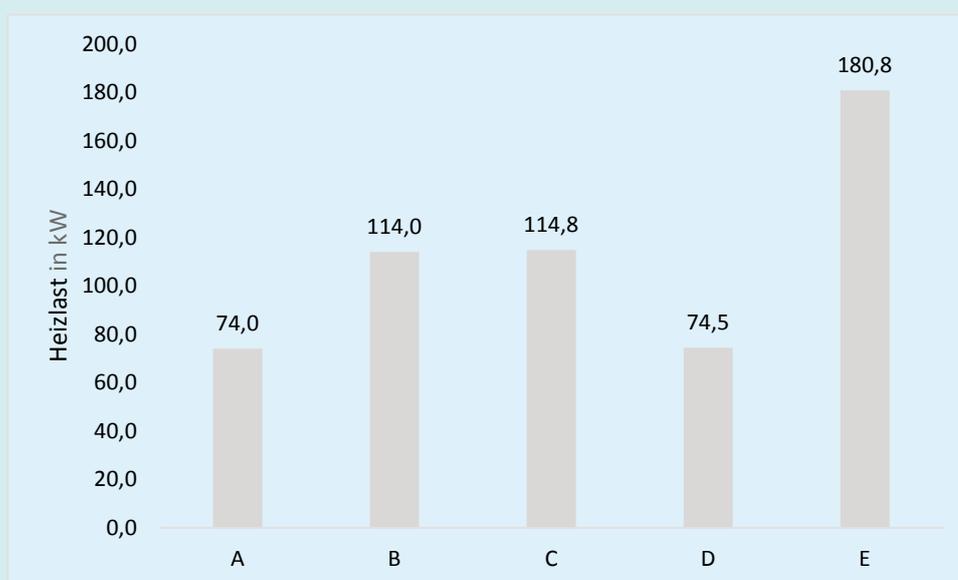


Abb. 184 Heizlastberechnung Plato-Wild-Ensemble (Planungsbereiche A-E; Quelle: C. Stich)

Bauteil	Material	$\lambda$ [W/mK]	Stärke [m]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand 40cm	Kalkzementputz	1	0,015	0,66/0,85/1,48
	Vollziegel	0,81	0,375	
	CaSiO <sub>3</sub> 5cm/3cm/0cm	0,055	0,05/0,03/0cm	
	Gipsputz	0,35	0,01	
Außenwand 52cm	Kalkzementputz	1	0,015	0,61/0,76/1,22
	Vollziegel	0,81	0,49	
	CaSiO <sub>3</sub> 5cm/3cm/0cm	0,055	0,05/0,03/0cm	
	Gipsputz	0,35	0,01	
Kellerdecke	Dielen	0,13	0,03	0,13
	Lagerholz	-	0,07x0,1	
	Mineralwolle	0,04	0,1	
	Beton	1,65	0,035	
	Vollziegel	0,81	0,12	
	Styropor	0,035	0,15	
	Gipsputz	0,35	0,01	
Geschossdecke/Fussboden:	Dielen	0,13	0,03	1,36
	Balken	-	0,2x0,135	
	Lattung	0,13	0,02	
	Schilfmatte	0,047	0,005	
	Kalkzementputz	1	0,015	
	Gipsputz	0,35	0,01	
Oberste Geschossdecke	Styropor	0,035	0,15	0,21
	Balken	-	0,2x0,135	
	Lattung	0,13	0,02	
	Schilfmatte	0,047	0,005	
	Kalkzementputz	1	0,015	
	Gipsputz	0,35	0,01	
Kniestock/Trennwände zum unbewohnten Speicher	Mineralwolle	0,035	0,2	0,16/0,16
	Kalkzementputz	1	0,015	
	Vollziegel	0,81	0,25/0,12	
	Kalkzementputz	1	0,015	
Wand zum angrenzenden Nachbarshaus (40cm Vollziegel)	Kalkzementputz	1	0,015	1,28
	Vollziegel	0,81	0,4	
	Kalkzementputz	1	0,015	
Wand zur Nachbarswohnung	Kalkzementputz	1	0,015	2,28
	Vollziegel	0,81	0,12	
	Kalkzementputz	1	0,015	
Treppenhauswand/ Wand zum Nachbarshaus bei 25cm Vollziegel	Kalkzementputz	1	0,015	1,67
	Vollziegel	0,81	0,25	
	Kalkzementputz	1	0,015	
Innentrennwände	Kalkzementputz	1	0,015	2,22
	Vollziegel	0,81	0,13	
	Kalkzementputz	1	0,015	
Fenster	3-fach Verglasung	-	-	0,8
Wohnungstür	Holz	-	-	1,8

Tab. 33 Bauteilparameter des Plato-Wild-Ensembles

## Beispiel: Heizlastberechnung Plato-Wild-Ensemble

Zur Berechnung der Heizlast des Baublocks II im Plato-Wild-Ensemble wurde eine Abschlussarbeit<sup>16</sup> in Auftrag gegeben, deren Ergebnisse hier beispielhaft kurz vorgestellt werden sollen. Für die Berechnung der Heizlast wurden folgende Randbedingungen angenommen:

- 5 cm Innendämmung
- Dämmung der Kellerdecke und Dachgeschossdecke
- Keine Berücksichtigung der Lüftung
- Moderne Fenstereinheiten
- Norm-Außentemperatur Regensburg (EN 12831): 1–16 °C
- Norm-Innentemperatur (EN 12831): 20 °C

### Ergebnisse

Die Heizlastberechnung wurde individuell für jede Wohnungseinheit der jeweiligen Planungseinheiten vorgenommen. Die Berechnungen ergaben bei den eben genannten Randbedingungen eine Gesamtheizlast von 558,0 kW für den gesamten Baublock II. Die Heizlasten für die jeweiligen Planungsbereiche können der Abb. 184 entnommen werden.

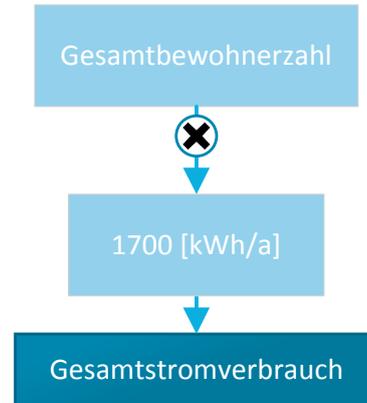
### 1.4.3 Strombedarf

Der jährliche Gesamtstrombedarf kann vor Ort gemessen werden oder beim örtlichen Netzbetreiber angefordert werden. Ist es nicht möglich, den tatsächlichen Stromverbrauch zu bestimmen, kann dieser auch statistisch mit unterschiedlichen Methoden abgeschätzt werden (vgl. Methode 1–3).<sup>17</sup> Ein mit realen Verbrauchswerten ermittelter Stromverbrauch ist der statistischen Abschätzung immer vorzuziehen, da dieser das Nutzerverhalten im Gebäudeobjekt mitabbildet.

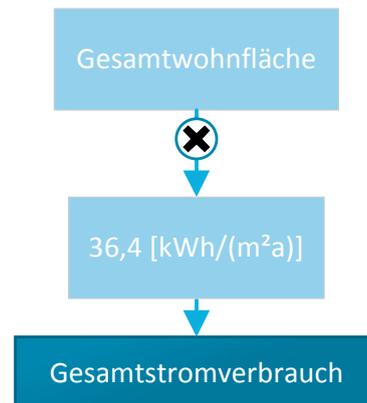
<sup>16</sup> Stich, Christina (2013): Heizlastberechnung für ein genossenschaftliches Wohnquartier und Auslegung einer solarthermischen Warmwasserversorgung. Bachelorarbeit. Hochschule für angewandte Wissenschaften, Regensburg.

<sup>17</sup> Frondel, Manuel et al. (2011): Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2006–2008. Forschungsprojekt Nr. 54/09 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, BMWi. Hg. v. forsa. Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH/Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI).

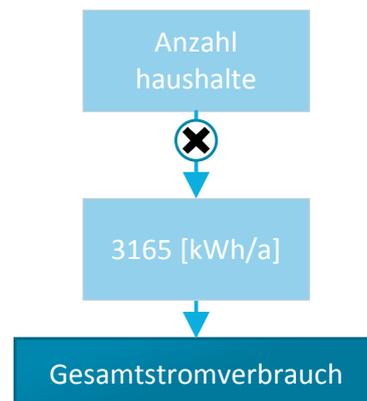
### ■ Methode 1



### ■ Methode 2

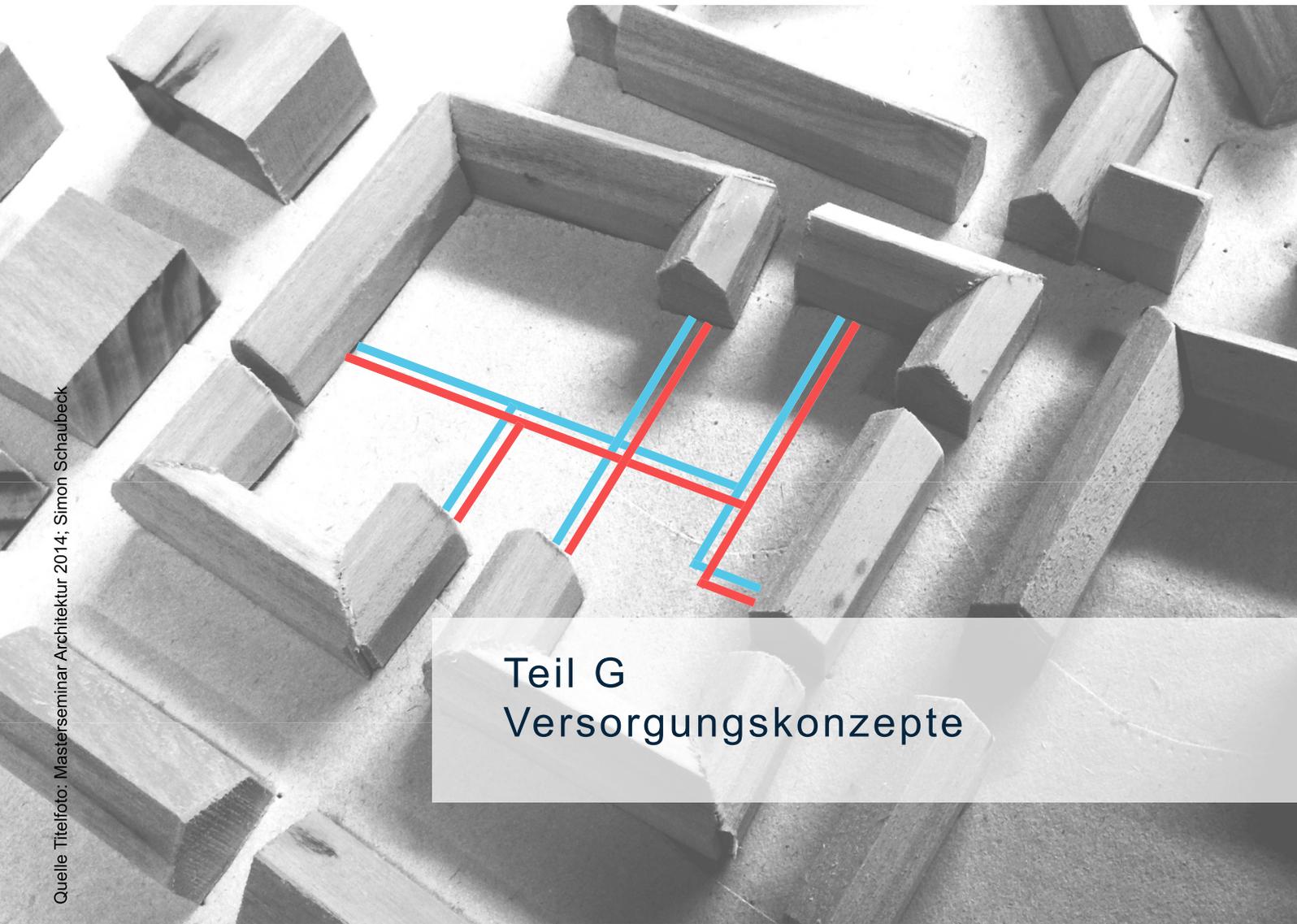


### ■ Methode 3





1.	Methodik zur Entwicklung eines Energiekonzeptes	210
1.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	210
1.2	Energieeffiziente Wärmeversorgung	210
1.3	Konzeptentwürfe	213
1.4	Entwurf Energieversorgungsmatrix	218
1.5	Primärenergiefaktor	225
2.	Integration einer Energiezentrale	226
2.1	Normen und Richtlinien	226
2.2	Aufstellung von Feuerstätten	226
2.3	Planungsgrundlagen Heizraum	227
2.4	Brennstofflagerung	229
2.5	Abgasanlagen	229
2.6	Architektonische Integration	231
3.	Einsatz eines Nahwärmenetzes	235
3.1	Grundlagen der Wärmeverteilung	235
4.	Einsatz eines Sockelheizungssystems	241
4.1	Sockelheizleisten	241
4.2	Anwendung im Altbau	242
4.3	Fazit	243



## Teil G Versorgungskonzepte

# 1. Methodik zur Entwicklung eines Energiekonzeptes

Ein neu konzipiertes Energiekonzept sollte neben der Verbesserung der thermischen Gebäudehülle auch eine energieoptimierende Modernisierung der Anlagentechnik beinhalten. Eine kostengünstige und ressourcenschonende Energieversorgung kann ganz allgemein durch:

- Reduktion des Energiebedarfs,
- Effizienzsteigerung,
- Einsatz erneuerbarer Energien
- erreicht werden.

Diese Maßnahmen tragen zu einer erheblichen Verbesserung des Primärenergiefaktors und der damit einhergehenden Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei.

Die Einbindung erneuerbarer Energien in das Gesamtkonzept trägt maßgeblich zum Erreichen dieser Ziele bei. Verschiedene Energieträger können als erneuerbare Quellen betrachtet werden:

- Solarenergie
- Erdwärme
- Umweltenergie
- Windenergie
- Biomasse/Biogas/Bioöl

Da erneuerbare Energien äußerst geringe Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren aufweisen, leisten sie einen erheblichen Beitrag zur umweltschonenden Energieversorgung eines Gebäudes. Parallel zur Integration von regenerativen Energien sind effizienzsteigernde Maßnahmen sinnvoll:

- Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung
- Kraft-Wärme-Kopplung
- Einsatz von Wärmepumpentechnologie

Schritt für Schritt werden im folgenden Kapitel die einzelnen Stationen hin zu einem effizienten Energiekonzept für ein Stadtquartier erörtert. Mit den Randbedingungen und Nutzungsanforderungen aus dem Kapitel „Energiepotenziale“ können umweltschonende und effiziente Energiekonzepte entwickelt werden, die zu einer deutlichen energetischen Verbesserung des vorliegenden Gebäudekomplexes führen.

## 210 Versorgungskonzepte

### 1.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Auf Basis der vom Staat initiierten „Energiewende“ wurden zahlreiche Gesetze und Verordnungen verabschiedet, die bei der Konzeption einer Energieversorgung berücksichtigt werden müssen:

- Energieeinsparverordnung (EnEV-Novellierung 2014)
- Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)
- Bauordnungen
- Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)
- Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG-Gesetz)
- Verordnungen der Bundesanstalt für Wirtschaft und Ausführungkontrolle (BAFA)

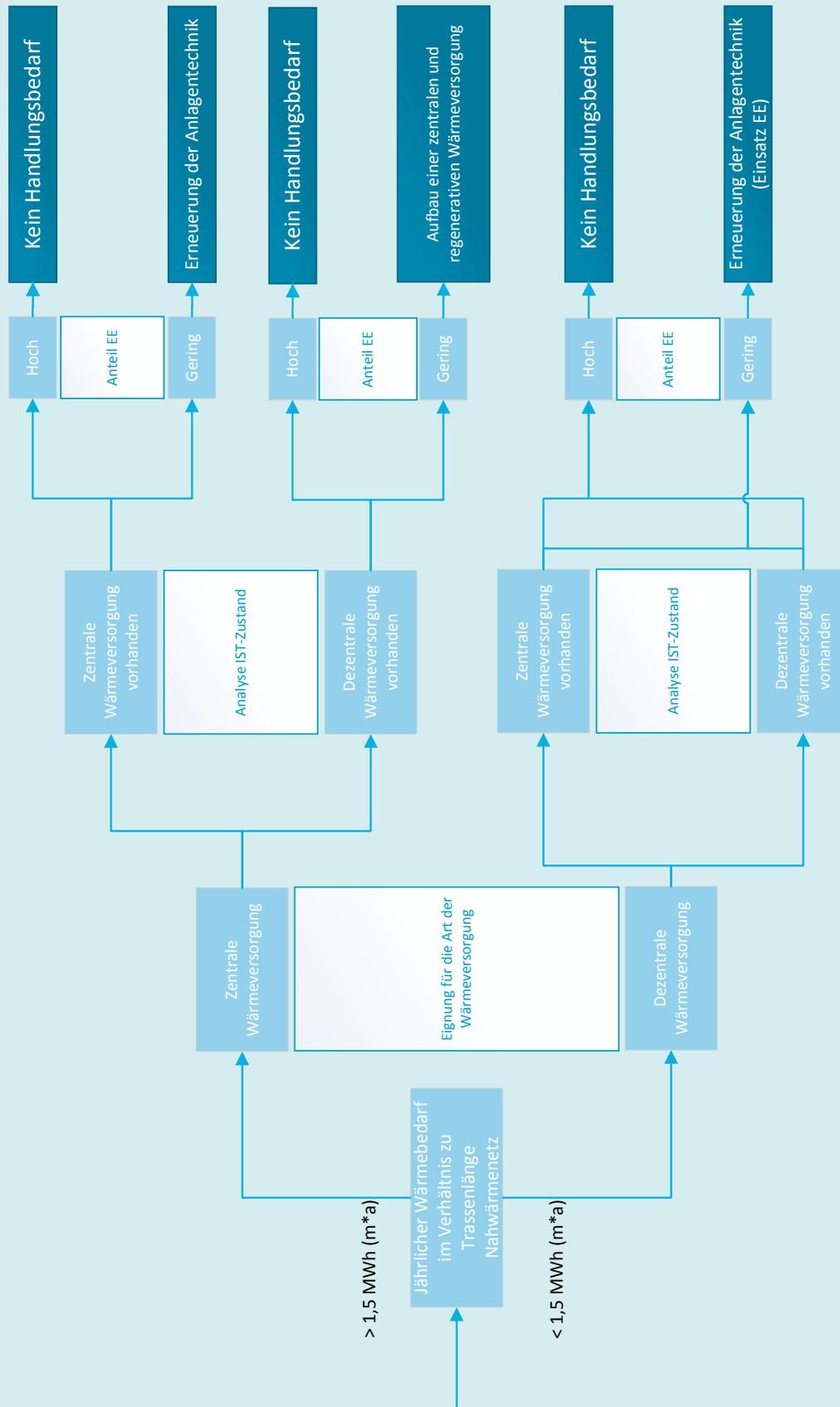
### 1.2 Energieeffiziente Wärmeversorgung

Einleitend ist die Frage der Wärmeversorgung zu klären. Die Versorgung eines Stadtquartiers mit Wärmeenergie kann dezentral oder zentral erfolgen. Diese unterscheiden sich nach „zentralen“ Systemen mit zentralem Wärmeerzeuger für das gesamte Quartier und „dezentralen“ Systemen, bei denen jedes Haus oder jede einzelne Wohnung über einen eigenen Wärmeerzeuger verfügt. Wenn im vorliegenden Leitfaden von zentraler Wärmeversorgung die Rede ist, dann handelt es sich um die Versorgung des gesamten Ensembles durch einen zentral stationierten Wärmeerzeuger.

Vorteile einer zentralen Wärmeversorgung:

- Basis für den Einsatz ausgewählter erneuerbarer Energien
- Wartungsfreundliche und platzsparende Übergabestationen in den einzelnen Häusern
- Einsatz von hocheffizienter Anlagentechnik (Wechsel zur Kraft-Wärme-Kopplung)

1 Hausladen, Gerhard; Wagner, Tobias; Schmid, Thomas; Bonnet, Cécile; Hamacher, Thomas; Tzscheutschler, Peter; Burhenne, Roman (2011): Leitfaden Energienutzungsplan. (Hg.) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur und Technologie (StMWIVT), Stand: 21. Februar 2011. München.



## Bestandsanalyse Gebäudetechnik

Abb. 185 Entscheidungsbaum Nahwärmenetz<sup>1</sup>

- Investitionsförderungen von Wärmenetzen möglich
- Effizienz und Wirtschaftlichkeit steigt mit dem Einsatz größerer Anlagen
- Günstigere Anschaffungskosten der Anlagentechnik
- Optimaler Betrieb durch regelmäßige Wartung der Anlagentechnik

Nachteile einer zentralen Wärmeversorgung:

- Wärmeverteilverluste im Nahwärmenetz
- Notwendigkeit einer Heizungszentrale
- Keine individuelle Wärmeversorgung der einzelnen Objekte/Wohnungen möglich
- Umlage der Heizkosten
- Investitionskosten für Wärmenetz

Historische Quartiere in Städten weisen ein hohes Potenzial für die Umsetzung zentraler Lösungen auf. Ein Grund dafür ist die hohe Energieabnahmedichte und die gute Auslastung der Anlagen durch Gleichzeitigkeit gegenüber dezentralen Heizungssystemen. Welche Wärmeversorgung zum Einsatz kommt, muss allerdings bei jedem Stadtquartier neu untersucht und bewertet werden. „Wärmenetze sind in der Regel aber nur dann wirtschaftlich zu betreiben, wenn die Länge des Netzes in einem sinnvollen Verhältnis zur genutzten Wärmemenge steht.“<sup>2</sup> Eine zentrale Versorgung ist daher nicht für jeden Fall zu empfehlen und muss im Einzelfall detailliert untersucht werden.

Für eine erste Abschätzung empfiehlt Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Energie-Netzwerk (C.A.R.M.E.N.) eine Mindest-Wärmebelegungsichte von 1,5 MWh/(m\*a).

Die Wärmebelegungsichte beschreibt die jährliche Wärmeabnahme im Verhältnis zur Länge der Wärmetrasse. Der jährliche Wärmeverbrauch kann dem Kapitel „Energiepotenziale“ entnommen werden (siehe F 1.2). Die Trassenlänge des Nahwärmenetzes muss vorsichtig abgeschätzt werden. Für eine erste Orientierung wurde ein Entscheidungsbaum (Abb. 185) entwickelt,

der bei der Entscheidung, welche Wärmeversorgung für das vorliegende Ensemble zum Einsatz kommen soll, helfen soll. Nicht immer besteht automatisch Handlungsbedarf. Wird ein bestehendes Stadtquartier dezentral mit Wärme versorgt und wurde die vorhandene Anlagentechnik erst kürzlich erneuert, eventuell sogar mit erneuerbaren Energien ergänzt, dann ist ein Umstieg auf eine zentrale Wärmeversorgung mit zusätzlichen Investitionskosten trotz ausreichender Wärmebelegungsichte nicht zwangsweise notwendig. Mehr Informationen zum Thema Wärmeversorgung mithilfe eines Nahwärmenetzes können im Kapitel „Einsatz eines Nahwärmenetzes“ nachgeschlagen werden (siehe G 3).

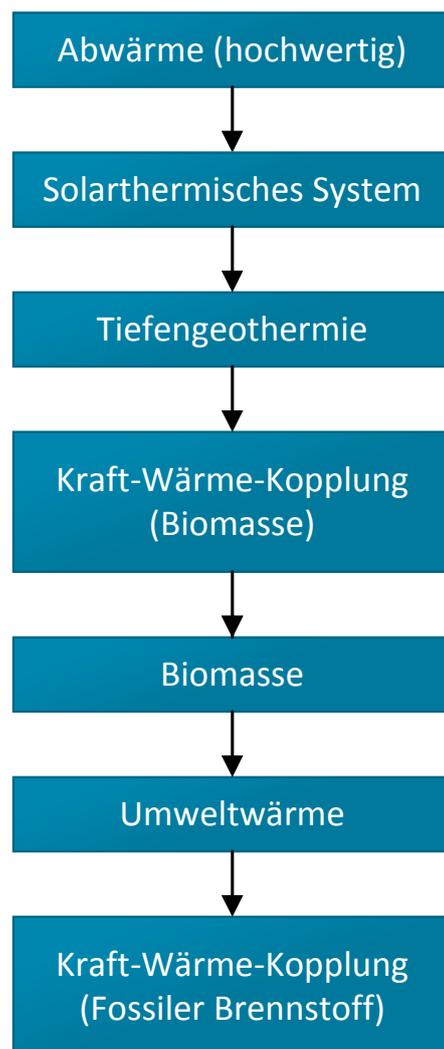


Abb. 186 Priorisierung Energiebereitstellung<sup>3</sup>

<sup>2</sup> C.A.R.M.E.N. (Hg.): Nahwärmenetze und Bioenergieanlagen Ein Beitrag zur effizienten Wärmenutzung und zum Klimaschutz. Merkblatt, zuletzt geprüft am 21.04.2014.

### 1.3 Konzeptentwürfe

Das Modellieren von Energiekonzepten kann nicht pauschal vorgegeben werden, sondern richtet sich spezifisch nach den örtlichen Gegebenheiten im jeweiligen Stadtquartier. Ziel ist ein der baulichen und infrastrukturellen Situation angepasstes Energieversorgungskonzept, das auch ökologische Zielsetzungen umfasst. Die Integration von regenerativen Energien zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen ist ein wesentlicher Bestandteil der Konzeptentwicklung. Die Auswahl eines Energiesystems ist ferner eng mit den Vorgaben der architektonischen Modernisierung verknüpft. Hier muss bei der Konzeptentwicklung besonders auf die Denkmalverträglichkeit der Energieversorgung Rücksicht genommen werden. Die regenerativen Energiepotenziale werden dahingehend vor der Konzeptintegration detailliert überprüft. Liegt beim zu modernisierenden Stadtquartier kein Denkmalschutz vor, wird eine Umsetzung der Richtlinien zum Erhalt des architektonischen Charakters trotzdem empfohlen.

Der Gesetzgeber wünscht die zügige Integration von erneuerbaren Energien im Gebäudesektor und hat dazu das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) verabschiedet. Das Gesetz sieht dabei vor, Gebäudeobjekte in Höhe eines vorgeschriebenen Prozentsatzes mit erneuerbaren Energien zu versorgen. Die Regelungen des EEWärmeG gelten in Bayern zurzeit nur für Neubauten (Bauantrag ab dem 01. Januar 2009). Aber ab 2015 sollen nach Vorgabe der EU auch alle Bestandsbauten erneuerbare Energien nutzen, wenn sie umfassend saniert werden. Als erneuerbare Energien im Sinne des EEWärmeG gelten Solarenergie, Biomasse, Geothermie und Umweltwärme.

In einem ersten Schritt muss eine Bewertung und Einteilung der regenerativen Energien erfolgen. Zur Kategorisierung können die Primärfaktoren der einzelnen Energieformen aus DIN V 4701-10 herangezogen werden. Der Primärenergiefaktor zeigt das Verhältnis von eingesetzter Primärenergie zur abgegebenen Endenergie. Je kleiner der Primärenergiefaktor, desto umweltverträglicher und effizienter ist der Energieeinsatz und -aufwand von der Quelle bis zum Endverbraucher (vgl. Abb. 186).

<sup>3</sup> Hausladen, Gerhard; Wagner, Tobias; Schmid, Thomas; Bonnet, Cécile; Hamacher, Thomas; Tzscheutschler, Peter; Burhenne, Roman (2011): Leitfaden Energienutzungsplan. (Hg.): Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur und Technologie (StMWIVT), Stand: 21. Februar 2011. München.

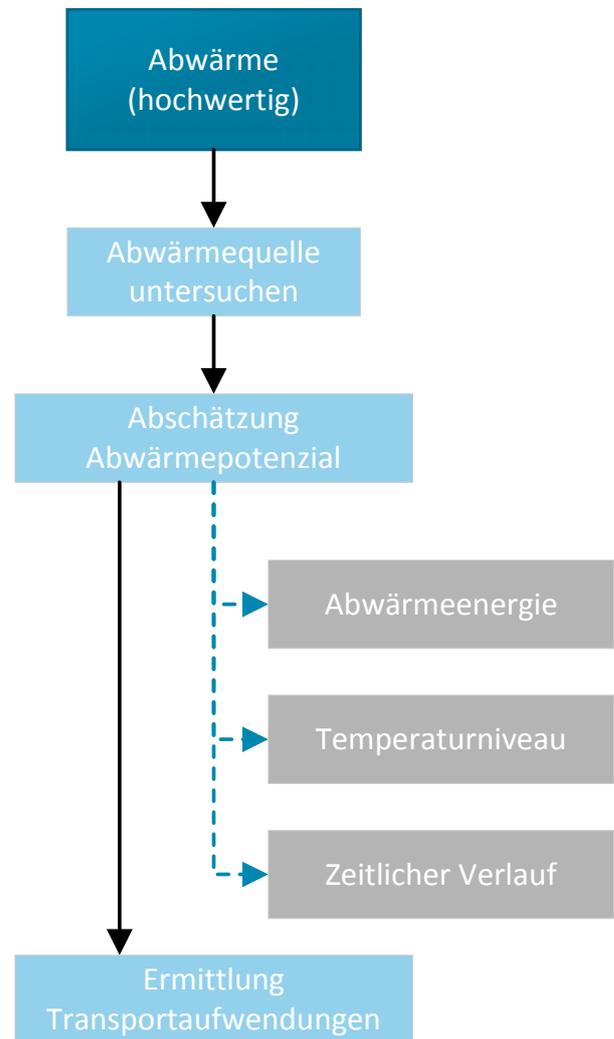


Abb. 187 Flussdiagramm Abwärme

#### 1.3.1 Hochwertige Abwärme

Hochwertige Abwärme aus Industrie und Stromerzeugungsprozessen lässt sich nicht vermeiden. Hochwertige Abwärme zeichnet sich durch ein hohes Temperaturniveau aus, das ohne Hilfsenergie direkt genutzt werden kann. Der Primärenergieeinsatz wird mit null beschrieben, da der Brennstoffeinsatz dem primären Ziel zugewiesen wird, z. B. fallen in großen Kraftwerken zur Stromproduktion erhebliche Mengen an nicht genutzter Wärmeenergie an, die sinnvoll eingesetzt werden kann.

Typische Abwärmequellen in Betrieben sind z. B.:

- Abgase aus Kesselanlagen und anderen Verbrennungsvorgängen
- Abluft aus Prozessen oder Fertigungsbereichen

- Abwasser aus Prozessen
- Kühlwasser aus Produktionsverfahren, Kälteanlagen oder Kompressoren
- Dampfsysteme
- Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Eine zielgerichtete und vielversprechende Nutzung der hochwertigen Abwärme hängt von mehreren Faktoren ab:

- Temperaturniveau
- Zeitlicher Verlauf des Abwärmepotenzials
- Verfügbare Wärmemenge
- Räumliche Distanz zwischen Abwärmequellen und Wärmeverbraucher

### 1.3.2 Solarthermische Systeme

Sonnenenergie ist ein wichtiger Bestandteil der Energiewende. Solarpotenziale können sinnvoll zur Energieversorgung eines Stadtquartiers beitragen. Allerdings stellt sich dabei die Frage nach der Vereinbarkeit von Denkmal- und Klimaschutz, die im Einzelfall überprüft werden muss. Installierte Solaranlagen verändern das Erscheinungsbild von historischen Ensembles, jedoch schließen sich die Bewahrung des architektonischen Charakters des Stadtquartiers und die Nutzung der Solarenergie nicht gegenseitig aus. Ist am bestehenden Standort eine ausreichende Globalstrahlung gewährleistet, müssen „qualifizierte“ Flächen zur Nutzung der Solarenergie identifiziert werden. Das Landesamt für Denkmalschutz (BLfD) hat dazu Richtlinien entwickelt.

#### Auszug aus den Beratungsrichtlinien 01/2012 des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege<sup>4</sup>

„Spezielle Hinweise zu solarthermischen Anlagen

a) Solarthermische Anlagen zur Warmwasserbereitung können oberflächenbündig in die umgebende Dachfläche eingebaut werden. Sie sind in ihrer Wirkung deshalb unauffälliger als andere Dachaufbauten.

<sup>4</sup> Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (BLfD) (Hg.) (2012): Erneuerbare Energien – Beratungsrichtlinie 01/2012. München.

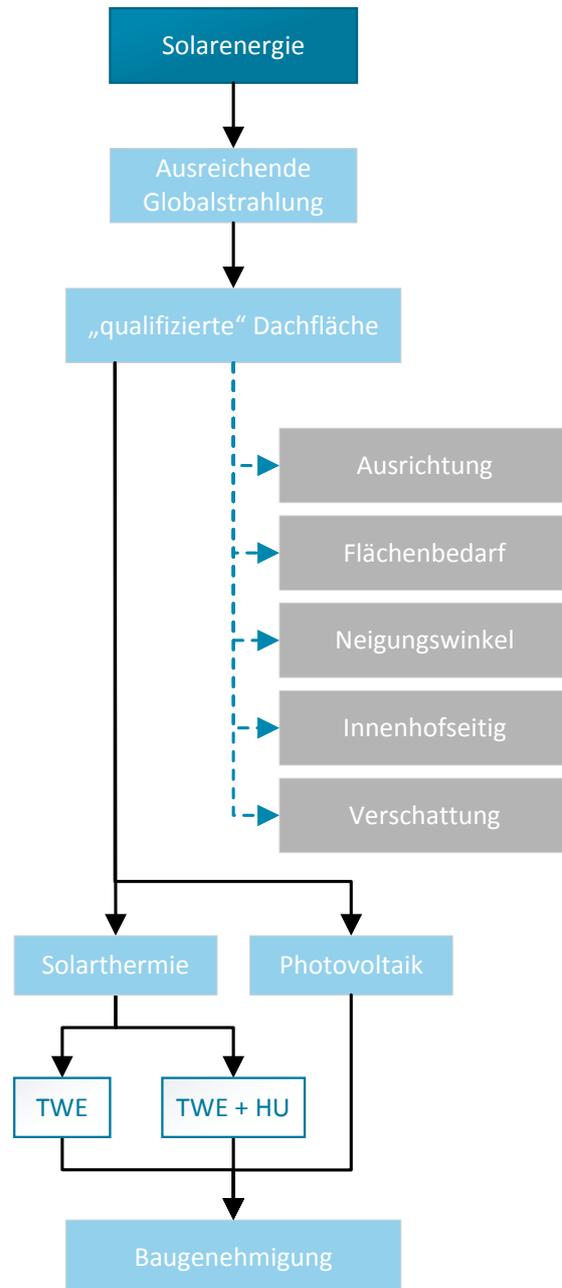


Abb. 188 Potenzialermittlung Solarenergie

Spezielle Hinweise zu Photovoltaikanlagen

a) Photovoltaikanlagen können nach dem derzeitigen Stand der Technik wegen der Wärmeentwicklung und der erforderlichen Hinterlüftung im Regelfall nur auf die Dachoberfläche montiert werden: Sie sind in ihrer kastenartigen Wirkung auffälliger. Die Installation derartiger Anlagen an einsehbaren Stellen auf Baudenkmalern und in Ensembles sowie in deren Nähe ist regelmäßig abzulehnen.

b) Großflächige Photovoltaikanlagen, die vornehmlich einer kommerziellen Nutzung dienen, sind für die Anbringung auf Baudenkmalern, innerhalb von Ensembles und in deren Nähe in der Regel nicht geeignet.

c) Anders als bei solarthermischen Anlagen zur Warmwassergewinnung wird bei Photovoltaikanlagen die gewonnene Energie häufig in das Stromnetz eingespeist und nicht unmittelbar an Ort und Stelle verbraucht. Der Anbringungsort der Kollektoren ist damit variabel.

d) Photovoltaikanlagen erfordern meist umfangreichere Modulflächen als Solaranlagen zur Warmwassergewinnung. Die Modulflächen müssen bedarfsorientiert auf ein Mindestmaß reduziert und gestalterisch angepasst werden. [...]“

Solarthermische Anlagen können nur unterstützend auftreten. Eine monovalente Versorgung mit einer derartigen Anlage ist nicht möglich. Gaskessel und Pelletkessel können mit solarthermischen Systemen gut ergänzt werden. Bei der Planung ist darauf zu achten, dass die vorgesehenen Dachflächen nach Süden, Südosten oder Südwesten ausgerichtet sind. Optimale Ergebnisse werden bei einer Dachneigung im Bereich von 20° bis 60° erreicht. Solarthermie kann zur Trinkwassererwärmung (TWE) eingesetzt werden, seit einigen Jahren wird darüber hinaus oft eine zusätzliche Heizungsunterstützung (HU) durch Solarenergie realisiert. Die exakte Auslegung und Planung einer Anlage ist jedoch im Einzelfall zu prüfen.

Der Anteil am Gesamtverbrauch muss nach § 5 des EEWärmeG nachstehende Voraussetzung erfüllen:

„(1) Bei Nutzung von solarer Strahlungsenergie nach Maßgabe der Nummer I der Anlage zu diesem Gesetz wird die Pflicht nach § 3 Abs. 1 dadurch erfüllt, dass der Wärme- und Kälteenergiebedarf zu mindestens 15 Prozent hieraus gedeckt wird.“

Weitere umfassende Informationen zur Implementierung von thermischen Solaranlagen liefert der Leitfaden „Solarthermie im Denkmalschutz“.<sup>5</sup>

Fotovoltaik ist eine weitere beliebte Möglichkeit, nachhaltig zur Energieversorgung eines Stadtquartiers beizutragen. Die Nutzung der Fotovoltaik folgt den gleichen Bedingungen wie in der Solarthermie.

<sup>5</sup> Binder, Thomas; Leukefeld, Timo (2014): Solarthermie im Denkmalschutz. Handlungsmöglichkeiten für Hauseigner und Architekten. UrbanSolPlus. Stuttgart.

Beide Technologien konkurrieren um die „qualifizierten“ Dachflächen.

Priorisiert wird dabei die Nutzung der Solarthermie. Ungenutzte Energiegewinne aus solarthermischen Systemen können in vorgesehenen Wärmespeichern vor Ort im Quartier gespeichert und zeitlich verzögert abgerufen werden. Überschüssige elektrische Energie aus Fotovoltaikanlagen wird häufig in das übergeordnete Stromnetz eingespeist und nur mäßig vergütet. Prinzipiell wird empfohlen, entsprechende Dachflächen für eine solarthermische Nutzung zu dimensionieren und verbleibende Flächen der Fotovoltaik zuzuweisen.

„Abweichend von der sonstigen Genehmigungsfreiheit ist bei der Installation von Solaranlagen auf Baudenkmalern, in Ensembles, in der Nähe von Denkmälern [...] ausnahmslos ein Erlaubnisverfahren nach Art. 6 [...] DSchG (Denkmalschutzgesetz) erforderlich. Örtliche Vorschriften, z.B. Gestaltungs- und Erhaltungssatzungen, sind ebenfalls zu berücksichtigen.“<sup>6</sup>

### 1.3.3 Umweltwärme (Wärmepumpe)

Der Begriff Umweltwärme umfasst die Energiegewinnung aus dem Erdreich, dem Wasser und der Luft. Der Themenkomplex beinhaltet verschiedenste Technologien, die alle dazu beitragen können, Stadtquartiere umweltschonender mit Wärme zu versorgen. Umweltwärme kann dazu beitragen, historisch wertvolle Gebäudeobjekte regenerativ zu versorgen, ohne dabei massiv in die Architektur einzugreifen. Sie können daher einen wesentlichen Beitrag zur Versorgung von historisch wertvollen Ensembles leisten. Die Nutzung von Umweltwärme ist häufig mit dem Einsatz einer Wärmepumpe verbunden. Die Effizienz der Wärmepumpe ist abhängig von der Temperaturdifferenz, die sie überwinden muss. Vorteilhaft sind daher Niedertemperaturheizsysteme mit geringen Vorlauftemperaturen. Bei Altbauten ist eine Bestandsaufnahme der vorhandenen Heizkörper erforderlich, gegebenenfalls muss ein Austausch der Heizkörpersysteme mit-eingeplant werden. Eine Nutzung der Umweltwärme sollte immer mit einer ausreichenden Dämmung des Gebäudeobjektes einhergehen.

Tiefengeothermie ist aufgrund ihrer Komplexität und strengen Genehmigungspflicht für den Einsatz in einem dicht besiedelten Stadtquartier nicht geeignet.

<sup>6</sup> Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (BLfD) (Hg.) (2012): Erneuerbare Energien – Solarthermie, Photovoltaik, Windkraft, Geothermie und Energie aus Biomasse in denkmalgeschützten Bereichen. Beratungsrichtlinie 01/2012. München.

Bei der oberflächennahen Geothermie gibt es verschiedene Systeme, mit deren Hilfe dem Untergrund Wärme entzogen werden kann. Die unterschiedlichen Systeme wurden bereits im Kapitel „Energiepotenziale“ vorgestellt (siehe F 1.2).

Der Einsatz von Erdwärmekollektoren zur Wärmeversorgung eines ganzen Stadtquartiers gestaltet sich aufgrund des großen Flächenbedarfs der Kollektoren schwierig. Erdwärmekollektoren sind in der Regel nicht genehmigungspflichtig.

„Eine wasserrechtliche Erlaubnis ist aber erforderlich, wenn der Erdwärmekollektor:

- nicht mindestens 1 m über dem höchsten Grundwasserstand,
- innerhalb von Überschwemmungsgebieten, in Uferbereichen von Gewässern oder
- im Wasserschutzgebiet liegt.“<sup>7</sup>

Flächen, für die ein Einsatz der Kollektoren vorgesehen ist, dürfen nicht überbaut oder versiegelt werden.

Erdwärmesonden beziehen Wärme über tiefere Gesteinsschichten und stellen sie dem Verbraucher mittels Wärmepumpe zur Verfügung. Wesentlich für die Installation einer Erdwärmesonde ist die möglichst detaillierte Kenntnis des Untergrundes durch Ermittlung des hydrogeologischen Profils. Eine Standortauskunft, oftmals bereitgestellt von den Landesbehörden, dient einer ersten Übersicht über die Bedingungen am gewählten Standort.

Der Einsatz von Erdwärmesondenanlagen wird durch die Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) in Verbindung mit den regionalen Verordnungen geregelt. Tiefe Bohrungen können darüber hinaus bei den regionalen Bergbehörden anzeigepflichtig sein. Ausführliche Informationen zu Genehmigungen von Erdwärmesonden finden sich in jeweiligen Leitfäden und Merkblättern der Landesbehörden.

Grundwasser-Wärmepumpen sind in ihrer Kapazität begrenzt und nur bedingt geeignet für die Wärmeversorgung eines gesamten Stadtquartiers. Ein möglicher Einsatz eines derartigen Systems muss vor Ort überprüft werden.

<sup>7</sup> Töpfner, Christoph; Fritzer, Thomas (2007): Oberflächennahe Geothermie. Heizen und Kühlen mit Energie aus dem Untergrund. Hg. v. Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV). München.

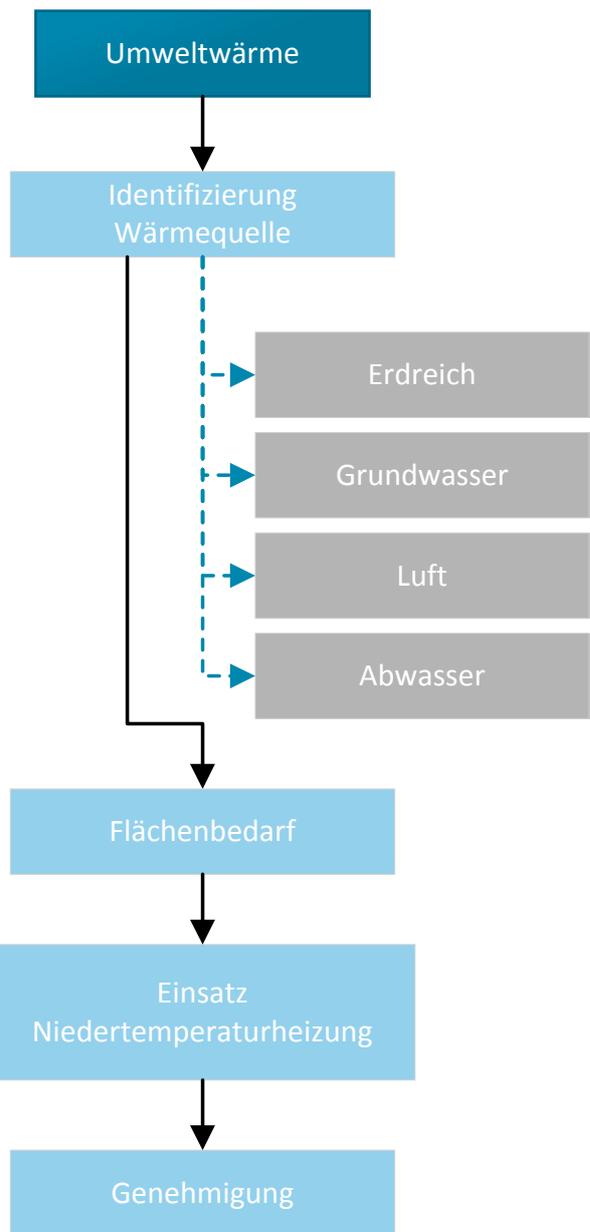


Abb. 189 Potenzialermittlung Umweltwärme

Weiterführende Informationen können aus dem Informationssystem zur oberflächennahen Geothermie bezogen werden.

Beispiel Bayern:

<http://www.bis.bayern.de/bis/initParams.do>

Hier können auch detaillierte Standortauskünfte abgerufen werden. Ob und welche Technologie der oberflächennahen Geothermie zum Einsatz kommt, sollte immer mit einem Experten vor Ort abgestimmt werden.

Die Wärmequelle Luft kann mithilfe einer Wärmepumpe auch genutzt werden; bei niedrigen Außentemperaturen, z. B. im Winter, ist die Energieeffizienz der Anlage niedrig. Der große Vorteil von Luftwärmepumpen besteht darin, dass sie unabhängig von berg- und wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren installiert werden können. Für den Einsatz in einem Stadtquartier sind sie jedoch nur bedingt geeignet.

Abwasser stellt in einem Stadtquartier ein hohes Wärmequellenpotenzial dar. Die nutzbare Wärmeenergie muss mithilfe von Daten zu Durchflussmenge und Abwassertemperatur bestimmt werden. Dazu sind zahlreiche Messungen notwendig, die angeordnet werden müssen. Zur Nutzung dieser Wärmequelle müssen große Wärmetauscher in das Kanalnetz eingesetzt werden. Ob ausreichend Raum für ein derartiges Element im Kanalsystem vorhanden ist, muss vorab geklärt werden. Wird nur Grauwasser zur Wärmerückgewinnung genutzt, können Wärmetauscher auch kanalextern installiert werden. Ein zeitiges Hinzuziehen der örtlichen Behörden zur Planung und Auslegung einer Anlage zur Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen wird empfohlen.

#### 1.3.4 Biomasse

Der Einsatz von Biomasse zur Energiebereitstellung ist zum heutigen Zeitpunkt weit verbreitet. Inwiefern Biomasse als Brennstoff für die Energieversorgung eines Stadtquartiers infrage kommt, hängt von einigen Faktoren ab. Zu überprüfen ist die regionale Verfügbarkeit des Brennstoffs. Ist ein Anschluss an das Gasnetz vorhanden, ist der problemlose Zugang zu Biogas gewährleistet. Die Verfügbarkeit von Pflanzenöl ist regional meist stark eingeschränkt. Eine Überprüfung der Verfügbarkeit vor Ort muss erfolgen. Auch Festbrennstoffe sind in ausreichender Menge und geforderter Qualität (z. B. Feuchtegehalt) nicht immer regional verfügbar. Dies muss vor Ort ausreichend geprüft werden. Informationen zur Verfügbarkeit von biogenen Festbrennstoffen werden hier bereitgestellt:

[www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe](http://www.carmen-ev.de/biogene-festbrennstoffe)

Biogas kann ohne großen Mehraufwand aus dem vorhandenen Gasversorgungsnetz entnommen werden. Festbrennstoffe hingegen müssen per Lkw angeliefert werden. Es ist daher darauf zu achten, dass eine problemlose Anfahrt zum Lagerraum gewährleistet ist. „Ein Zufahrtsweg im Stadtquartier sollte eine Breite von mindestens 3 m und eine Höhe von mindestens

4 m aufweisen. Die Belastbarkeit der Zufahrt muss eine Anlieferung mit Lastwagen bis 26 t bzw. bei großen Objekten Hängerzügen bis 40 t zulassen.“<sup>8</sup> Mit modernen Pumpanlagen können sowohl Pellets als auch Hackschnitzel direkt vom Transporter in den Lagerraum geblasen werden. Aufwendige Vorgänge zur Einlagerung (Einkippen etc.) entfallen damit und ermöglichen eine unkomplizierte Einlagerung. „Eine fehlende für Schwerlast geeignete Zufahrt, chronische Parkplatzprobleme bei Blockrandbebauung in Großstädten oder auch zu enge Straßen (Altstadtquartiere) schränken die Nutzung [...] in Städten ein.“<sup>9</sup> Für Festbrennstoffe müssen vor Ort entsprechende Lagerräume eingeplant werden. Anforderungen an die Lagerung von Holzpellets können der VDI 3464 „Lagerung von Holzpellets beim Verbraucher“ entnommen werden:

- Entfernung Lager – Lkw
- Lagerkonzeption
- Lagergröße
- Lagerzugänglichkeit
- Staabdichte Bauweise
- Belüftung
- Brandschutz

Bei der Lagerung der Hackschnitzel muss ausreichend Raumvolumen zur Verfügung gestellt werden.

Folgende Maßnahmen haben sich bei der Lagerung bewährt:<sup>10</sup>

- Kurze Lagerdauer
- Ausreichende Luftzufuhr
- Aktive Trocknung

Das Technologie- und Förderzentrum C.A.R.M.E.N. hat ein Merkblatt „Richtiges Lagern von Holz hackschnitzeln für Heizwerke: Vermeidung von Bränden durch Selbstentzündung“ veröffentlicht. Eine aufwendige Aufbereitung der Hackschnitzel im Stadtquartier ist

<sup>8</sup> Clausnitzer, Klaus-Dieter (2007): Biomasseheizungen für Wohngebäude mit mehr als 1000 m<sup>2</sup> Gesamtnutzfläche.

<sup>9</sup> Clausnitzer, Klaus-Dieter (2007): Biomasseheizungen für Wohngebäude mit mehr als 1000 m<sup>2</sup> Gesamtnutzfläche.

<sup>10</sup> Quelle: C.A.R.M.E.N. e.V.

zu vermeiden. Es sollte darauf geachtet werden, die Hackschnitzel „getrocknet“ einzukaufen.

Die Verwendung von biogenen Festbrennstoffen ist oftmals mit dem Aufbau einer Energiezentrale verbunden. Bestehende Bestandsgebäude verfügen häufig nicht über die notwendige Kapazität zur Unterbringung der Anlagentechnik und der Lagerung des Brennstoffs. Details zur Planung, Auslegung und Einbindung der Energiezentrale können im Kapitel „Integration einer Energiezentrale“ nachgeschlagen werden (siehe G 2).

Biomasse als Brennstoff erfordert in den überwiegenden Fällen eine zentrale Wärmeversorgung, realisiert mithilfe eines Nahwärmenetzes. Auch hier muss im Einzelnen geklärt werden, ob der Aufbau einer zentralen Wärmeversorgung technisch und wirtschaftlich möglich ist. Informationen dazu finden sich im Kapitel „Einsatz eines Nahwärmenetzes“ (siehe G3).

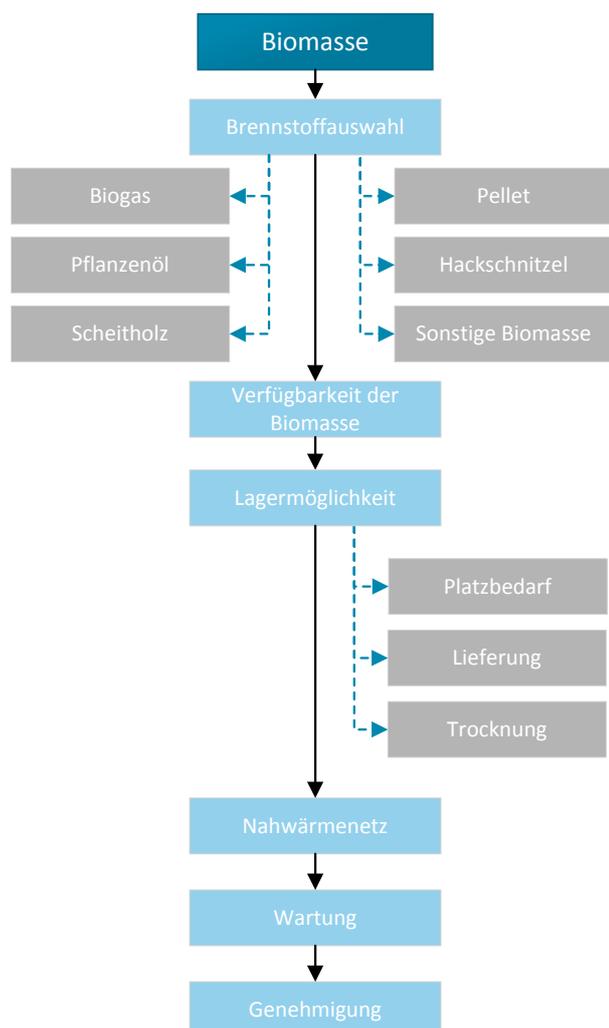


Abb. 190 Visio-Flussdiagramm Biomasse.pdf

Der Einsatz von Biomasse ist häufig mit einem hohen Wartungsaufwand verbunden. Das heißt, hier muss frühzeitig abgeklärt werden, inwiefern der Wartungsaufwand abgedeckt werden kann. Bis heute ist nur der Einsatz von Holzpellets schon dahingehend weiterentwickelt, dass ein nahezu automatisierter Betrieb möglich ist.

Bei der Nutzung von Biomasse entsteht eine Reihe unerwünschter Emissionen, deren maximaler Ausstoß über Grenzwerte in rechtlichen Regelungen festgesetzt ist. Gerade in städtischen Wohnsiedlungen ist hier besondere Vorsicht geboten. Daher sollte frühzeitig Kontakt zu den Behörden aufgenommen werden und gemeinsam eine Realisierung vorangetrieben werden.

Umfassende Informationen zur Realisierung eines „Bioenergie“-Projektes liefert der „Leitfaden Bioenergie“.<sup>11</sup>

### 1.3.5 Windenergie

Die baulichen Anlagen zur Nutzung von Windenergie lassen sich aufgrund ihrer Höhenentwicklung und ihres Flächenbedarfs nicht in die vorhandenen Strukturen eines historischen Ensembles einfügen. Der Windenergieerlass Bayerns aus dem Jahre 2011 formuliert zum Ziel, dass die „Umgebung landschaftswirksamer Denkmäler regelmäßig von Windkraftanlagen freizuhalten ist“.<sup>12</sup> Energiebereitstellung aus Windkraft stellt keine Option für die Versorgung von historischen Stadtquartieren dar.

## 1.4 Entwurf Energieversorgungsmatrix

Aus den Ergebnissen der einzelnen Checklisten lässt sich eine Matrix zur Energieversorgung entwickeln. Der Fokus liegt dabei auf der Bewertung einzelner regenerativer Energien. Folgende Kriterien werden in der Aufstellung bewertet:

- Marktreife
- Dieses Kriterium stellt den Entwicklungsstatus einer vorgegebenen Anlagentechnologie zum heutigen Zeitpunkt dar. Während sich einige An-

<sup>11</sup> Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR 2014): Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen.

<sup>12</sup> Bayerische Staatsregierung (Dezember 2011): Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA).

Wärmeversorgung	Energieträger	Stand der Technik	Architektonische Integration	Ökologischer Aspekt	Effizienz	Wartungsaufwand	Lagerung Brennstoff	Investitionskosten	Betriebskosten	Bewertung Plato-Wild
<b>Gaskessel</b>	Erdgas	+++	+++	---	++	+++	+++	+++	--	Variante 0 (Vergleich)
	Solarthermie	+++	--	+++	+	++	+++	++	+++	Variante A
<b>Kraft-Wärme-Kopplung</b>	Erdgas	+++	++	---	+++	++	+++	-	--	Keine regenerative Komponente Zu hohe Brennstoffkosten Zu hohe Brennstoffkosten Variante B
	Biogas	++	++	++	+++	++	+++	-	--	
	Pflanzenöl	++	++	++	+++	-	--	--	--	
	Hackschnitzel	+	++	++	+++	---	--	--	++	
<b>Wärmepumpe</b>	Strom - Außenluft	++	+++	--	+	+++	+++	--	-	kostenintensiv
	Strom - Geothermie	++	++	-	+	+++	+++	--	-	Standort nicht geeignet
	Strom - Abwasser	-	+++	-	+	+	+++	--	-	Kaum Erfahrungswerte
<b>Feststoffkessel</b>	Hackschnitzel	++	++	++	-	--	--	-	+++	Variante B wirtschaftlicher
	Holzpellets	+++	++	++	-	+	-	+	++	Variante A (ergänzend)
		+++ Excellent	++ Gut	++ Befriedigend	- Ausreichend	+++ Gut	+++ Ungenügend	+++ Mangelhaft	+++ Mangelhaft	

Abb. 191 Energieversorgungsmatrix am Beispiel Plato-Wild-Ensemble (Quelle: Energiekonzept Morschenich, Stefan Günther)

lagentechnologien der Energieversorgung noch in der Entwicklungsphase bzw. erst kurz auf dem Markt befinden, haben sich andere Systeme hingegen schon über mehrere Jahre bewährt. Der Betreiber kann hier auf eine zuverlässige und über Jahre entwickelte Technik setzen, während bei Systemen, die erst kurz auf dem Markt sind, noch mit Fehlern und möglichen Stillstandszeiten zu rechnen ist.

#### ■ Architektonische Integration

In diesem Leitfaden liegt ein besonderer Fokus auf dem schonenden Umgang mit dem architektonischen Erscheinungsbild vorliegender Stadtquartiere. Daher ist auf eine sensible Integration regenerativer Versorgungssysteme zu achten.

#### ■ Ökologischer Aspekt

Ziel des Leitfadens ist eine nachhaltige Versorgung des historischen Ensembles. Neben Energieeinsparmaßnahmen ist eine ökologisch sinnvolle Energieerzeugung im Ensemble ein wichtiger Schritt. Eine ökologische Bewertung der einzelnen Systeme ist daher sinnvoll.

#### ■ Effizienz

Eine Energieversorgung ist dann effizient, wenn eine vordefinierte Nutzenergie mit einem minimalen Energieaufwand erreicht wird. Systeme zur Energieversorgung, sowohl regenerative als auch konventionelle, unterscheiden sich in ihrer Effizienz und müssen dahingehend untersucht werden.

#### ■ Wartungsaufwand

Systeme zur Energieversorgung werden ständig weiterentwickelt. Dabei spielt auch eine Automatisierung eine entscheidende Rolle, damit der Wartungsaufwand nachhaltig verringert werden kann.

#### ■ Lagerung Brennstoff

Zahlreiche Technologien können jederzeit und zuverlässig Brennstoff aus einem Versorgungsnetz beziehen. Andere Systeme erfordern eine Lagerung des Brennstoffes vor Ort, die zusätzlichen Platz in Anspruch nimmt, der in Stadtgebieten nicht immer vorhanden ist. Darüber hinaus müssen ausgewählte Brennstoffe sehr

vorsichtig gelagert werden, was Risiken mit sich bringt.

#### ■ Investitionskosten

Auf dem derzeitigen Markt für Anlagentechnik zur Energieversorgung finden sich hochtechnologisch und effiziente Systeme, die aber auch hohe Investitionskosten verursachen.

#### ■ Betriebskosten

Zu den laufenden Betriebskosten zählen Ausgaben für Brennstoffe, Hilfsenergie und Wartung.

Die Energieversorgungsmatrix vermittelt einen ersten Eindruck, welche Systeme sinnvoll zur Versorgung des Ensembles eingesetzt werden können. Aus dieser Matrix lassen sich unterschiedliche Varianten ableiten, die im Anschluss daran weiterentwickelt und auf ihre Wirtschaftlichkeit hin geprüft werden.

### **Beispiel: Konzeptentwicklung am Beispiel Plato-Wild-Ensemble**

Für das Plato-Wild-Ensemble wurde eine Energieversorgungsmatrix (vgl. Abb. 191) angefertigt. Aus den Ergebnissen der Matrix wurden zwei Varianten entwickelt, die nachhaltig, aber auch ökonomisch verträglich das Ensemble mit Energie versorgen sollen. Bereits im Konzeptentwurf wurden erste schemenhafte Einordnungen vorgenommen (Nachhaltigkeit der Systeme, Wirtschaftlichkeit usw.), die bei den vorliegenden Varianten nun noch ausführlicher untersucht werden müssen.

#### **Variante A**

Diese Variante beinhaltet die Integration einer solarthermischen Anlage in Kombination mit einer unterstützenden Holzpelletanlage. Die Ausführung wird ergänzt mit einer bauphysikalisch maximal möglichen Dämmung der Gebäudehülle. Solarthermie kann zur Erwärmung des Brauchwassers eingesetzt werden. Darüber hinaus wird Solarthermie immer häufiger zur Brauchwasserbereitstellung und Unterstützung des Heizsystems angewandt. Am Stadtquartier Plato-Wild wurden beide Varianten untersucht. Parallel zur Integration einer solarthermischen Anlage in das Stadtquartier sind Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs sinnvoll. Bei der Planung am Beispiel des Plato-Wild-Ensembles wurden folgende Schritte vorgenommen:

- Aufnahme Wetterdaten „Regensburg“

Relevante Klimadaten sind die Sonnenscheindauer und die Globaleinstrahlung. Jene wurden im Kapitel F bereits ermittelt.

- „Qualifizierte“ Dachflächen

Hier wurde im Besonderen darauf geachtet, dass nur Dachflächen ausgewählt werden, die das äußere Erscheinungsbild des Stadtquartieres nicht verändern. Die geeigneten Dachflächen sind in Abb. 192 und Abb. 193 dargestellt. Die ausgewählten Dachflächen verfügen über eine Süd-West-Ausrichtung, einen Neigungswinkel von 45° und sind zum Innenhof ausgerichtet.

- Erste Abschätzung mithilfe einer geeigneten Simulationssoftware

Mit einer geeigneten Software können erste Abschätzungen zur Größe der Solarthermieanlage getroffen werden. Im Folgenden wurden Simulationen zur Auslegung einer solarthermischen Anlage für das Gebäude E\_1926 im Plato-Wild-Bestand mit der Software GetSolar durchgeführt.

- Die detaillierte Planung und Inbetriebnahme der solarthermischen Anlage müssen entsprechend vor Ort gemeinsam mit einem Fachbetrieb vorgenommen werden.

Solarthermische Anlagen lassen sich zur Bereitstellung von Warmwasser auch nachträglich komfortabel in bestehende Gebäude einbauen. Ist eine zusätzliche



Abb. 193 Geeignete Dachflächen Baublock II E\_1926

Unterstützung der Heizung vorgesehen, müssen dementsprechend die Heizsysteme des Gebäudeobjektes angepasst werden. Infolge der geringen Sonneneinstrahlung in den Wintermonaten erreichen Kollektoren zur Bereitstellung von Warmwasser einen solaren Deckungsanteil von etwa 60% des Warmwasserjahresbedarfs und benötigen eine Zusatzbeheizung. Eine Solarthermieanlage zur Wärmeerzeugung kann im Verbund mit einer Holzpelletsheizung sinnvoll sein. In den Sommermonaten und in der Übergangszeit verhindert die Solaranlage kurze Betriebszeiten der Holzpelletanlage zur Warmwasserbereitstellung, wodurch die energetische Effektivität der Holzpelletkessel-Heizung im laufenden Betrieb erhöht wird. Kombiniert wird die Nutzung einer Solarthermieanlage zur Wärmeversorgung mit einer maximalen bauphysikalisch verträglichen Dämmung der Gebäudehülle, die bei der Vorgabe des Heizwärmebedarfs bereits berücksichtigt worden ist.

### Variante B

An dieser Stelle kommt ein Blockheizkraftwerk auf Basis eines erneuerbaren Brennstoffs zum Einsatz. Kombiniert wird diese Anlagentechnik mit einer reduzierten Dämmung, damit hohe Laufzeiten des Kraftwerks gewährleistet sind. Hohe Vorlauftemperaturen ermöglichen auch den Einsatz einer Bauteiltemperierung im feuchten Sockelbereich.

Bedingt durch die hohen Investitionskosten lassen sich BHKW nur wirtschaftlich sinnvoll betreiben, wenn lange Laufzeiten, d.h. eine hohe Wärmeabnahme, ganzjährig gewährleistet sind. Je länger ein



Abb. 192 Geeignete Dachfläche Baublock II D\_1925

BHKW sinnvoll Wärme und Strom in ein vorhandenes System abgeben kann, desto eher amortisiert es sich. Gerade bei Altbauten, die aufgrund ihrer baulichen Substanz einen hohen Wärmebedarf aufweisen und eine vollständige Sanierung aus Gründen des Denkmalschutzes nicht machbar ist, kann die Nutzung eines Blockheizkraftwerks sinnvoll sein. Für den Einsatz im vorliegenden Stadtquartier wird eine wärmegeführte Betriebsweise angestrebt, d. h. das BHKW ist nur in Betrieb, wenn eine Wärmeanforderung seitens der Bewohner bzw. des Wärmespeichers besteht.

Für das Plato-Wild-Ensemble wurde die Planung, Auslegung und Inbetriebnahme eines Blockheizkraftwerks näher untersucht. Ausgangspunkt für die Auslegung einer derartigen Anlage ist die Jahresdauerlinie des Stadtquartiers.

Für das Plato-Wild-Objekt wurde eine ausführliche Jahresdauerlinie auf Basis der Heizlastberechnung, des Warmwasserverbrauchs und der meteorologischen Klimadaten vom Standort Regensburg erstellt. Im Idealfall sollten im Objekt vor Ort Messungen durchgeführt werden, deren Ergebnisse für die Auslegung verwendet werden können. „Dazu muss das betreffende Gebäude mit einer Leistungsmessung ausgestattet werden, welche im Viertelstundentakt die benötigte Wärmeleistung misst und abspeichert.“<sup>13</sup> Im Plato-Wild-Ensemble konnten derartige Messungen nicht vorgenommen werden. Die Jahresdauerlinie wurde im vorliegenden Fall auf Grundlage von Werten aus der Literatur ausgearbeitet (Abb. 194).

„Im Sinne einer Faustformel kann die BHKW-Leistungsgröße mit ca. 10 bis 20 Prozent der Maximalleistung abgeschätzt werden.“<sup>14</sup> Die „Heizlastberechnung“ auf Seite 243 ergab für den Baublock II des Plato-Wild-Ensembles eine Maximalleistung von 590 kW. Darüber hinaus muss für die Bereitstellung des Warmwassers eine zusätzliche Leistung berücksichtigt werden. Hier wurde mithilfe von Anhaltswerten aus der Energie-sparverordnung (12,5 kWh/m<sup>2</sup>) der Leistungsbedarf für die Trinkwassererwärmung mit 10,22 kW ermittelt.

Wird nun eine Maximalleistung von 600 kW zur Bereitstellung von Heizwärme und Trinkwasser zugrunde gelegt, können Blockheizkraftwerke mit einer thermischen Leistung im Bereich von 70 bis 100 kW gemäß der Faustformel zum Einsatz kommen. Die dargestellte Auslegung hat nur Übersichtscharakter

<sup>13</sup> Krimmling, Jörn (2011): Energieeffiziente Nahwärmesysteme. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

<sup>14</sup> Krimmling, Jörn (2011): Energieeffiziente Nahwärmesysteme. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

und muss in jedem Fall mit einem Ingenieurbüro gemeinsam präzisiert werden.

Für das vorliegende Stadtquartier wurde ein Blockheizkraftwerk mit einer thermischen Leistung von 80 kW der Firma Holz-Kraft (Spanner RE<sup>2</sup>) ausgewählt. Die technischen Details dieser Anlage können der Tab. 34 entnommen werden. Das System setzt sich aus einem Holzvergaser und einem Blockheizkraftwerk zusammen. Das Herzstück der Anlage ist der sogenannte Reformer, der durch einen kontrollierten Prozess aus naturbelassenen Holzhackschnitzeln reines Holzgas produziert. Dieses Holzgas wird anschließend über eine Filtereinrichtung gereinigt und im nachgeschalteten Blockheizkraftwerk verbrannt.

Für einen wirtschaftlich effizienten Betrieb muss das Blockheizkraftwerk jährlich eine möglichst hohe Anzahl von Betriebsstunden erreichen. „Angestrebt werden jährliche Laufzeiten in einer Größenordnung oberhalb 6 000 h/a.“<sup>15</sup> In Kombination mit weiteren Wärmeerzeugern, die aufgrund der bivalenten Auslegung notwendig sind, ist das Blockheizkraftwerk vorrangig zu betreiben. Der Einsatz von Pufferspeichern zur Reduzierung von Taktzeiten und zur Verlängerung der Gesamtlaufzeit ist anzustreben.

Der Einsatz einer Holzvergasung in Stadtquartieren ist mit Herausforderungen verbunden, die umfassend untersucht wurden. Die Ergebnisse dieser Analyse werden im Folgenden kurz vorgestellt:

◦ Brennstoffinformationen:

- Holzhackschnitzel der Größe G30 – G40
- Feuchtegehalt von maximal 15 %
- Feinanteil (Körnung < 3–4 mm von maximal 30 %)

Die Qualität des Brennstoffs entscheidet signifikant über die Wartungsintervalle und die Lebensdauer der Gesamtanlage. Hackschnitzel mit einem erhöhten Feuchtegehalt stören den Reformerprozess. Daher ist auf eine trockene Lagerung des Brennstoffs zu achten.

<sup>15</sup> Krimmling, Jörn (2011): Energieeffiziente Nahwärmesysteme. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

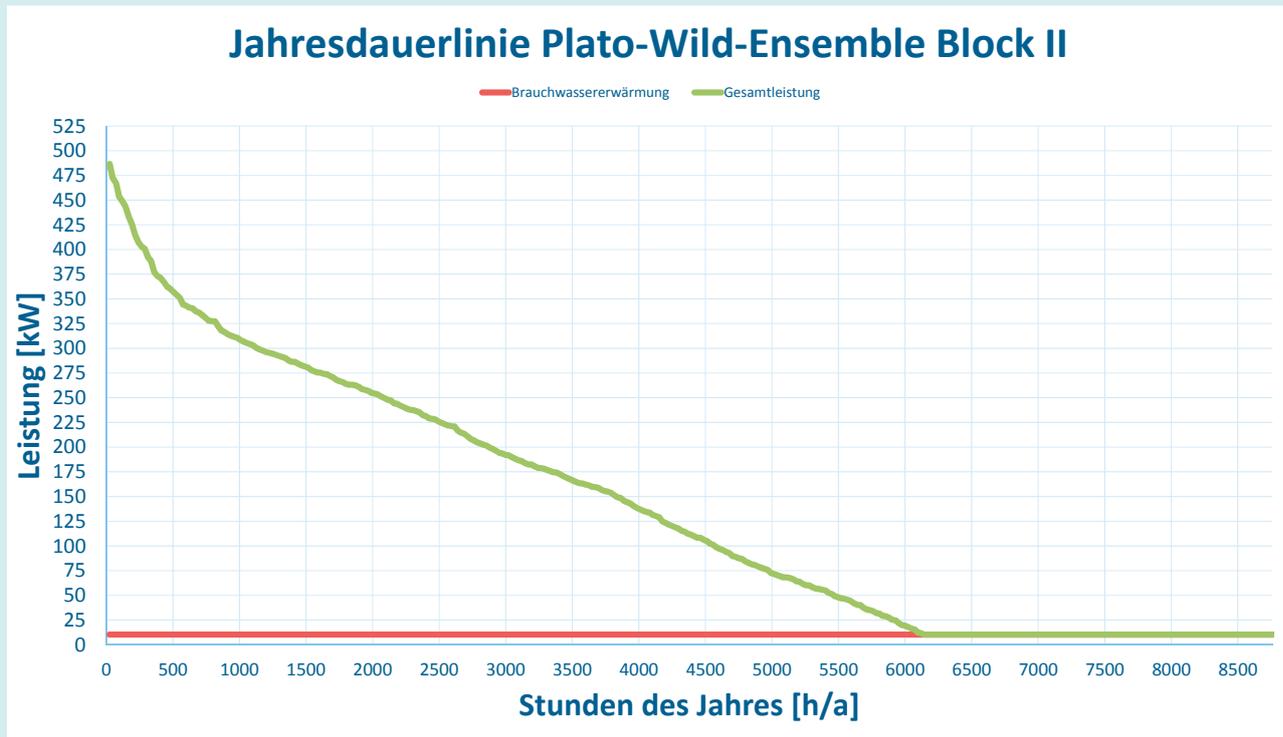


Abb. 194 Jahresdauerlinie Plato-Wild-Ensemble

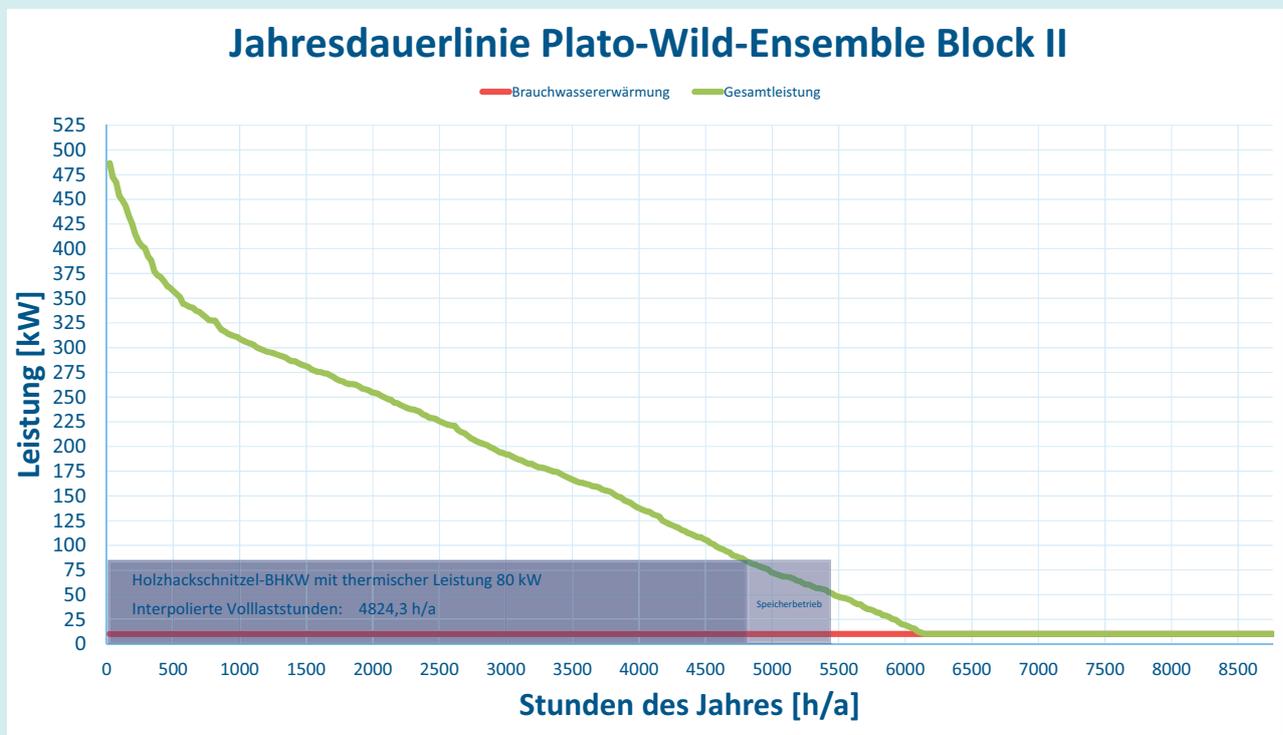


Abb. 195 Auslegung Blockheizkraftwerk mithilfe der Jahresdauerlinie

■ Brennstoffverbrauch:

- 30 kg Hackschnitzel pro Stunde
- Vergleich Bioenergiedorf Engelsberg

600 –700 m<sup>3</sup> bei einer Laufzeit von ~5 000 h

Zur Bereitstellung der Wärmeenergie müssen große Mengen Brennstoff angeliefert werden. Eine wöchentliche Befüllung der Brennstofflager ist unumgänglich. Das Plato-Wild-Ensemble befindet sich in einem Wohngebiet. Es ist sicherzustellen, dass potenzielle Transportunternehmen zur Anlieferung der Hackschnitzel uneingeschränkten Zugang zur Entladezone haben. Über die Safferlingstraße können Zugmaschinen durch eine Zufahrt die Brennstofflager erreichen. Ein „Einblasen“ der Hackschnitzel in das jeweilige Brennstofflager ist möglich, aufwendige Rangierarbeiten im Innenhof müssen nicht vorgenommen werden.

■ Platzbedarf:

- Abmessungen Anlage:

BHKW: 2 250 x 990 x 1 470 mm

Holzgas: 5 406 x 2 050 x 2 350 mm

- 36 m<sup>2</sup> Raumfläche
- Raumhöhe 2,60–3,40 m

Die Anlage soll in einer separaten Energiezentrale untergebracht werden. Informationen zur Energiezentrale und weitere Details zur Lagerung des Brennstoffs finden sich im Kapitel 2 „Integration einer Energiezentrale“ auf Seite 226.

■ Anmeldeformalitäten

Vor der Inbetriebnahme einer Holzvergasungsanlage müssen einige Anmeldungen vorgenommen werden. Der Kontakt zu den jeweilig zuständigen Behörden sollte zu einem möglichst frühen Zeitpunkt aufgenommen werden, um auf mögliche Änderungen und Vorgaben reagieren zu können.

Blockheizkraftwerke mit einer Feuerungswärmeleistung kleiner 1 MW sind gemäß dem Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) keine genehmigungsbedürftigen Anlagen.

Bei einer Feuerungsleistung über 50 kW muss jedoch ein Antrag beim jeweiligen Bauamt gestellt werden.

Wird eine Vergütung für den in das öffentliche Stromnetz eingespeisten Strom angestrebt, ist eine Anmeldung beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) zwingend vorgeschrieben.

Die Anlage muss darüber hinaus beim Netzbetreiber angemeldet werden.

■ Schadstoffemissionen

Der Hersteller der Anlage hat umfassende Analysen der Schadstoffemissionen in Auftrag

Angabe	HK 30
Elektrische Leistung	30 kW
Thermische Leistung	~80 kW
Vergasereinheit	~10 kW
BHKW-Einheit	~60 kW
Nachreformer	~10 kW
Feuerungsleistung	129 kWh
Thermischer Ausgang	
Vorlauftemperatur	max. 90°C
Rücklauftemperatur	max. 75 °C
Elektrischer Ausgang	400 V / 50 Hz
Wirkungsgrad	
Elektrisch	23%
Thermisch	62%
Gesamt	85%
Stromkennzahl	
	0,48
Nutzungsgrad	
	90%

Tab. 34 Datenblatt Holzvergaser-BHKW

gegeben und eine Zulassung erhalten. Trotzdem ist die Verbrennung von Festbrennstoffen in Stadtgebieten mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden und unterliegt strengsten Auflagen. Neben den allgemein gültigen Gesetzen und Verordnungen (Bund und Land) hat die Stadt Regensburg eine „Verordnung über die Verwendung fester Brennstoffe“ erlassen, die Verbrennung von Festbrennstoffen im Stadtgebiet regelt. Bereits in der Planungsphase sollte der

Kontakt zu dem jeweiligen Umweltamt und dem zuständigen Bezirkskaminkehrer gesucht werden, um möglichen Schwierigkeiten rechtzeitig zu begegnen.

## 1.5 Primärenergiefaktor

Die Primärenergiefaktoren (PEF) der einzelnen Energieträger sind in der DIN V 18599-1 festgelegt und können dort bezogen werden. „Wärme, die durch eine KWK im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude und ausschließlich für dieses Gebäude und seine Versorgung erzeugt wird, ist nach DIN V 18599-9 zu berechnen.“<sup>16</sup> Hier berechnet sich der Primärenergiefaktor nach folgender Formel:

$$f_p = f_{p,HP} * \frac{1 - \kappa}{\eta_{HP}} + f_{p,CHP} * \frac{(1 + \sigma) * \kappa}{\eta_{CHP}} - f_{p,Strom} * \sigma * \kappa$$

mit:

$f_p$  Primärenergiefaktor (PEF) des Gesamtsystems

$f_{p,HP}$  PEF für den Energieträger des Spitzenerzeugers

$f_{p,CHP}$  PEF für den Energieträger der KWK

$f_{p,Strom}$  PEF für Strom

$\eta_{HP}$  Nutzungsgrad des Spitzenerzeugers

$\eta_{HP}$  Nutzungsgrad der KWK-Anlage

$\kappa$  KWK-Deckungsanteil

$\sigma$  Stromkennzahl der KWK-Anlage

Die Stromkennzahl beschreibt das Verhältnis von elektrischer Arbeit und Nutzwärme einer Anlage

## Beispiel: Ermittlung Primärenergiefaktor am Beispiel der Variante B

Der Primärenergiefaktor für die Variante B (BHKW) wurde gemäß der DIN V 18599-9 berechnet:

Nutzwärme		1200,0 MWh / a
Primärenergiefaktoren (Quelle VDI 18599 -1)	Erdgas	1,1
	Hackschnitzel	0,2
	Strom	2,4
Angaben BHKW	$P_{th}$	80,0 kW
	$P_{el}$	30,0 kW
	Feuerungsleistung	125,0 kW
	Nutzungsgrad $\eta_{BHKW}$	0,88
	Stromkennzahl	0,375
	Laufzeit pro Jahr	5000,0 h
Angaben Kessel	Nutzungsgrad $\eta_{Kessel}$	0,90
Angaben Netz	Nutzungsgrad $\eta_{Netz}$	0,90
Deckungsanteil		0,33
Wärmeabgabe BHKW		400,0 MWh / a
Stromabgabe BHKW		150,0 MWh / a
Endenergie BHKW		625,0 MWh / a
Wärmeabgabe Kessel		800,0 MWh / a
Endenergie Kessel		888,9 MWh / a
Endenergie "System"		1333,3 MWh / a
<b>Primärenergiefaktor</b>		<b>0,62</b>

<sup>16</sup> DIN V 18599-1: Abgrenzungen und Ansätze für die Berücksichtigung der KWK.

## 2. Integration einer Energiezentrale

Die Konzeption einer Energiezentrale ist die wesentliche Voraussetzung für den Aufbau eines zentralen Energieversorgers. Die notwendige Energie wird in der Zentrale erzeugt und mithilfe eines Nahwärmenetzes zum Verbraucher transportiert. Dieses Kapitel erörtert die technischen Anforderungen an eine derartige Zentrale unter Berücksichtigung der bestehenden Normen und Richtlinien. Zur Heizzentrale gehört der Aufstellraum mit Wärmeerzeuger, Abgasanlage und Lagerstätten für Brennstoffe und Verbrennungsrückstände. Außerdem betriebstechnische Nebenräume für die Wärmeverteilung, Regelung, Trinkwassererwärmung und weitere Betriebsapparaturen. Besondere Beachtung findet die architektonische Integration des Funktionsbauwerks in die bestehende Siedlung, auch im Hinblick auf die soziale Akzeptanz. Eine Studiengruppe der Fakultät Architektur an der Hochschule Regensburg hat dazu Lösungen erarbeitet, die in diesem Kapitel vorgestellt werden sollen.

### 2.1 Normen und Richtlinien

Für die bauliche Ausführung gilt die Landesbauordnung bzw. -Feuerungsverordnung. Darüber hinaus sind weitere Vorschriften wie z.B. das Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (EnEG) oder das Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (BImSchG) zu berücksichtigen. Zur Planung und Auslegung einer Zentrale zur Energieversorgung können Informationen aus folgenden Normen und Richtlinien herangezogen werden:

- Bayerische Landesbauordnung (BayBO)

Die Landesbauordnung regelt die Durchführung einzelner Bauvorhaben, sie ist in jedem Bundesland eigenständig. Im Allgemeinen befasst sich die Landesbauordnung mit der Nutzung, Instandsetzung, Änderung, Errichtung und dem Abbruch einzelner Gebäude. Sie dient dem Ziel, die Allgemeinheit vor Gefahren durch Baumaßnahmen zu schützen, eine Verunstaltung der Umgebung durch ästhetisch schlecht gestaltete Bauten zu verhindern und die Belange des Straßenverkehrs zu wahren.

- Feuerungsverordnung (FeuVo)

Anhand der Musterfeuerungsverordnung leiten die einzelnen Länder unter Einbezug der länderspezifischen Richtlinien ihre eigene Feu-

erungsverordnung ab. Allen zugleich gilt die Feuerungsverordnung für „das Aufstellen von Feuerstätten, Wärmepumpen, BHKW, soweit diese zur Beheizung von Räumen, der Warmwassererzeugung oder Gashaushaltskochgeräte sind.“ (§ 1 FeuVO)

- Verein Deutscher Ingenieure (VDI)

Der Verein Deutscher Ingenieure gibt lediglich Richtlinien vor, wobei die Richtlinien sich an der deutschen Industrienorm orientieren. Für die Planung und Auslegung einer Energiezentrale werden die Blätter 1 und 2 der VDI 2050 benötigt. In der VDI 2050 werden die Anforderungen an eine Technikzentrale beschrieben. Im Blatt 1 wird näher auf die technischen Grundlagen für die Planung und Ausführung einer Zentrale eingegangen. Zu diesem Punkt gehören die Gebäudenutzung und Anforderungen an die TGA, Flächenermittlung, strukturelle Anordnung der Technikzentrale und die baulichen Anforderungen.

### 2.2 Aufstellung von Feuerstätten

Energiezentralen sollten immer möglichst nah am Verbraucher positioniert werden. Weite Versorgungsstrecken müssen so weit wie möglich vermieden werden.<sup>17</sup>

- Energiezentralen im Kellergeschoss

Gewöhnlich werden Energiezentralen im Keller untergebracht. Leitungen können ohne Mehraufwand kostengünstig an der Kellerdecke installiert werden. Statisch ergeben sich kaum Probleme und es müssen keine neuen Räumlichkeiten geschaffen werden. Einbringmöglichkeiten für die Anlagentechnik müsse berücksichtigt werden. Darüber hinaus müsse eine ausreichende Luftzuführung (Verbrennungsluft und Raumlüftung) gewährleistet sein. Eine einheitliche Energieversorgung des gesamten Stadtquartiers in bestehenden Kellerräumlichkeiten ist nur in seltenen Fällen realisierbar.

- Dachenergiezentralen

Energiezentralen können heute auch im Dachgeschoss realisiert werden. Eine derartige Ausführung ist allerdings an zahlreiche Auflagen

<sup>17</sup> Pistohl, Wolfram; Rechenauer, Christian; Scheuerer, Birgit (2013): Handbuch der Gebäudetechnik. Planungsgrundlagen und Beispiele. 8. Aufl. Werner Verlag

gebunden. Notwendig sind detaillierte Untersuchungen der Statik, da die gesamte Anlage inklusive Pufferspeicher die zulässige Höchstlast schnell überschreitet. Zugänge und Fluchtwege sind nicht ohne Weiteres zu realisieren. Durch die räumliche Nähe der Anlagentechnik zu den Wohnräumen ist auf eine geringe Schallübertragung zu achten.

- **Frei stehende Energiezentralen**

Übersteigt die Anlagentechnik eine bestimmte Kapazität (z. B. zur Versorgung einer gesamten Gebäudegruppe), wird die Energiezentrale in der Regel in einem eigenen Gebäude untergebracht. Frei stehende Heizzentralen haben den Vorteil, dass sie häufig neu errichtet werden und der Neubau den anlagentechnischen Spezifikationen angepasst werden kann. Auflagen aus bestehenden Normen und Gesetzen können bereits in den Planungen der Zentrale berücksichtigt werden und stellen kein Problem dar.

Die Feuerungsverordnung regelt die Aufstellung der Anlagentechnik und unterscheidet dabei bei großer Anlagenleistung, wie sie gewöhnlich in einem Stadtquartier zum Einsatz kommt, zwischen:

- Aufstellräumen für Feuerstätten
- Heizräumen

## 2.3 Planungsgrundlagen Heizraum

Feuerstätten für feste Brennstoffe mit einer Nennleistung von insgesamt mehr als 50 kW, die gleichzeitig betrieben werden sollen, dürfen nur in besonderen Räumen aufgestellt werden. Die Feuerungsverordnung spricht an dieser Stelle von Heizräumen. In den folgenden Kapiteln werden die spezifischen Anforderungen an einen Heizraum gemäß der FeuVO näher erläutert.

### 2.3.1 Verbrennungsluftversorgung

Je nach Gesamtnennwärmeleistung werden unterschiedliche Anforderungen an die Verbrennungsluftversorgung des geplanten Aufstellortes gestellt:<sup>18</sup>

- **Raumluftunabhängige Feuerstätten**

Keine Anforderungen an das Luftvolumen des Aufstellraums und keine speziellen Einrichtungen zur Raumlüftung notwendig

- **Raumluftabhängige Feuerstätten bis zu 35 kW**

Fenster/Tür ins Freie sowie einen Mindestrauminhalt von  $4 \text{ m}^3/\text{kW}$  Nennwärmeleistung oder eine ins Freie führende Öffnung ( $150 \text{ cm}^2$ ) oder Leitungen ins Freie mit gleichem Gesamtquerschnitt

- **Raumluftabhängige Feuerstätten bis zu 50 kW**

Eine ins Freie führende Öffnung ( $150 \text{ cm}^2$ ) oder Leitungen ins Freie mit entsprechendem Gesamtquerschnitt

- **Raumluftabhängige Feuerstätten über 50 kW**

Eine ins Freie führende Öffnung ( $150 \text{ cm}^2$ ) oder Leitungen ins Freie mit entsprechendem Gesamtquerschnitt zzgl.  $2 \text{ cm}^2$  für jedes kW Nennleistung, das über 50 kW hinausgeht (maximal zwei Öffnungen)

Die Öffnungen zur Verbrennungsluftversorgung dürfen nicht verschlossen werden und gesetzlich geregelte Lüftungsöffnungen nicht durch Gitter oder Ähnliches reduziert werden. Die detaillierten Vorgaben können der Feuerungsverordnung entnommen werden.

### 2.3.2 Bauliche Anforderungen

Bauliche Maßnahmen müssen mit der jeweiligen landesrechtlichen Bauordnung abgestimmt sein und die Regelungen der gültigen Feuerungsverordnung (MFeuVO) berücksichtigen. Erste Anhaltswerte für die räumliche Größe einer Energiezentrale liefert die VDI Norm 2050. Raumgrundflächen sind aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen an die Anlagentechnik und Brennstoffbevorratung nicht exakt definiert. Angaben aus der VDI-Norm 2050 können als erste Anhaltswerte verwendet werden. Abweichende Regelungen in landesrechtlichen Vorschriften sind zu beachten.

<sup>18</sup> Bayerisches Staatsministerium des Innern (11.11.2007): Feuerungsverordnung, FeuVO. Fundstelle: GVBl 2007, S. 800.

### 2.3.3 Schallschutzanforderungen

Die Schallschutzanforderungen sind in der DIN 4109 und VDI 4100 nachzuschlagen. Sie definiert den maximal zulässigen Geräuschpegel, der an den nächsten Wohneinheiten anliegt. Der Schalldruckpegel von haustechnischen Anlagen darf bei Wohn- und Schlafräumen den Wert von 30 dB(A) nicht überschreiten. Hierbei wird zwischen Tagesbetrieb (35 dB(A)) und Nachtbetrieb (25 dB(A)) unterschieden.

### 2.3.4 Brandschutzanforderungen

Die Brandschutzanforderungen an einen Heizraum sind der Feuerungsverordnung (MFeuVO) § 6 zu entnehmen. Hier wird unter anderem festgelegt, dass an die Energiezentrale anschließende Wände (ausgenommen nichttragende Außenwände), Decken und Böden der Feuerschutzklasse F 90 (feuerbeständig) unterliegen. Türen, die nicht direkt ins Freie verlaufen, haben einen Anspruch von mindestens F 30 (feuerhemmend) und sind selbstschließend zu planen. Die Lüftungsleitungen für Heizräume müssen feuerbeständig dimensioniert werden. Lüftungsleitungen, die durch den Heizraum führen, sind ohne Öffnung und mit einer Absperrvorrichtung der Klasse F 90 oder mit einer Feuerwiderstandsdauer von mindestens 90 Minuten (L 90) zu konzipieren. Wandverkleidungen, Dämmschichten und Fußbodenbeläge müssen feuerbeständig sein. Weiter ist der Feuerungsraum von brennbaren Bauteilen zu befreien. Für Feuerungsstätten mit festen Brennstoffen gelten gesonderte Anforderungen an den Fußboden. Hier ist zu beachten, dass der Boden mindestens 50 cm nach vorne und mindestens 30 cm seitlich von der Feuerungsöffnung mit einem nichtbrennbaren Material zu schützen ist.

### 2.3.5 Sonstige Anforderungen

- Raumlüftung
- Heizräume benötigen zur Raumlüftung jeweils eine obere und untere Öffnung ins Freie mit einem Querschnitt von mind. 150 cm<sup>2</sup>. Der Querschnitt einer Öffnung darf auf die Verbrennungsluftversorgung angerechnet werden.
- Feuerlöschanlagen
- Feuerlöschanlagen sind in allen Heizeinrichtungen mit einzuplanen. Sie können entweder aus Handfeuerlöschern oder einer Sprinkleranlage bestehen.

## Aufstellung Anlagentechnik gemäß Feuerungsverordnung (MFeuVO)

### Aufstellräume für Feuerstätten nach § 5 der MFeuVO

Vorgesehen für Feuerstätten mit einer Nennleistung von insgesamt mehr als 100 kW

Feuerstätten für feste Brennstoffe dürfen jedoch nur aufgestellt werden, wenn deren Nennleistung insgesamt nicht mehr als 50 kW beträgt.

Wichtigste Anforderungen an Aufstellräume für Feuerstätten:

- keine anderweitige Nutzung
- keine Öffnungen (ausgenommen dicht- und selbstschließende Türen) zu anderen Räumen
- ausreichende Verbrennungsluftversorgung 150 cm<sup>2</sup> + 2 cm<sup>2</sup>/kW

### Heizräume nach § 6 der MFeuVO

Feuerstätten für feste Brennstoffe mit einer Nennleistung von insgesamt mehr als 50 kW, die gleichzeitig betrieben werden sollen, dürfen nur in Heizräumen aufgestellt werden.

Wichtigste Anforderungen an Heizräume:

- keine anderweitige Nutzung
- Mindestrauminhalt von 8 m<sup>3</sup>
- Mindestraumhöhe von 2 m
- Ausgang ins Freie oder in einen Flur
- feuerbeständige Wände
- obere und untere Öffnung ins Freie zur Raumlüftung (Mindestfläche je Öffnung: 150 cm<sup>2</sup>)
- ausreichende Verbrennungsluftversorgung 150 cm<sup>2</sup> + 2 cm<sup>2</sup>/kW

Weitere Details zur Aufstellung von Anlagentechnik können der Feuerungsverordnung (FeuV) entnommen werden. Bei Unklarheiten kann auch bei den zuständigen Baubehörden angefragt werden.

- Wasseranschluss und Entwässerung
- Heizräume sollten über einen Wasseranschluss verfügen und Vorrichtungen zur Entleerung der Wärmeerzeuger bereitstellen.
- Elektroinstallation
- Heizräume benötigen eine elektrische Beleuchtung und einen Anschluss an das elektrische Netz.

## 2.4 Brennstofflagerung

Auflagen für die Brennstofflagerung beinhalten folgende Verordnungen:

- Feuerungsverordnung (MFeuVO)
- VDI 2050 Blatt 1 (feste Brennstoffe)
- TRF 1996 – technische Regeln Flüssiggas
- Verordnung über Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe (Heizöl)

Das Lagern von Brennstoffen, egal welcher Art, ist mit einer erhöhten Feuergefährdung verbunden. Geringe Brennstoffmengen dürfen ohne größere Auflagen gelagert werden. Detaillierte Angaben dazu finden sich im § 12 der MFeuVO.

Grenzwerte zur Lagerung von Brennstoffen außerhalb von Brennstofflagerräumen je Gebäude oder Brandabschnitt:

- bis zu 10 000 l Holzpellets
- bis zu 15 000 kg sonstige feste Brennstoffe
- bis zu 5 000 l Heizöl oder Dieseldieselkraftstoffe
- 16 kg Flüssiggas in geeigneten Behältern

Bei größeren Anlagen wird die erlaubte Brennstoffmenge schnell überschritten und eine Lagerung in Brennstofflagerräumen gemäß § 11 der MFeuVO ist unausweichlich.

Brennstofflagerräume dürfen nur zur Bevorratung von Brennstoff genutzt werden. Flüssiggas, Heizöl und Dieseldieselkraftstoff dürfen auch in Brennstoffla-

geräumen nicht in unbegrenzten Mengen gelagert werden. Informationen dazu können dem § 11 der MFeuVO entnommen werden. Wände und Stützen von Brennstofflagerräumen sowie Decken über oder unter ihnen müssen feuerbeständig sein. Öffnungen in Decken und Wänden müssen, soweit sie nicht unmittelbar ins Freie führen, mindestens feuerhemmende und selbstschließende Abschlüsse haben.

Weitere spezifische Details zur Beschaffenheit von Brennstofflagerräumen können in der MFeuVO nachgeschlagen werden.

## 2.5 Abgasanlagen

Vorschriften zur Planung und Ausführung von Abgasanlagen enthalten u. a.:

- Feuerungsverordnung (MFeuVO)
- Feuerungsverordnung der Länder
- Landesbauordnung (BayBO)
- DIN 18160
- Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)
- Regionale Verordnungen

Maßgeblich sind die jeweils gültigen Fassungen der Bauordnungen und der Feuerungsverordnungen. Deren Einhaltung ist im Gegensatz zur Einhaltung anderer technischer Regeln (DIN, VDI usw.) zwingend. Die Bauordnung unterliegt ständigen Änderungen. Es gilt für den Anwender, den jeweils neuesten Stand der Richtlinien zu beschaffen und anzuwenden.

Die Aufgabe der Abgasanlage liegt darin, gesundheitsschädliche Stoffe, die bei der Verbrennung entstehen, sicher in die Umwelt zu leiten. Die Abgase von Feuerstätten müssen bei allen bestimmungsgemäßen Betriebszuständen ordnungsgemäß ins Freie abgeführt werden. Die Abgase von Feuerstätten für feste Brennstoffe müssen in Schornsteine, die Abgase von Feuerstätten für flüssige oder gasförmige Brennstoffe dürfen auch in Abgasleitungen eingeleitet werden.

Die zentralen Aufgaben von Abgasanlagen sind das Abführen der Abgase einer Feuerstätte ins Freie und das Ansaugen der benötigten Verbrennungsluft mittels Unterdruck.

## 2.5.1 Allgemeine Anforderungen an Abgasanlagen

Abgasanlagen müssen so angeordnet sein, dass ihre Mündungen nicht in unmittelbarer Nähe von Fenstern, Zuluftöffnungen und Balkonen liegen. Eine Platzierung der Abgasanlage unweit vom Dachfirst ist aus gestalterischen, aber auch funktionellen Gründen anzustreben. Die Abgase werden günstig vom Gebäude weg in die Atmosphäre abgeführt.

Abgasanlagen sind im Inneren so zu planen, dass Feuer und Rauch nicht in andere Geschosse oder Brandabschnitte übertragen werden können. Einzelheiten zu den Abständen von Abgasanlagen zu benachbarten brennbaren Bauteilen können der DIN V 18160 -1 und den jeweiligen Landes-Feuerordnungen entnommen werden.

Die Mündungen von Abgasanlagen müssen<sup>19</sup>

- den First um mindestens 40 cm überragen oder von der Dachfläche mindestens 1 m entfernt sein (vgl. Abb. 196),
- Dachaufbauten, Gebäudeteile, Öffnungen zu Räumen und ungeschützte Bauteile aus brennbaren Baustoffen, ausgenommen Bedachungen, um mindestens 1 m überragen, soweit deren Abstand zu den Abgasanlagen weniger als 1,5 m beträgt (vgl. Abb. 197),
- den First um mindestens 80 cm überragen bei einer Feuerstätte für feste Brennstoffe und einer weichen Gebäudebedachung.

Gemäß 1. BImSchV § 19 müssen die Austrittsöffnungen von Schornsteinen bei Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe mit einer Gesamtwärmeleistung bis

<sup>19</sup> Bayerisches Staatsministerium des Innern (11.11.2007): Feuerungsverordnung. FeuVO. Fundstelle: GVBl 2007, S. 800.

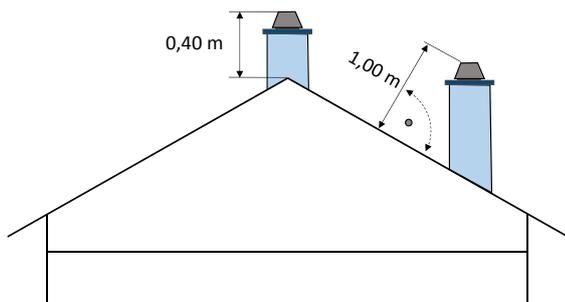


Abb. 196 Vorgaben zur Schornsteinmündung

50 kW in einem Umkreis von 15 m die Oberkanten von Lüftungsöffnungen, Fenstern oder Türen um mindestens 1 m überragen. Der Umkreis vergrößert sich um 2 m je weitere angefangene 50 kW bis auf höchstens 40 m.<sup>20</sup>

Die Abgase von raumluftunabhängigen Feuerstätten für gasförmige Brennstoffe dürfen unter bestimmten

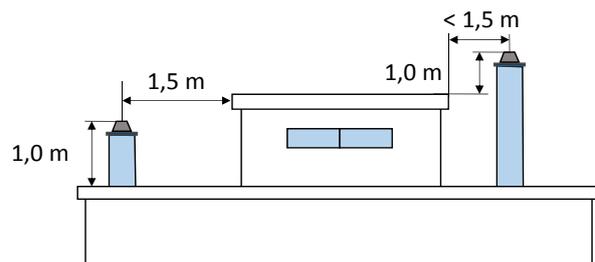


Abb. 197 Schornsteinmündung bei Dachaufbauten

Umständen (MFeuVO §9 (2)) durch die Außenwand ins Freie geleitet werden.

Weitergehende Anforderungen an die Höhe der Mündungen über Dach können aufgrund bauaufsichtlicher Vorschriften, aus Gründen des Umweltschutzes oder der örtlichen Gegebenheiten erforderlich sein.

Die Planung einer Abgasanlage sollte eng mit den zuständigen Behörden abgestimmt werden.

## 2.5.2 Schornstein

Feuerstätten für feste Brennstoffe (Holz, Kohle) müssen an Schornsteine angeschlossen werden. Bei der Verbrennung von festen Brennstoffen kann Ruß entstehen. Lagert sich dieser Ruß innerhalb des Schornsteins ab, ist nicht selten ein Rußbrand die Folge. Aufgrund der Gefahr von Rußbränden werden an die Planung und Bauausführung von Schornsteinen die strengsten Anforderungen gestellt. Für Abgasleitungen können sich geringere Anforderungen ergeben.

Der Schornstein wird als eigenständiges System im Bauwerk gesehen und hat gesonderte bauliche Anforderungen nach der jeweiligen Landesbauordnung (BayBO) zu erfüllen. Der Schornstein muss unmittelbar auf dem Baugrund gegründet sein und durch alle Geschosse durchgängig und ohne Unterbrechung verlaufen. In den Gebäudeklassen 1-3 und bei außen

<sup>20</sup> Bundesministerium der Justiz (26.01.2010): Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1. BImSchV), zuletzt geprüft am 21.04.2014.

liegenden Schornsteinsystemen genügt ein Unterbau aus nichtbrennbarem Material. Für die statische Auslegung sind die Eigenlasten, Nutzlasten, Verkehrslasten, Wärmeeinwirkungen und Windlasten zu berücksichtigen.

Weil Schornsteine vom Keller bis über den Dachfirst hinausreichen, sind Änderungen an der Schornsteinanlage nachträglich nur mit großem Aufwand zu realisieren. Schornsteine sollten daher sorgfältig geplant und errichtet werden. Aufgrund dieser Tatsache ist es sinnvoll und empfehlenswert, bei der Planung und Realisierung eines solchen Projektes in einem frühen Planungsstadium die zuständigen Behörden miteinzubeziehen.

## **2.6 Architektonische Integration**

Immer wichtiger werden das Thema Energieversorgung und deren Einbindung in den Städtebau. Die Integration von Energiezentralen in bestehende Strukturen spielt dabei eine bedeutende Rolle. Dabei müssen die technische Realisierung einer zuverlässigen Energieinfrastruktur mit der sensiblen Integration eines Neubaus in Einklang gebracht werden. In einem bestehenden Stadtquartier kann die Ener-

giezentrale sowohl an ein bestehendes Gebäude angebaut wie auch frei stehend im Hofbereich realisiert werden.

Bei der Verbrennung von festen Brennstoffen (z. B. Biomasse) ergeben sich aus den bestehenden Richtlinien explizite Anforderungen an die Abgasanlage, die bei der Konzeption einer Energiezentrale berücksichtigt werden müssen. Häufig ist es unausweichlich, die Mündung der Abgasanlage über Dachfirst der bestehenden Bestandsgebäude auszuführen, da eine gesetzlich vorgeschriebene Entfernung von Abgasanlage und Öffnungen (z. B. Fenster) in den bestehenden Wohngebäuden nicht eingehalten werden kann (vgl. (2.5.1 Allgemeine Anforderungen an Abgasanlagen auf Seite 230)). Die architektonische Einarbeitung der Abgasanlage in das bestehende Areal stellt eine große gestalterische Herausforderung dar. Der architektonischen Integration eines technischen Funktionsbauwerkes in das bestehende Stadtquartier wird auch im Hinblick auf die soziale Akzeptanz der Bewohnerschaft ein sehr hoher Stellenwert beigemessen. Durch eine geschickte Ausnutzung der topografischen Situation im Hof oder auch durch eine sinnvolle Ergänzung der „technischen“ Energiezentrale mit Gemeinschaftsräumen, einem Gewächshaus und anderen gemeinschaftlichen Nutzungen kann eine deutlich höhere Akzeptanz unter den Bewohnern erreicht werden.

## Beispiel: Integration einer Energiezentrale in das Plato-Wild-Ensemble

Energiezentralen wurden zum heutigen Zeitpunkt schon oftmals realisiert, jedoch wurde das Verhältnis der Neubauten zur bestehenden Struktur eines Stadtquartiers bislang eher oder ausschließlich funktional gesehen. Eine Studiengruppe der Fakultät Architektur der Hochschule Regensburg wurde beauftragt, kreative und schlüssige Ansätze zur architektonischen und sozialen Integration einer Energiezentrale in das Plato-Wild-Ensemble zu entwickeln. Thema darüber hinaus war die Neugestaltung des Innenhofes, um die Identifikation der Bewohner mit ihrem Wohnumfeld zu erhöhen. Die Ergebnisse einiger ausgewählter Arbeiten werden nun auf den kommenden Seiten vorgestellt.



### Variante 1

Plass, Dominik

Volkovskaya, Elena

Wall, Florian

Der Innenhof schließt sich zur Straße hin und das BHKW wird direkt an ein bestehendes Gebäude angebaut. Dies hat den Vorteil, dass bestehende Keller und Kamine mitgenutzt werden können und kein Neubau von neuen Abgasanlagen notwendig ist. Der Mehrwert dieses Konzeptes besteht aus der angehängten Balkonzone für jede Wohnung, die notwendig ist, um die Baulücke optisch zu schließen. Jede Wohnung erhält so einen eigenen, in etwa 8 m<sup>2</sup> großen Freibereich, der durch geschossübergreifende Lufträume und gegenseitiges Versetzen zueinander eine gewisse Privatsphäre zum Nachbarn schafft. Die Konstruktion der Balkone besteht aus IPE-Trägern, die in beiden Bestandsmauern aufliegen. Die Träger bilden die Geländerhöhen und Auflager für die Bodenkonstruktionen aus.



## Variante 2

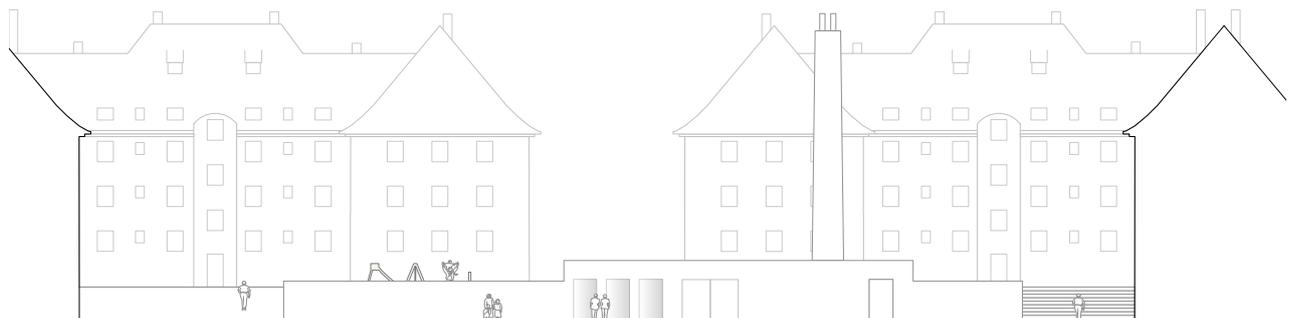
Haas, Bärbel

Götz, Melanie

Es ist ein Anliegen, im selben Vorgehen mit der Errichtung einer Energiezentrale die Parkplatzsituation auf den Straßen zu entlasten und die Tristesse der Innenhöfe abzuwenden. Durch die zentrale Lage der Zentrale entsteht eine Zonierung des Innenhofes: zum einen eine niedriger gelegene Parkierungszone mit Fahrradstellplätzen, zum anderen ein höher gelegener Gartenbereich mit Beeten, Grill- und Spielplatz. An der Nahtstelle befindet sich eine Funktionszone mit dem Kraftwerk, einem Müllraum, nach unten orientierten Parkplätzen und oben orientier-



ten Sitzmöglichkeiten. Drei Fenster öffnen sich hin zum Platz und laden die Anwohner ein, im Vorbeigehen einen Blick auf den Füllstand der Brennstoffe zu werfen. Somit wird ein besserer Bezug zu der doch noch fremden Energieerzeugung gewonnen. Durch die zahlreichen neuen Nutzungen wird eine Wiederbelebung des Hofes durch alle Altersstufen erreicht. Auf dem Weg von den Parkplätzen kommen die Bewohner an den Aktionsflächen vorbei und es gibt keine verlassenen Eckbereiche mehr. Das Dach ist extensiv begrünt. Die Konstruktion des Kamins wird bis auf den Erdboden heruntergezogen und fundamentiert.

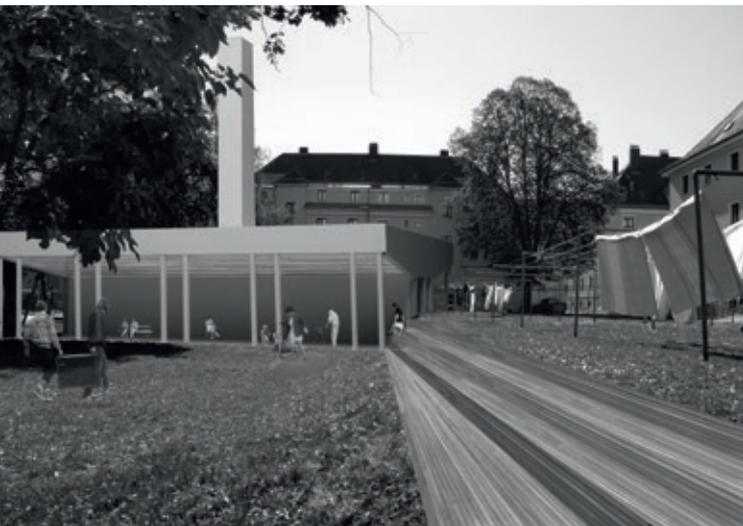
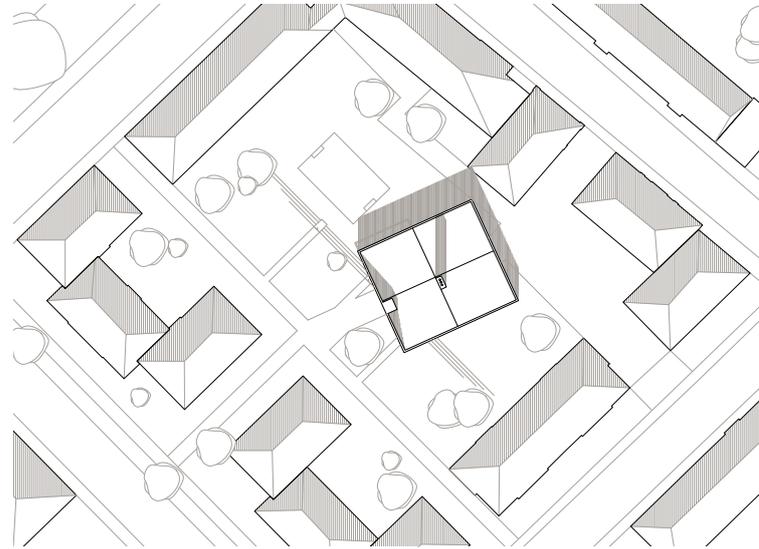


### Variante 3

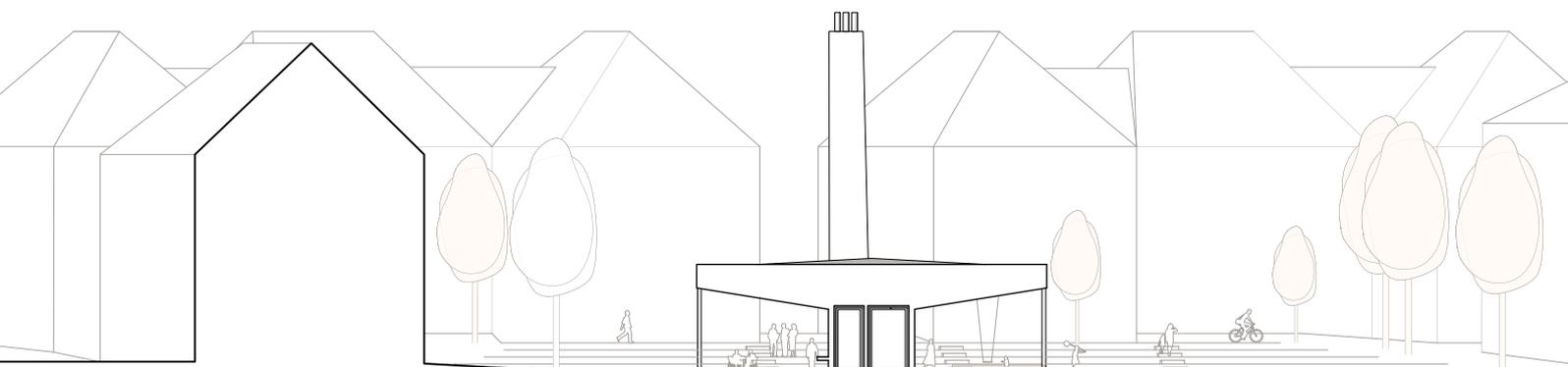
#### Aumeier, Sebastian

Dem Entwurf liegen zwei Ideen zugrunde. Erstens die Absicht, mithilfe des Körpers und dessen Anordnung innerhalb des Hofes jenen in mehrere Bereiche zu unterteilen. Ziel dieses Eingriffs ist es, den extrem großen Innenhof auf ein dem gemeinschaftlichen Empfinden eher zuträgliches Maß herunterzubringen. Die zweite Idee sieht vor, alle Räume entsprechend ihren Funktionen so anzuordnen, dass sie einerseits einen optimalen Prozessablauf gewährleisten und andererseits Außenräume schaffen, die von der Gemeinschaft genutzt werden können.

Der Entwurf sieht einen länglichen Körper vor, dessen Inneres für die Installation der Anlagentechnik vorgesehen ist. Das Dach ist hierbei von besonderer Bedeutung. Der Initiator dieses Konzeptes hat die Dachkonstruktion zur Lagerung des benötigten



Brennstoffes vorgesehen. Konkreter Anlass dazu war die Schaffung eines Lagerraumes für Biomasse. Durch die spezielle Form und Auskrugung des Dachs ergeben sich zwei überdachte Außenräume: einer für den Gemeinschaftsbereich im Südosten und einer für den Kinderbereich im Nordwesten. Somit wird die Interaktion zwischen den Blockbewohnern nicht nur durch die Lage des Blockheizkraftwerks, sondern auch durch dessen Form gefördert.



# 3. Einsatz eines Nahwärmenetzes

Gegenstand dieses Kapitels ist es dem Leser im ersten Teil einen anschaulichen und kompakten Einblick in das Themengebiet Nahwärme zu ermöglichen und diesen am Beispiel Plato-Wild-Ensemble zu konkretisieren.

Im Allgemeinen bezeichnet Nahwärme eine leitungsgebundene Wärmeversorgung auf eher kleinräumiger Ebene mit geringerer Transportentfernung (als Orientierungsmarke kann hier die Entfernung von etwa 1 km dienen).

Auf den ersten Blick mag die Versorgung durch ein Nahwärmenetz aufgrund der Verluste durch die bei einer zentralen Wärmeerzeugung notwendigen Verteilungsnetze unvorteilhaft erscheinen.

Jedoch eröffnen sich bei der großtechnischen Wärmeerzeugung zur Speisung eines Wärmenetzes verschiedene Optionen, welche die Verteilungsverluste relativieren. Einerseits sind manche Wärmequellen im Kontext einer individuellen Heizungsanlage nicht wirtschaftlich nutzbar, andererseits erlaubt der Einsatz größerer Anlagen die effiziente Nutzung beispielsweise von aufwendigen Abgas-Filteranlagen, die bei der Verbrennung von Energieträgern, wie Holzhackschnitzeln oder -pellets, den Schadstoffausstoß und insbesondere die Feinstaubbelastung deutlich reduzieren.

Auch das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung, ob mittels gasmotorisch betriebener Generatoren, Gasturbinen, Dampfturbinen oder Hochtemperatur-Brennstoffzellen, lässt sich in einem Zusammenschluss mehrerer Verbraucher zu einem Nahwärmenetz effizienter und wirtschaftlicher nutzen. Während sie in kleinem Maßstab aufgrund der zu geringen Auslastung, des geringeren Wirkungsgrades von Kleinanlagen, kostenintensiver Wartung und des erforderlichen Investitionsvolumens meist nicht rentabel einsetzbar sind, ermöglicht die

Vernetzung der Abnehmer erst gleichmäßigere Wärmebedarfe, eine rentable Auslastung und damit den Einsatz dieser zukunftsweisenden Technik.

## 3.1 Grundlagen der Wärmeverteilung

### 3.1.1 Wärmeträgermedium

Als Wärmeträgermedium in Nahwärmenetzen findet primär Wasser mit Temperaturen von meist maximal 100 °C, selten auch darüber; Anwendung. Wobei hier „[...] ab Netzvorlauftemperaturen von 120 °C [Sicherheitseinrichtungen] notwendig werden, [...] bei der Trinkwassererwärmung schon ab Heizmitteltemperaturen von 100 °C typgeprüfte Temperaturregler [...] und ab 110 °C Sicherheitstemperaturbegrenzer installiert werden müssen“.<sup>21</sup>

### 3.1.2 Netzaufbau

Prinzipiell lassen sich Wärmenetze nach der Anzahl der Rohrleitungen klassifizieren:

- Ein-Leiter-System: in Deutschland ungebräuchlich, in Dampfnetzen genutzt
- Zwei-Leiter-System: am weitesten verbreitet, kostengünstig, je eine Leitung für Vor- und Rücklauf
- Drei-Leiter-System: enthält eine zusätzliche Lei-

<sup>21</sup> Dötsch, Christian; Taschenberger, Jan; Schönberg, Ingo (1998): Leitfaden Nahwärme. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag (UMSICHT-Schriftenreihe/Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, UMSICHT, Bd. 6), S. 59–60.

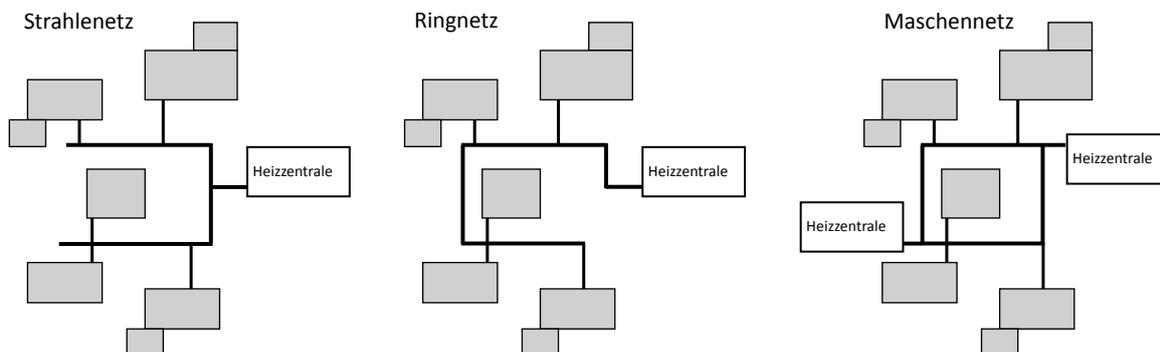


Abb. 198 Topologien der Hauptverteilung  
Quelle: Dötsch, Christian; Taschenberger, Jan; Schönberg, Ingo (1998): Leitfaden Nahwärme. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag

tung für einen zweiten Vorlauf mit abweichender Temperatur

- Vier-Leiter-System: dient zur Einbindung dezentraler Thermosolaranlagen in das Wärmenetz

### 3.1.3 Hauptverteilung

Bei der Hauptverteilung existieren in Abhängigkeit von den Anforderungen und der Größe des Netzwerkes unterschiedliche Ausführungsarten der Netzstruktur. Jede dieser Ausführungsarten (Abb. 198) weist jeweils spezifische Vor- und Nachteile auf. Das Strahlennetz, welches sich besonders für kleine Netze eignet, stellt die am einfachsten umzusetzende und damit kostengünstigste Variante dar, da hier die Trassenlänge am geringsten ausfällt. Das Fehlen redundanter Leitungen wirkt sich aber nachteilig auf die Versorgungssicherheit aus. Ringnetze hingegen bieten eine gute Versorgungssicherheit und Erweiterbarkeit.<sup>22</sup> Sie ermöglichen auch die Einspeisung von mehreren Wärmeerzeugern an unterschiedlichen Standorten, sind jedoch durch die größeren Leitungslängen und Nenndurchmesser der Rohre teurer. „Maschennetze, die optimale Versorgungssicherheit und bessere Erweiterungsmöglichkeiten bieten, werden wegen hoher Investitionskosten nur für große Wärmeverteilungsnetze eingesetzt.“<sup>23</sup>

### 3.1.4 Unterverteilung

Der Anschluss an die einzelnen Verbraucher erfolgt häufig nach der Standard-Trassenführung, welche über öffentliche Wege jedes Gebäude separat anschließt und

22 C.A.R.M.E.N.: Merkblatt Nahwärmenetze und Bioenergieanlagen, S. 2.

23 Dötsch, Christian; Taschenberger, Jan; Schönberg, Ingo (1998): Leitfaden Nahwärme. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag (UMSICHT-Schriftenreihe/Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, UMSICHT, Bd. 6), S. 37.

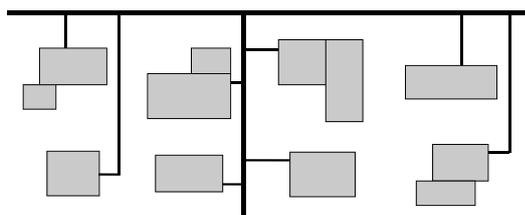


Abb. 199 Standard-Trassenführung  
Quelle: Dötsch, Christian; Taschenberger, Jan; Schönberg, Ingo (1998): Leitfaden Nahwärme. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag.

## 236 Versorgungskonzepte

## Rohrmaterialien

Grundsätzlich bestehen Nahwärmeleitungen immer aus einem inneren Rohr, das vom Wärmeübertragungsmedium durchströmt wird, einer Isolationsschicht, die Wärmeverluste begrenzt, und einer widerstandsfähigen Schutzschicht, welche die Isolierung vor mechanischen Einflüssen schützt.<sup>1</sup> Folgende Rohrmaterialien werden am häufigsten eingesetzt:

Bei **Kunststoffverbundmantelrohren mit Stahlmedium (KMR)** besteht die innere Schicht aus Stahl, welche mit PU-Schaum gedämmt und mit einem Kunststoffrohr geschützt wird.<sup>2</sup> **Flexible Kunststoffmediumrohren (PMR)** dagegen besitzen ein inneres Rohr aus vernetztem Polyethylen oder Polybuten. Das Mediumrohr bei **flexiblen Metallmediumrohren (MMR)** besteht aus Kupfer, Weichstahl oder einem Edelstahlwellrohr. Bei beiden Letztgenannten können ebenso PU-Schaum oder PUR-Segmente als Isolierung eingesetzt werden. Auch die Ummantelung gestaltet sich flexibel, wobei Polyethylene und Stahlwellrohre mit Korrosionsschutz am weitesten verbreitet sind.<sup>3,4</sup>

Eigenschaften	KMR	PMR	MMR
Betriebs-sicherheit	-	0	+
Dauerhaftigkeit	-	0	+
Druckbe-ständigkeit	0	-	+
Erweiterbarkeit	+	0	-
Flexibilität	-	+	0
Materialpreis	+	0	-
Temperatur-beständigkeit	0	-	+
Verlegekosten	-	0	+

Tab. 35 Eigenschaften der Rohrmaterialien<sup>4</sup>

1 C.A.R.M.E.N.: Merkblatt Nahwärmenetze und Bioenergieanlagen.

2 Ders.

3 May, Thomas: Flexible Rohrleitungssysteme, [http://www.fitr.de/site/rohrbau\\_kongress/rohrbau\\_PDFs/III11\\_May\\_00.pdf](http://www.fitr.de/site/rohrbau_kongress/rohrbau_PDFs/III11_May_00.pdf).

4 Dötsch, Christian; Taschenberger, Jan; Schönberg, Ingo (1998): Leitfaden Nahwärme. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag (UMSICHT-Schriftenreihe / Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, UMSICHT, Bd. 6), S. 39–42.

weitere Abnehmer problemlos einbinden kann, bei dichter Bebauung jedoch aufgrund der vielen Abzweige und Formstücke zu hohen Investitionskosten führt. Eine weitere Möglichkeit des Hausanschlusses an das Wärmenetz bietet sich in Form der „Haus-zu-Haus“-Verteilung, bei der mehrere Gebäude zu einer Gruppe zusammengefasst werden, nur eines davon an die Hauptleitung angeschlossen wird und die weiteren Häuser mittels Leitungen zwischen den Gebäuden versorgt werden. Hierbei sind weniger Abzweige von der Verteilungsleitung als bei der „Standard-Trassenführung“ notwendig, da die Leitungsführung aber auf Privatgrund erfolgt, ist dafür eine Genehmigung erforderlich. Bei geschlossenen Bebauungsstrukturen können die Haus-zu-Haus-Verbindungen als sogenannte Kellerverlegung in Form isolierter Heizungsrohre direkt durch die Keller der Gebäude geführt werden, wodurch sich der Verlegeaufwand deutlich reduzieren lässt.

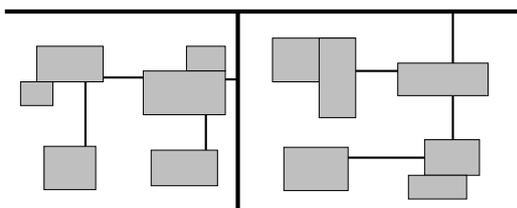


Abb. 200 Haus-zu-Haus-Trassenführung  
Quelle: Dötsch, Christian; Taschenberger, Jan; Schönberg, Ingo (1998): Leitfaden Nahwärme. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag

„Eine seltener angewandte Trassenführung ist die ‚Einschleif-Trassenführung‘, die [...] alle Gebäude mittels der ‚Haus-zu-Haus-Trassenführung‘ (zumeist über Privatgrundstücke) erschließt.“ Aufgrund der fehlenden Erweiterbarkeit „[...] ist die Einschleifmethode nur bei kleinen, geschlossenen Nahwärmenetzen mit flexiblen Rohrsystemen vorteilhaft.“<sup>24</sup>

### Beispiel: Anwendungsszenario Plato-Wild-Ensemble

Im Zuge der Modernisierung des Plato-Wild-Ensembles bietet sich die Gelegenheit zum Aufbau einer zentralen, auf regenerativen Energiequellen basierenden, Wärmeversorgung. Das Ensemble erfüllt alle Anforderungen zum sinnvollen Einsatz eines Nahwärmenetzes. Die nötige Dichte an Wohnraum und damit ein ganzjährig hoher Wärmebedarf sind ebenso gegeben wie ausreichend Platz für die Rohrleitungen und die notwendige Energiezentrale.<sup>25</sup>

<sup>24</sup> Dötsch, Christian; Taschenberger, Jan; Schönberg, Ingo (1998): Leitfaden Nahwärme. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag (UMSICHT-Schriftenreihe/Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, UMSICHT, Bd. 6), S. 38.

<sup>25</sup> C.A.R.M.E.N.: Merkblatt Nahwärmenetze und Bioenergieanlagen, S. 5.

Im Folgenden sollen einerseits die für die Entscheidung über geeignete Systemarten oder der Bemessung des Nahwärmenetzes relevanten Parameter aufgezeigt und andererseits die angedachten Lösungsansätze für die Wärmeverteilung innerhalb des Plato-Wild-Ensembles, welche durch Studienarbeiten an der OTH Regensburg mitentwickelt wurden, dargestellt werden.

#### ■ Wärmebedarf

Als Bemessungsgrundlage für die Auslegung des Nahwärmenetzes dienen die Wärmebedarfs- und Heizlastberechnungen für den sanierten Zustand des Ensembles. Die geplanten Sanierungsmaßnahmen bestehen unter anderem aus der Anbringung einer Calciumsilikat-Innen-dämmung mit 8 cm Stärke, der Dämmung der obersten Geschossdecke mit 10 cm dicken Styrodur-Dämmplatten, dem Austausch der Fenster durch Fenster mit 3-fach-Verglasung und der Neukonzeptionierung der Energiebereitstellung und -versorgung. Daraus ergibt sich für den sanierten Zustand der Gebäude eine flächenbezogene Heizlast von  $66,5 \text{ W/m}^2$ , welche von einem zentralen Wärmeerzeuger mit einer Leistung von 730 kW bereitgestellt werden soll.

#### ■ Leitungsführung und Verlegung des Rohrnetzes

Die Netzstruktur und damit verbundene Leitungsführung zur Erschließung des ersten und zweiten Baublocks des Ensembles orientiert sich an der Anordnung der einzelnen Gebäude. Hierbei ist es besonders vorteilhaft, längere Rohrstrecken durch die Keller der aneinander grenzenden Gebäude zu führen und somit die Tiefbauarbeiten zur Leitungsverlegung im Freien möglichst gering zu halten.

Die Ausführung des Wärmenetzes erfolgt als Zwei-Leiter-Strahlennetz mit Wasser als Wärmeträger in kombinierter „Haus-zu-Haus“- und Kellerverlegung (Abb. 201). Eine redundante Verlegung der Leitungen, wie z. B. beim Ringnetz, erscheint aufgrund der geringen Länge des gesamten Netzes in Relation zur hohen Zuverlässigkeit moderner Wärmenetze nicht sinnvoll. Gegebenenfalls kann eine Schließung des Netzes zur Erhöhung der Versorgungssicherheit bei überschaubarem Zusatzaufwand durch weitere Verbindungsleitungen zwischen den Gebäuden erfolgen (Abb. 202).

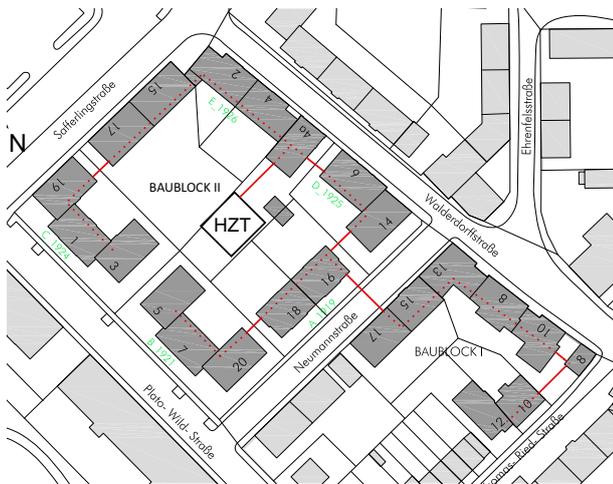


Abb. 201 Leitungsführung A

Es kann infolge des überschaubaren Netzes, der überwiegend innerhalb der Gebäude verlaufenden Leitungen und der guten Lokalisierbarkeit etwaiger Schäden im Bereich der erdverlegten Leitungen mithilfe einer Wärmebildkamera ein einfaches Leckage-Überwachungssystem ohne Leckageortungsfunktion zum Einsatz kommen.

Falls eine Nutzung der Dachflächen zur thermosolaren Wärmeengewinnung gewünscht wird, kann das Netz auch als Vier-Leiter-System ausgeführt werden. Dies ermöglicht die Speisung eines zentralen Langzeitpufferspeichers und sofern notwendig eine Nachheizung in der Heizzentrale.

Bei der Wahl des Rohrsystems sind hier – zugunsten des niedrigeren Materialpreises, der damit günstiger realisierbaren großen Rohrdurchmesser, der höheren Temperaturbeständigkeit und der besseren Dauerhaftigkeit – starre Kunststoffverbundmantelrohre mit Stahlmedium (KMR) den flexiblen Kunststoffmediumrohren (PMR) vorzuziehen. Eine Verlegung der Leitungen von der Rolle, welche bei KMR nicht möglich ist, stellt in diesem Anwendungsfall aufgrund der ausschließlich gerade verlaufenden Rohrstrrecken in gut zu erschließendem Gelände, die zudem nur einen Anteil von weniger als 20 % des Netzwerks ausmachen, keinen relevanten Vorteil dar.

Innerhalb der Gebäude wird die Leitungsführung in Kellerverlegung kostengünstig mittels isolierter Stahlrohre, welche üblicherweise im Heizungsbau Verwendung finden, realisiert.

Die Verlegung der Teilstrecken im Freien erfolgt überwiegend als Grabenverlegung, bei der Vor- und Rücklauf nebeneinander geführt werden. Eine Ausnahme stellt die Unterquerung der

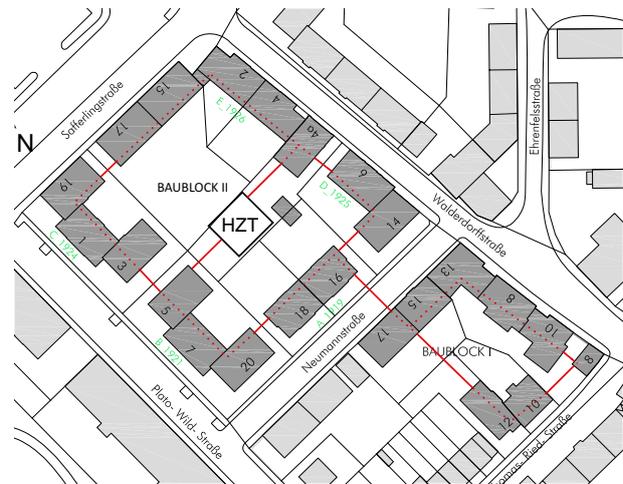


Abb. 202 Leitungsführung B

Neumannstraße dar, über welche Baublock I mit Baublock II verbunden wird.

#### ■ Betriebstemperaturen

Um in der Heizzentrale auch Niedertemperaturtechniken, wie z.B. Brennwerttechnik oder Solarthermie, nutzen zu können, ist eine ausreichend niedrige Rücklaufemperatur anzustreben. Zur Reduktion der Transmissionswärmeverluste und Erhöhung des Wirkungsgrades eingesetzter Wärmepumpen sollte auch die Vorlaufemperatur nicht zu hoch sein.

Als günstig für die Auslegung des Wärmenetzes im Fall des Plato-Wild-Ensembles erscheint eine Temperaturpaarung von 80 °C/50 °C, womit ein guter Kompromiss zwischen Rohrquerschnitt und Wärmeverlust geschlossen wird. Eine Auslegung der Heizflächen<sup>26</sup> hat gezeigt, dass auch bei niedrigen Systemtemperaturen von 65 °C/45 °C konventionelle Flachheizkörper in Fensterbreite den Anforderungen der Heizlastberechnung gemäß DIN EN 12831 genügen.

#### ■ Dimensionierung der Rohrdurchmesser

Hinsichtlich der Auswahl der Rohrquerschnitte stand die Verringerung der Pumpenleistung im Vordergrund. Es wurde daher bei einer signifikanten Überschreitung des relativen Druckverlustes von 100 Pa/m der nächstgrößere Nenndurchmesser gewählt. Insbesondere bei der Verwendung von starren Rohrsystemen wie KMR und Heizungsrohren ist der dadurch höhere Materialkostenaufwand gering. So besitzt

26 Manz, Christian; Manz, Katja; Zierer, Corinna (2013): Studienarbeit Heizungstechnik. OTH Regensburg. Regensburg.

das Netz bei moderater Druckerhöhung ausreichend Reserven, sofern eine kleinere Temperaturspreizung oder höhere Anschlussleistungen erforderlich sind.

#### ■ Hausübergabe und Warmwasserbereitung

Für die Versorgung der einzelnen Gebäude empfiehlt sich eine im Keller des jeweiligen Gebäudes installierte Hauszentrale, welche mittels einer Hausübergabestation an das Wärmenetz angebunden ist und alle dem Gebäude zugehörigen Wohneinheiten versorgt.

Im Vergleich zu den auf Wohnungsebene anwendbaren Kompakt-Hausstationen können durch die zentrale Installation Kosten eingespart werden. Die gegebenenfalls erforderliche Nachrüstung von Heizungsverteilungsrohren in den Gebäuden, in denen bislang in den Wohneinheiten Gasthermen angebracht sind, wird durch die Kostensparnis einer zentralen Hausstation im Vergleich zu der Installation einer Station je Wohnung mehr als aufgewogen. Einerseits sind mehrere kleine Übergabestationen wesentlich kostenintensiver als eine gemeinsame leistungsfähigere Hausstation.<sup>27</sup> Andererseits muss bei Anwendung von Kompaktstationen mit Durchlauferhitzerprinzip die Leistungsfähigkeit und damit Dimensionierung des Netzes wesentlich höher ausfallen.

Um eine bessere Lastabdeckung der Trinkwassererwärmung (TWE) in Spitzenbedarfszeiten bei zugleich möglichst geringen, gleichmäßigen Hausanschlussleistungen zu erzielen, sodass die im Verteilungsnetz benötigten Rohrquerschnitte minimiert werden, fällt die Wahl auf ein speicherbasiertes Brauchwassersystem. Bereits zur Versorgung von zwei gleichzeitig duschenden Bewohnern wäre sonst eine Leistung von mehr als 40 kW zur simultanen Wassererwärmung erforderlich (10 °C auf 40 °C bei 2x 10 l/min). Somit würde für ein Mehrfamilienhaus mit sechs Wohneinheiten in Zeiten hoher Duschfrequenz sogar eine Leistung von 80 kW zur Durchlauferhitzung möglicherweise nicht ausreichen.

Die Heizkostenabrechnung gegenüber den Mietern kann innerhalb der einzelnen Häuser aus Kostengründen mittels Heizkostenverteilung erfolgen, sodass nur die Bezugsmenge des Hausanschlusses durch einen Wärmemengenzähler erfasst werden muss.

#### ■ Abschließende ökologische und ökonomische Betrachtung

Die Versorgung des gesamten Ensembles mit zentral erzeugter Nahwärme eröffnet in Kombination mit der Nutzung regenerativer Energiequellen aus ökologischer Sicht interessante Optionen. So wird durch die Errichtung der Heizzentrale und den Aufbau des Wärmenetzes, im Gegensatz zur Versorgung mittels dezentraler Gasheizungen, die Verbrennung von Biomasse (z. B. Holzhackschnitzel) oder Kraft-Wärme-Kopplung erst praktikabel.

Das Einsparungspotenzial fossiler Energieträger und die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen rechtfertigen aus dieser Perspektive sicherlich die Investitions- und Unterhaltskosten des Netzes sowie die mit der Verteilung einhergehenden Verluste.

Ob Aufbau und Betrieb einer zentralen Wärmeversorgung unter wirtschaftlichen Aspekten langfristig rentabel realisierbar sind, erfordert eine exakte betriebswirtschaftliche Kalkulation, die sich auf eine detaillierte Fachplanung unter Berücksichtigung präzise definierter Rahmenbedingungen stützt und – bedingt durch die schwer prognostizierbare Entwicklung des Energiemarktes – dennoch mit vielen Unwägbarkeiten behaftet ist.

<sup>27</sup> Dötsch, Christian; Taschenberger, Jan; Schönberg, Ingo (1998): Leitfaden Nahwärme. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag (UMSICHT-Schriftenreihe/Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, UMSICHT, Bd. 6), S. 66–67.

Bezeichnung	Leistung		Länge		DN	Vol.Strom	$\Delta p/m$	$\Delta p, ges$	v
	jew.	kum.	jew.	dav. ext.					
A		733	28	17	100	5,887	50	14,0	0,75
B	29	501	6		80	4,024	75	4,5	0,80
C	31	472	20	7	80	3,791	65	13,0	0,75
D	33	441	16		80	3,542	55	8,8	0,70
E		408	18	10	80	3,277	50	9,0	0,65
F	30	158	8		50	1,269	85	6,8	0,65
G	30	128	14		50	1,028	55	7,7	0,52
H	32	98	21	6	40	0,787	80	16,8	0,63
I	34	66	19		32	0,530	75	14,3	0,66
J	32	32	12		25	0,257	100	12,0	0,52
K	30	232	14		65	1,863	36	5,0	0,56
L	33	202	20		65	1,622	32	6,4	0,49
M	35	169	17		50	1,357	100	17,0	0,69
N	36	134	20		50	1,076	70	14,0	0,55
O	32	98	23	8	40	0,787	80	18,4	0,63
P	34	66	20		32	0,530	75	15,0	0,66
Q	32	32	12		25	0,257	100	12,0	0,52
R	36	250	32	18	65	2,008	40	12,8	0,61
S	34	214	12		65	1,719	30	3,6	0,52
T	40	180	16		50	1,446	115	18,4	0,74
U	34	140	20		50	1,124	75	15,0	0,57
V	38	106	17		40	0,851	100	17,0	0,68
W	8	68	15	6	32	0,546	75	11,3	0,68
X	30	60	23	13	32	0,482	65	15,0	0,60
Y	30	60	12		25	0,241	100	12,0	0,49
<b>Gesamt</b>			435	85					
Anteil davon im Tiefbau			19,50%						

zur Auslegung angestrebter Druckverlust von max. 100 Pa/m

bei Temperaturspreizung von	30	K	mit	$\rho_{Wasser} =$	0,992	kg/l
Vorlauf	80	°C		$c_{Wasser} =$	4184	J / kgK
Rücklauf	50	°C				

Ausschließlich Verluste der geraden Rohrsegmente zur Dimensionierung dargestellt, wobei Druckverluste durch Bögen, Abzweige und Armaturen nicht enthalten sind.

Da die Lage der Hausstationen und die endgültige Position der Energiezentrale noch nicht bekannt sind, muss die Leitungsführung, insbesondere unter Einbeziehung bestehender Strukturen, für eine exakte Planung noch festgelegt werden.

Tab. 36 Rohrsegmente und Dimensionierung (basierend auf Angaben aus Prof. Rechenauer, Christian (2008): Skript Heizungstechnik. OTH Regensburg, und isoplus (Hg.) (2011): Isoplus-Planungshandbuch)

# 4. Einsatz eines Sockelheizungssystems

Sockelheizleisten werden eingesetzt zur Wärmeversorgung von Gebäuden und zählen zu den Flächenheizungen. In der Altbauanierung eröffnen, diese interessante Optionen. Der nachträgliche Einbau von Flächenheizungen (Fußboden- und Wandheizungen) gestaltet sich im Sanierungsfall sehr aufwendig und ist mit erheblichen Kosten verbunden. Die Sockelheizung kann im Bestand ohne größere Umbaumaßnahmen an den Außenwänden installiert werden. Die Anwendung eines Sockelheizungssystems in einem Altbau wurde durch eine Projektarbeit untersucht. Diese Arbeit untersucht die Realisierung eines derartigen Heizungssystems und ob diese die eingeforderte Heizlast bereitstellen kann. Analysen, die eine unterstützende Funktion der Holzbalkenköpfe durch die Sockelheizung belegen, wurden bereits im Kapitel E „Architektonische Modernisierung“ vorgestellt.

## 4.1 Sockelheizleisten

### 4.1.1 Aufbau und Montage

Ein Rohr, häufig aus Kupfer, bildet zusammen mit daran befestigten Lamellen (z. B. aus Aluminium) ein Hezelement, das mit Halterungen an der Wand festgemacht wird. Die Elemente werden je nach erforderlicher Länge miteinander verbunden oder gekürzt und an den Registerenden mit Vor- und Rücklauf verbunden. Dabei ist darauf zu achten, dass die maximale Registerlänge nicht überschritten wird. Eine Abdeckung aus Holz, Metall oder Kunststoff komplettiert den allgemeinen Aufbau. Sie dient nicht nur als Sichtschutz, sondern ist aufgrund des dadurch entstehenden Schachts und der Lüftungsöffnungen maßgeblich an der gewünschten Funktionsweise beteiligt. Teilweise werden auch Systeme mit zwei übereinanderliegenden Registern benötigt, um die benötigte Heizlast abzudecken.

Beim Anschluss der Sockelheizleisten an das bestehende Verrohrungssystem muss unterschieden werden:

- Einrohrsystem

Beim Einrohrsystem sind die Heizflächen in Reihe geschaltet, wobei jeder Heizkörper nacheinander durchflossen wird. Der Rücklauf der einen Heizfläche ist somit der Vorlauf der nächsten (vgl. Abb. 204).

- Zweirohrsystem

Von der Vorlaufleitung zweigen Leitungen zu den einzelnen Heizsystemen ab und versorgen diese mit Wärme. Das abgekühlte Heizungswasser wird anschließend in der Rücklaufleitung wieder gesammelt und zum Wärmeerzeuger zurückgeführt. Die Parallelschaltung der Heizflächen bewirkt, dass bei diesem System jede Sockelheizleiste dieselbe Vorlauftemperatur besitzt (vgl. Abb. 205).

### 4.1.2 Funktionsweise

Auch wenn die Sockelheizleiste Wärme konvektiv an die Luft überträgt, zählt sie in Bezug auf die erbrachte Wärmeabgabe nicht zu den üblichen Konvektorheizungen. Sie kann vielmehr als Wandheizung betrachtet werden, weil sie bei ihrem Betrieb die kalte Außenwand erwärmt, die dann wiederum Wärme in Form von Strahlung an den Raum abgibt.<sup>28</sup> Die kalte Luft am Wandfuß wird durch die Sockelheizung konvektiv erwärmt und steigt an der Wand entlang nach oben. Die Wand wird gleichmäßig erwärmt und fungiert in der Folge als eigentlicher „Heizkörper“, indem sie die Wärme in Form von Strahlung an den Raum abgibt.

Sockelheizungen überzeugen durch:

- Gleichmäßige Temperaturverteilung
- Angenehme Strahlungswärme
- Geringe Mikrostaubbelastung

Sockelheizleisten sind nicht nur zur Schaffung eines angenehmen Raumklimas eine gute Lösung, sondern haben auch hinsichtlich der Gebäudeeigenschaften und des Energieverbrauchs positive Auswirkungen. Durch den Einsatz von Sockelheizleisten kann nach und nach eine Austrocknung der Außenwände erfolgen, was eine Verbesserung des U-Wertes bedeutet und einen deutlichen Einfluss auf den Wärmeverlust eines Gebäudes zur Folge hat.

<sup>28</sup> Pistohl, Wolfram (2007): Heizung, Lüftung, Beleuchtung, Energiesparen. 6., neu bearb. und erw. Aufl. Köln: Werner (Handbuch der Gebäudetechnik: Planungsgrundlagen und Beispiele/von Wolfram Pistohl, Bd. 2).

## 4.2 Anwendung im Altbau

Im Vorfeld einer Altbausanierung muss die Einsatzfähigkeit eines Sockelheizungssystems geprüft werden. Anhand der Heizlast muss für jeden beheizten Raum eine Dimensionierung der Sockelheizung (notwendige Registerlänge) vorgenommen werden. Die Berechnung erfolgt für jeden einzelnen Raum mithilfe der DIN EN 12831. Aus den errechneten Heizlasten kann dann die Heizungsauslegung erfolgen.

### Beispiel: Sockelheizsystem am Beispiel Plato-Wild-Ensemble

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde für das Stadtquartier eine Heizlastberechnung durchgeführt (vgl. Stich, Christina: Heizlastberechnung<sup>29</sup>). Exemplarisch wird der Einsatz einer Sockelheizleiste in der Erdgeschosswohnung der Safferlingstraße 17 ausführlich untersucht.

### Programm zur Systemüberprüfung

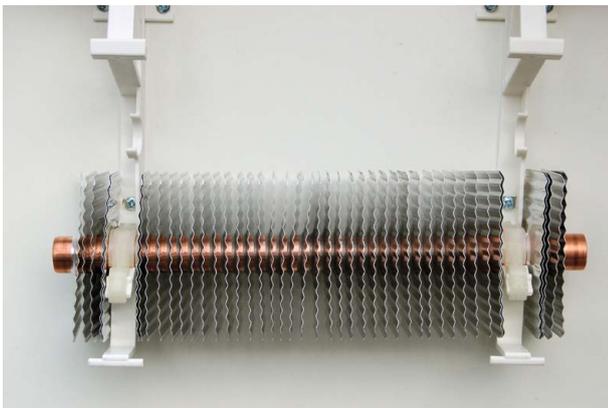


Abb. 203 Beispiel: Sockelheizung (Bild: Graupensperger)

Ein Tool wurde entwickelt, das die Eignung unterschiedlicher Sockelheizsysteme im vorgegebenen Objekt untersuchte. Aus den spezifischen Herstellerangaben und den benötigten Heizlasten der einzelnen Räume kann man die erforderliche Registerlänge der Sockelheizleisten bestimmen. Die Vorlauftemperatur der Heizung und die gewünschte Dämmstärke der Gebäudehülle können als zusätzliche Parameter ausgewählt werden. Ergebnis der Berechnung sind die raumspezifischen Registerlängen der unterschiedlichen Sockelheizsysteme. Die Heizregister sollen ausnahmslos nur an den Außenwänden installiert werden. Für niedrige Vorlauftemperaturen (45 °C) konnten keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt

<sup>29</sup> Stich, Christina (2013): Heizlastberechnung für ein genossenschaftliches Wohnquartier und Auslegung einer solarthermischen Warmwasserversorgung. Bachelorarbeit. Regensburg.

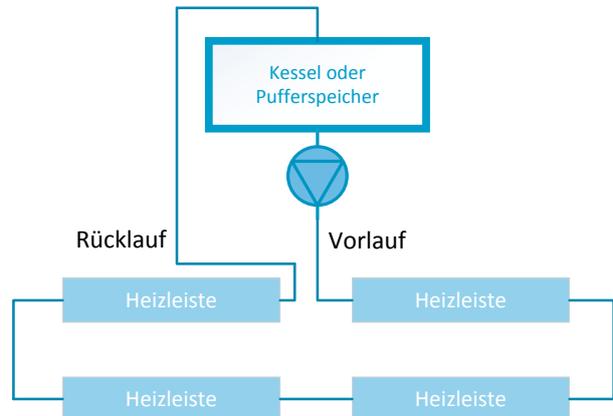


Abb. 204 Aufbau eines Einrohrsystems

werden. Eine ausreichende Wärmeversorgung konnte unabhängig von der verwendeten Dämmung (keine Dämmung/3 cm Dämmputz/8 cm Calciumsilikatplatten) nicht erreicht werden. Auswertungen mit einer Vorlauftemperatur von 60 °C ergaben für mehrere Sockelheizsysteme und unterschiedliche Dämmausführungen eine ausreichende Wärmeversorgung der Räume.

### Minimal erforderliche Vorlauftemperaturen

In einem weiteren Schritt wurden die minimal erforderlichen Vorlauftemperaturen ermittelt. Da für niedrige Vorlauftemperaturen (45 °C) keine ausreichende Wärmeversorgung sichergestellt ist, stellt sich die

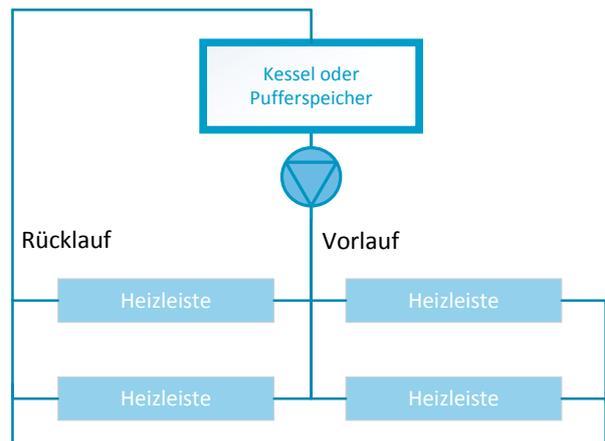


Abb. 205 Aufbau eines Zweirohrsystems

Frage, ab welcher Vorlauftemperatur eine Sockelheizung zuverlässig eingesetzt werden kann. Hier wurde in das Tool eine weitere Berechnung integriert, die für unterschiedliche Sockelheizsysteme bei variierenden Dämmstärken die minimal erforderliche Vorlauftem-

Raum	L <sub>Außenwand</sub> [m]	Heizlasten [W]		
		ohne	3 cm	8 cm
Toilette	1,7	635	525	498
Bad	2,5	1101	945	918
Küche	4,3	1530	1290	1014
Zimmer 1	3,8	1674	1485	1173
Zimmer 2	8,9	2296	1733	1455

Tab. 37 Heizlasten der Safferlingstraße 17

peratur ermittelt. Die 3 cm starke Dämmputz-Variante benötigt für die Sockelheizleiste Variotherm IIIa eine minimale Vorlauftemperatur von 55 °C. Werden 8 cm starke Calciumsilikatplatten verwendet, reicht eine Vorlauftemperatur von 50 °C aus.

### 4.3 Fazit

Sockelheizleisten eignen sich nur für Systeme mit sehr hohen Vorlauftemperaturen (Minimum 50 °C). Das Temperaturniveau einer solarthermischen Anlage zur Heizungsunterstützung reicht nicht aus, um eine zuverlässige Wärmeversorgung durch Sockelheizungen sicherzustellen. Stehen hingegen hohe Vorlauftemperaturen zur Verfügung, ist ein Sockelheizungssystem im Sanierungsfall eine sinnvolle Alternative zu den üblichen Konvektorheizungen. Sockelheizungen tragen zu einem angenehmen Raumklima bei, können jedoch im Gegensatz zu Flächenheizungen im Sanierungsfall ohne größere Maßnahmen nachträglich im Gebäudeobjekt installiert werden. Das Sockelheizungssystem besteht durch eine angenehme Strahlungswärme und eine gleichmäßige Temperaturverteilung im Raum. Hervorzuheben ist auch eine aufgrund der niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten geringe Mikrostaubbelastung. Eine beliebige Raumgestaltung ist nicht möglich, da „beheizte“ Wände frei gehalten werden müssen.

1.	Energiebedarf (EnEV-Nachweis)	246
1.1	Grundlagen	246
1.2	Bestandsdaten	246
1.3	Sanierungsvarianten	248
1.4	Bewertung der Berechnungen	250



Teil H  
Berechnungen für den Nachweis der EnEV

# 1. Energiebedarf (EnEV-Nachweis)

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) als Grundlage des energiesparenden Bauens löste 2002 die Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagenverordnung als einzelne zu betrachtende gesetzliche Vorgaben hinsichtlich der Reduzierung der Wärmeverluste ab. Die Energieeinsparverordnung bezieht die Anlagentechnik in die Bilanzierung mit ein und bewertet den Energiebedarf primärenergetisch hinsichtlich Gewinnung, Umwandlung und Transport. Für den Nachweis der Praxistauglichkeit der Forschungsergebnisse wurde der Energiebedarf nach Energieeinsparverordnung für das Plato-Wild-Ensemble berechnet. Diese Berechnungen mit allen untersuchten Varianten werden im Folgenden dargestellt.

## 1.1 Grundlagen

Die Ergebnisse der Einzelbetrachtungen, wie bauphysikalische Untersuchungen und typologische Werte, werden in die Energiebedarfsberechnung nach der Energieeinsparverordnung eingesetzt. Der öffentlich-rechtliche Nachweis wird nach DIN V 18599 (2009) geführt.

Das Plato-Wild-Ensemble hat den Status der erhaltenswerten Bausubstanz. Dazu wird in der Energieeinsparverordnung Folgendes ausgeführt:

EnEV § 24 Ausnahmen, Abs. 1:

„Soweit bei Baudenkmälern oder sonstiger erhaltenswerter Bausubstanz die Erfüllung der Anforderungen dieser Verordnung die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen oder andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen, kann von den Anforderungen dieser Verordnung abgewichen werden.“<sup>1</sup>

In der EnEV sind demzufolge keine weiteren Einzelvorgaben vorhanden. Die bauphysikalische thermische Bewertung verbleibt beim Energieberater bzw. Bauphysiker. Anders die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW): Bei den technischen Mindestanforderungen der KfW zu den Programmen „Energieeffizient Sanieren“ finden sich sowohl Einzelanforderungen als auch Anforderungen an den Primärenergiebedarf und den Transmissionswärmeverlust ([www.kfw.de](http://www.kfw.de)).

Für den Bauverein bietet sich die Möglichkeit der Förderung über das Programm „Energieeffizient Sanieren – Denkmal“ an.

<sup>1</sup> EnEV § 24 Abs. 1.

## 1.2 Bestandsdaten

Für die Berechnung wurde das Ensemble in einzelne Blöcke unterteilt: A/B/C/D/E.

### 1.2.1 Energetische Qualität der bestehenden Gebäudehülle

Die Bauteile wurden hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit untersucht. Die Ergebnisse finden sich als Bauteilliste in Tab. 38 auf Seite 247. Diese Angaben stellen die Grundlage für die Berechnung der energetischen Qualität der Bauteile dar. Zu beachten ist dabei, dass die Mauerstärken der Gebäude im Erdgeschoss 51 cm und in den darüberliegenden Geschossen 38 cm betragen. Um die Berechnung zu vereinfachen, wurde über alle Geschosse mit 38 cm gerechnet.



Abb. 206 Bezeichnung der Baublöcke

Aus den Materialprüfungen ließen sich die U-Werte des Bestands ableiten. Zur energetischen Einschätzung werden die errechneten U-Werte des Ist-Zustandes mit den U-Werten der verschiedenen energetischen Standards verglichen. Diese Auflistung findet sich in Tab. 39 auf Seite 247.

Im Übrigen gelten für Gebäudeteile ohne Auflagen des Denkmalschutzes bzw. zum Schutz sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz die Anforderungen der EnEV.

Bauteil	Schichtdicke in cm	Material	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ in W/mK
Außenwand	38	Vollstein	0,810
Trennwand DG	24	Vollstein	0,810
Trennwand 1. DG	11,5	Vollziegel	0,810
Decke KG	3	Fichte, Kiefer, Tanne	0,130
	7	Luft ruhend horiz.	0,389
	10	Sand	1,400
	3,5	Beton	1,650
	12	Vollstein	0,810
Decke 2. OG WD:	2	Fichte, Kiefer, Tanne	0,130
	3	Luft ruhend horiz.	0,188
	1,8	Fichte, Kiefer, Tanne	0,130
	10	Schlacke	0,470
	5,2	Luft ruhend horiz.	0,188
	2,5	Fichte, Kiefer, Tanne	0,130
	9	Polystyrolhartschaum	0,035
	1,8	Spanplatte	0,180
Decke 1.OG	2	Fichte, Kiefer, Tanne	0,130
	3	Luft ruhend horiz.	0,188
	1,8	Fichte, Kiefer, Tanne	0,130
	10	Schlacke	0,470
	5,2	Luft ruhend horiz.	0,188
	2,5	Fichte, Kiefer, Tanne	0,130
Fenster		U=2,5 W/m <sup>2</sup> K	
Außentür		U=2,0 W/m <sup>2</sup> K	
Innentür		U=1,8 W/m <sup>2</sup> K	

Tab. 38 Bauteilliste Bestand

Bauteil	U-Wert Ist-Zustand in W/m <sup>2</sup> K	U-Wert EnEV- Sanierung in W/m <sup>2</sup> K	U-Wert KfW- Förderung Denkmal in W/m <sup>2</sup> K	Effizienz- haus Denkmal
Außendämmung von Wänden	1,47	0,20	0,45	
Innendämmung bei Fachwerkaußenwänden sowie Erneuerung der Ausfachung		0,20	0,80	
Oberste Geschossdecke zu nicht ausgebauten Dachräumen / gedämmt	0,71 / 0,24	0,24	0,14	
Kellerdecken, Decken zu unbeheizten Räumen	1,01	0,30	0,25	
Austausch von Fenstern	2,50	1,30	1,40	
Hauseingangstüren	2,00	1,80	1,30	
Primärenergiebedarf P in % Q P REF	Q			160%
Transmissionswärmeverlust T in % H' T REF	H			175%

Tab. 39 U-Werte der Bauteile je nach Energiestandard

### 1.2.2 Betrachtung der energetischen Hülle mit und ohne Treppenhaus

Da das Plato-Wild-Ensemble über eine verhältnismäßig große Anzahl an Treppenhäusern verfügt wurde auch untersucht, ob es hinsichtlich des Energiebedarfs sinnvoll ist, die Treppenhäuser in die thermische Hülle zu integrieren oder auszuschließen. Die Grundlage für die Berechnungen bildet die DIN V 18599 für den öffentlich-rechtlichen Nachweis.

Um eine Beurteilung des Anteils der Treppenhäuser am Energiebedarf zu ermöglichen, wurden alle Gebäudekomplexe mit beheizten Treppenhäusern und mit unbeheizten Treppenhäusern berechnet.

Das Rechenergebnis zeigt, dass die Wahl, das Treppenhaus in den beheizten Bereich zu legen, die energetisch günstigere Variante ist. Der Energiebedarf bei Berechnung des beheizten Bereiches mit Treppenhaus ist je nach Gebäude um 10 bis 15% niedriger im Vergleich zur Berechnung, in der das Treppenhaus außerhalb der beheizten Hülle liegt.

Block	Nr.	Kubatur	Q'p	H'T
E_1926	1a	7859 m³	251,4	1.178
E_1926	1b	7139 m³	279,6	1.168
D_1925	2a	3650 m³	256,3	1.167
D_1925	2b	3230 m³	323,1	1.293
A_1919	3a	3415 m³	257,8	1.067
A_1919	3b	3084 m³	279,2	1.028
B_1921	4a	5438 m³	265,8	1.172
B_1921	4b	4867 m³	304,3	1.161
C_1924	5a	5532 m³	258,6	1.178
C_1924	5b	4947 m³	302,4	1.166

Tab. 40 Einfluss der Treppenhäuser (a: Treppenhäuser in therm. Hülle; b: Treppenhäuser außerhalb therm. Hülle)

### 1.2.3 Anlagentechnik Bestand

Derzeit sind am Bestandsgebäude folgende technischen Anlagen zur Konditionierung installiert (1.3 „Energieinfrastruktur“):

- Als Wärmeerzeuger kommen dezentral in den Baublöcken Erdgasbrennwertkessel zum Einsatz. Diese übernehmen neben der Beheizung der Räume auch die Warmwasserversorgung.
- Die Frischluftversorgung wird über die Fenster sichergestellt.

## 1.3 Sanierungsvarianten

Ziel des Variantenvergleichs ist es, die sinnvollsten und effektivsten Maßnahmen ermitteln zu können. In einem ersten Schritt sollen verschiedene Maßnahmen an der Gebäudehülle hinsichtlich der Transmissionswärmeverluste verglichen werden. Anschließend soll auch die eingesetzte Anlagentechnik variiert werden, um so den Endenergiebedarf weiter reduzieren zu können. Wie bereits in Abschnitt 1.2.2 beschrieben, sind die Treppenhäuser bei den Berechnungen in die thermische Hülle integriert. Mithilfe der Tab. 42 auf Seite 249 kann vorab ein erster Überblick über die untersuchten Varianten gewonnen werden. In den darauffolgenden Abschnitten werden die einzelnen berechneten Varianten detaillierter vorgestellt.

### 1.3.1 Sanierungsvarianten Gebäudehülle

Um einen sensiblen Umgang mit der Bausubstanz zu gewährleisten, werden folgende Dämmmaßnahmen als sinnvoll erachtet und berechnet:

- Dämmung Kellerdecke und Geschossdecke
- Dämmung der Kellerdecke und der Geschossdecke + Innendämmung der Außenwände mit Calciumsilikatplatten
- Dämmung der Kellerdecke und der Geschossdecke + Innendämmung der Außenwände mit Calciumsilikatplatten + Erneuerung der Fenster

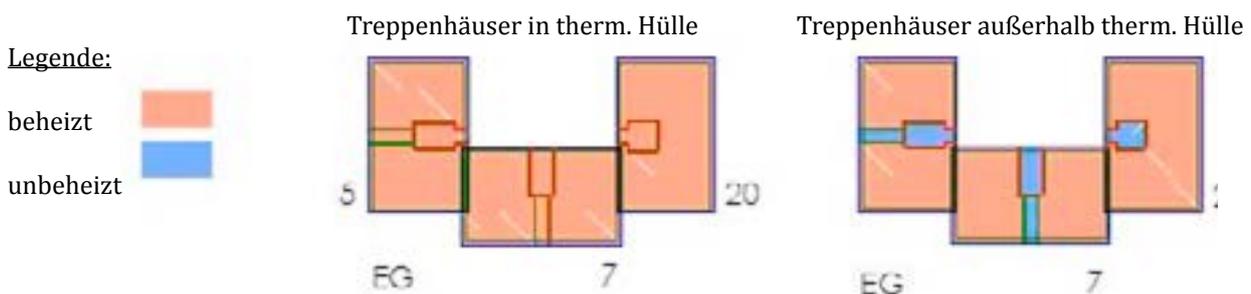


Abb. 207 Varianten Treppenhäuser

Variante	Kellerdecke	Geschossdecke	Innendämmung 8cm	Innendämmung 3cm	Fensteraustausch	Bestandstechnik	Abluftanlage	Pelletkessel + Solarthermie	Nahwärmenetz
V0						x			
V1	x	x				x			
V2	x	x	x			x			
V3	x	x	x		x	x			
V4	x	x		x	x	x			
V3a	x	x	x		x		x		
V3b	x	x	x		x		x	x	
V3c	x	x	x		x		x		x
V4a	x	x		x	x		x		x

Tab. 41 Überblick über die Varianten

Tab. 42 listet die Dämmstärken und Wärmeleitfähigkeiten auf, die für die Berechnungen zugrunde gelegt wurden (für Fenster wird der angesetzte Uw-Wert und der Gesamtdurchlassgrad g angegeben).

Dämmung der Kellerdecke	190 mm	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Dämmung der Geschossdecke	160 mm	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Innendämmung Calcium-silikat	80 mm	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Innendämmung Calcium-silikat	30 mm	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Erneuerung der Fenster	$U_w=0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	$g = 0,53$

Tab. 42 Dämmstärken

Die im weiteren Verlauf dargestellten Grafiken stellen die spezifischen Transmissionswärmeverluste der jeweiligen Varianten und den EnEV-Zielwert für die einzelnen Ensembleblöcke gegenüber. Es lässt sich erkennen, dass Variante 3 die größten Einsparpotenziale ermöglicht und somit die Umsetzung aller vorgeschlagenen Dämmmaßnahmen sinnvoll erscheint.

### 1.3.2 Sanierungsvarianten Anlagentechnik

Im vorangegangenen Abschnitt wurde ermittelt, dass die Ertüchtigung der Gebäudehülle am besten nach Variante 3 geschehen sollte. Daher wird für diese

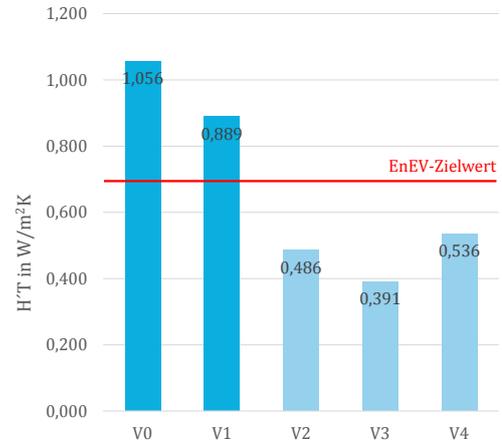


Abb. 208 spez. Transmissionswärmeverlust A\_1919

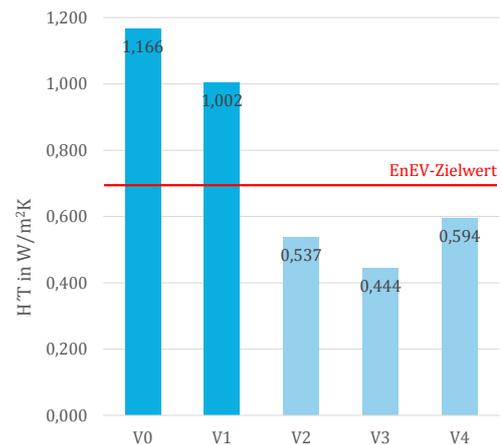


Abb. 209 Spez. Transmissionswärmeverlust B\_1921

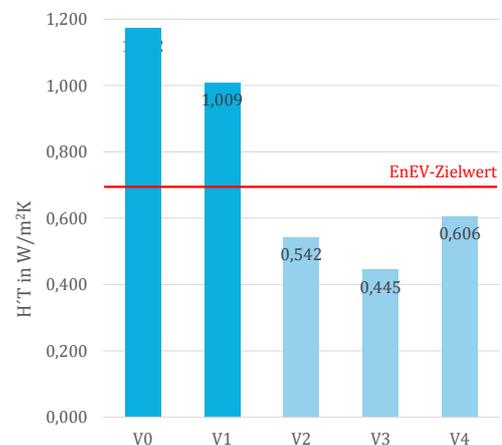


Abb. 210 Spez. Transmissionswärmeverlust C\_1924

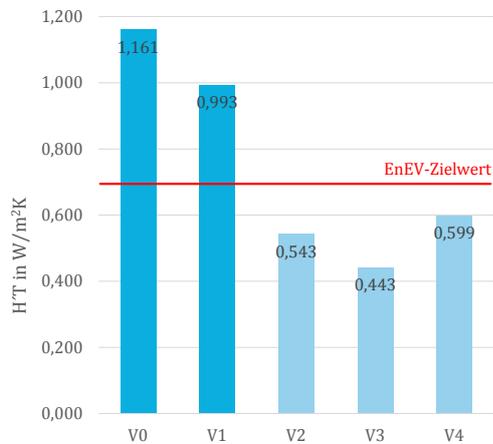


Abb. 211 Spez. Transmissionswärmeverlust D\_1925

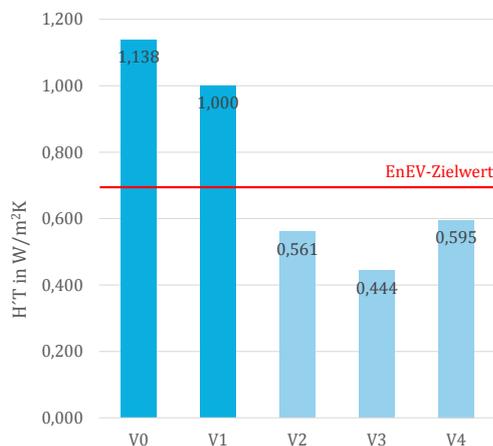


Abb. 212 Spez. Transmissionswärmeverlust E\_1926

Variante die Anlagentechnik variiert. Zusätzlich dazu erscheint es sinnvoll, für Variante 4 den Einsatz eines Nahwärmenetzes zu prüfen, da hier der höhere Transmissionswärmeverlust durch die primärenergetisch günstige Nahwärme ausgeglichen werden könnte.

Folgende technische Anlagen sollen untersucht werden:

- Abluftanlage
- BHKW-Betrieb mit Hackschnitzeln + Spitzenlastkessel Erdgas-Brennwertkessel<sup>2</sup>
- Pelletkessel + Solarthermie für Heizung und Warmwasser

<sup>2</sup> Da der öffentlich-rechtliche Nachweis für diese Variante nicht geführt werden kann und die DIN V 18599 noch keine Abbildung vorsieht, wurden für diese Variante keine Berechnungen durchgeführt.

#### ■ Nahwärme mit Primärenergiefaktor 0,62

Die Balkendiagramme in Abb. 213 ff verdeutlichen die Einsparpotentiale hinsichtlich End- und Primärenergiebedarf für die einzelnen Gebäude-Blöcke. Die Berechnungen zeigen eindeutig, dass die Varianten V3b, V3c und V4a die primärenergetischen Anforderungen der Energieeinsparverordnung erfüllen. Der besonders niedrige Primärenergiebedarf der Variante mit Pelletkessel (V3b) begründet sich in der Tatsache, dass Pellets bzw. deren Ausgangsmaterial Holz einen nachwachsenden Rohstoff darstellen. Aber auch die beiden Varianten, bei denen ein Nahwärmenetz zum Einsatz kommt, unterschreiten den Anforderungswert deutlich.

## 1.4 Bewertung der Berechnungen

### 1.4.1 Transmissionswärmeverlust

Die Ergebnisse der Berechnung der Transmissionswärmeverluste sind im Vergleich der Wohnblöcke ähnlich. Dieses Ergebnis ist auch zu erwarten, da die angesetzten Bauteilaufbauten bzw. die Bauweise für jeden Block gelten.

Interessant ist, dass die Anforderungen der EnEV an den Transmissionswärmeverlust für den Altbau auch mit moderaten Dämmstärken an der Außenwand (hier die Innendämmung) zu erreichen ist. In Bereichen wie Kellerdecke und Geschossdecke, die meist keine Denkmalanforderung besitzen, wird jedoch die mögliche, nach EnEV vorgeschriebene Dämmstärke für Einzelbauteile gefordert. Eine Umsetzung ist in den meisten Fällen, wie auch für das Ensemble Plato-Wild, möglich.

### 1.4.2 End- und Primärenergiebedarf

Der Endenergiebedarf reduziert sich bei den unterschiedlichen Dämmmaßnahmen und führt so zu reduzierten Energiekosten der Mieter. Da dieser Wert alleine noch nicht aussagekräftig ist, sind Wirtschaftlichkeitsberechnungen zwingend nötig. Diese sind dem nachfolgenden Kapitel I Wirtschaftlichkeitsanalyse zu entnehmen. Primärenergetisch sind die untersuchten Varianten Pelletkessel mit Solarthermie und die Nahwärmeversorgung möglich und halten die Vorgaben sowohl der EnEV als auch die Vorgaben der KfW für Denkmäler ein.



Abb. 213 Primärenergiebedarf A\_1919



Abb. 216 Primärenergiebedarf D\_1925

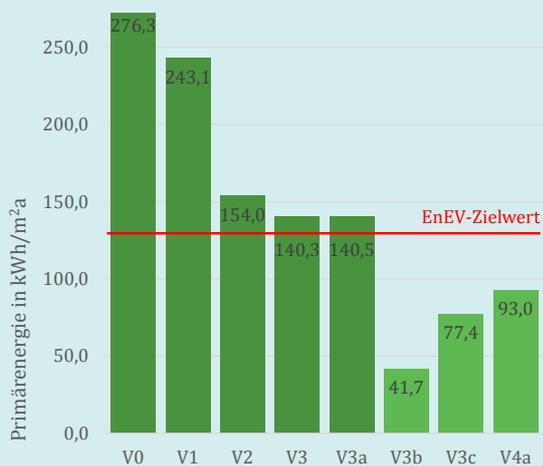


Abb. 214 Primärenergiebedarf B\_1921

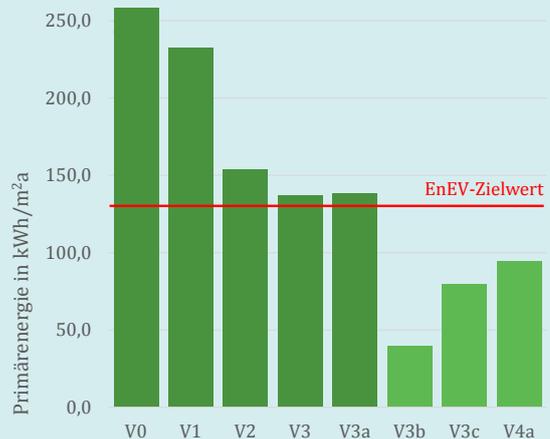


Abb. 217 Primärenergiebedarf E\_1926

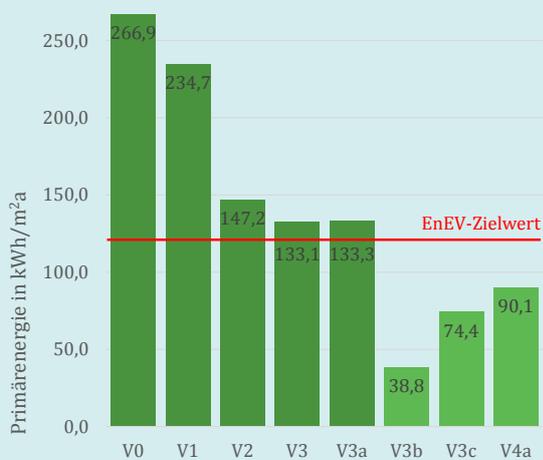


Abb. 215 Primärenergiebedarf C\_1924

Variante	Kellerdecke	Geschossdecke	Innendämmung 8cm	Innendämmung 3cm	Fenster austausch	Bestandstechnik	Abluftanlage	Pelletkessel + Solarthermie	Nahwärmenetz
V0							x		
V1	x	x					x		
V2	x	x	x				x		
V3	x	x	x		x	x			
V4	x	x		x	x	x			
V3a	x	x	x		x		x		
V3b	x	x	x		x		x	x	
V3c	x	x	x		x		x		x
V4a	x	x		x	x		x		x



Abb. 218 Endenergiebedarf A\_1919



Abb. 221 Endenergiebedarf D\_1925



Abb. 219 Endenergiebedarf B\_1921



Abb. 222 Endenergiebedarf E\_1926



Abb. 220 Endenergiebedarf C\_1924

Variante	Kellerdecke	Geschossdecke	Innendämmung 8cm	Innendämmung 3cm	Fenster austausch	Bestandstechnik	Abluftanlage	Pelletkessel + Solarthermie	Nahwärmenetz
V0							x		
V1	x	x					x		
V3	x	x	x		x	x			
V3a	x	x	x		x		x		
V3c	x	x	x		x		x		x
V4a	x	x		x	x		x		x



1.	Ökonomische Bewertung	256
2.	Anwendung der Annuitätenmethode	258
2.1	Annuität der kapitalgebundenen Auszahlungen	259
2.2	Annuität der verbrauchsgebundenen Auszahlungen	259
2.3	Annuität der betriebsgebundenen Auszahlungen	260
2.4	Annuität der sonstigen Auszahlungen	260
2.5	Annuität der Einzahlungen	261
2.6	Gesamtannuität	261
3.	Rentabilität Wärmedämmmaßnahmen	267
3.1	Berechnung Investitionskosten	267
3.2	Vermiedene Wärmemengen	267
3.3	Spezifische Kosten $k_{\text{Spar}}$	267
4.	Allgemeine Fördermaßnahmen	269
4.1	Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW	269
4.2	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)	270
4.3	Energiesteuerrückerstattung	274
4.4	Eigennutzung	275
4.5	Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	276



Teil I  
Wirtschaftlichkeitsanalyse

# 1. Ökonomische Bewertung

Obgleich der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen anderen Bewertungsgrundlagen – Reduktionen im Energieverbrauch und Kohlenstoffdioxid ausstoß, Behaglichkeitssteigerung, Schadensbeseitigung – stellt die Wirtschaftlichkeit einer Sanierungsmaßnahme im aktuellen kapitalistischen Wirtschaftssystem wohl das wichtigste Entscheidungskriterium dar. An dieser Stelle sollen daher einige generelle Aussagen zur ökonomischen Bewertung einer Sanierung Erwähnung finden und anhand des Plato-Wild-Ensembles veranschaulicht werden. Weiterhin ist es Ziel dieses Kapitels, mögliche finanzielle Förderungen für Baumaßnahmen aufzuzeigen und anhand des Mietspiegels zu erläutern, wie der Problematik, dass die Mieter von Sanierungen profitieren, die Investoren diese jedoch finanzieren, begegnet werden kann.

Grundsätzlich ist die Wirtschaftlichkeit ein Maß für die finanzielle Rentabilität eines Projektes oder einer Sanierung. Dabei werden z. B. im Falle einer (energetischen) Sanierung die Energie- und damit Betriebskosteneinsparungen (Nutzen) mit den Investitionskosten (Aufwand) der umgesetzten Maßnahmen ins Verhältnis gesetzt.<sup>1</sup>

Ist eine Maßnahme wirtschaftlich, so werden die zur Anschaffung der Produkte eingesetzten Finanzmittel durch Gewinne oder Einsparungen wieder refinanziert. Im Sprachgebrauch findet daher häufig die Formulierung „die Modernisierung rechnet sich“ Verwendung. Die Zeitspanne bis zur vollständigen Refinanzierung bezeichnet man als Amortisationsdauer.<sup>2</sup>

Als umfassende Bewertungsparameter beeinflussen zahlreiche Faktoren die Wirtschaftlichkeit einer Baumaßnahme. Vordergründig drängen sich die Anschaffungskosten als primärer Einflussfaktor auf, da sie gegenwärtig anfallen und sich durch entsprechende (Ausführungs-)Planungen relativ einfach beeinflussen lassen. Jedoch erweist es sich als sinnvoll, auch die zukünftigen Kosten miteinzubeziehen, da je nach Ausführungsqualität und Nutzung die Betriebskosten im Laufe des Lebenszyklus die Investitionskosten um ein Vielfaches übersteigen können.<sup>3</sup>

Neben dem Betrieb selbst bildet auch die regelmäßige Instandhaltung einen Kostenfaktor. Die entscheidenden

1 Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.) (2011): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Berlin, S. 24.

2 Richarz, Clemens; Schulz, Christina (2011): Energetische Sanierung. Grundlagen, Details, Beispiele. 1. Aufl. München: Institut f. intern. Architektur-Dok. (Ed. Detail Green Books), S. 30.

3 Hegger, Manfred (2008): Energy manual. Sustainable architecture. Basel: Birkhäuser, S. 187.

de Kenngröße ist hierbei die Lebensdauer einzelner Bauteile. Daher können sich vermeintlich günstige Produkte aufgrund geringer Lebensdauer manchmal nicht amortisieren, da sie vor der Refinanzierung ersetzt werden müssen. „Für den wirtschaftlichen Wert eines Gebäudes [ist auch] dessen Gestaltung durchaus nicht bedeutungslos. Ein ansprechend gestaltetes Gebäude wirkt positiv auf Nutzer und Besucher.“<sup>4</sup>

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Baumaßnahme stehen unterschiedliche Berechnungsverfahren zur Verfügung, die jeweils spezifische Vor- und Nachteile aufweisen sowie andere Parameter zugrunde legen und sich in zwei Kategorien einteilen lassen:

- Statische Verfahren, wie die Kostenvergleichsrechnung oder das statische Amortisationsverfahren, bewerten die Wirtschaftlichkeit anhand einfacher Kenngrößen, wodurch der Berechnungsaufwand deutlich reduziert wird.
- Dynamische Verfahren, wie das Kapitalwert- oder Annuitätenverfahren, beziehen dagegen zukünftige Entwicklungen mit ein, sind dadurch jedoch aufwendiger in der Handhabung, liefern aber auch genauere Ergebnisse.<sup>5</sup>

Allen Verfahren gemein ist, dass einige Parameter angenommen werden müssen. Einerseits muss ein realistischer Verzinsungssatz festgelegt und andererseits die zukünftige Energiepreisentwicklung prognostiziert werden. Besonders Letztere kann die Wirtschaftlichkeit einer energetischen Sanierung signifikant beeinflussen.

Auch ermöglichen alle Verfahren, den Planungsprozess durch Variantenvergleiche zu unterstützen und so die Entscheidung für die geeignetste und wirtschaftlichste Ausführungsvariante zu erleichtern.

4 Hochbau des Bundes. Wirtschaftlichkeit bei Baumaßnahmen; Empfehlungen des Präsidenten des Bundesrechnungshofes als Bundesbeauftragter für Wirtschaftlichkeit in der Verwaltung für das wirtschaftliche Planen und Ausführen von Hochbaumaßnahmen des Bundes (2003). 2., überarb. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer (Schriftenreihe des Bundesbeauftragten für Wirtschaftlichkeit in der Verwaltung, Bd. 7).

5 Pfarr, Karlheinz (1984): Grundlagen der Bauwirtschaft. Essen: Deutscher Consulting-Verlag, S. 151–153.

Im Allgemeinen ist eine (energetische) Sanierung oder Modernisierung vor allem dann wirtschaftlich sinnvoll durchführbar, wenn eine Instandhaltung ohnehin fällig wäre.

Durch dieses Kopplungsprinzip reduzieren sich die für die Wirtschaftlichkeitsberechnung ansetzbaren energiebedingten Mehrkosten, da ohnehin anfallende Instandsetzungskosten, z. B. Putzsanierungen, nicht miteinbezogen werden.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Diefenbach, Nikolaus; Eicke-Hennig, Werner; Enseling, Andreas; Hinz, Eberhard (2013): Wirtschaftlichkeit energetischer Gebäudesanierung. Anmerkungen zur aktuellen Diskussion. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt. Darmstadt.

## 2. Anwendung der Annuitätenmethode

Energieversorgungssysteme werden gewöhnlich über einen längeren Betrachtungszeitraum bewertet (15 bis 20 Jahre). Einfache Investitionsbewertungsverfahren (statische Verfahren) berücksichtigen die Kapitalverzinsung nur näherungsweise, die Anwendung eines finanzmathematischen Verfahrens (dynamisches Verfahren) ist daher vorzuziehen.

Zur Bewertung von Investitionen mit langen Laufzeiten wird häufig auf das Annuitätenverfahren gemäß der VDI 2067-1 zurückgegriffen. Ziel der Annuitätenmethode ist es, alle Ein- und Auszahlungen, die mit dem Investitionsobjekt verknüpft sind, gleichmäßig auf die Nutzungsjahre zu verteilen.

Zunächst müssen die unterschiedlichen Kostengruppen ermittelt werden. Die VDI 2067 unterscheidet dabei in kapitalgebundene, verbrauchsgebundene, betriebsgebundene und sonstige Kosten. Investitionen in Anlagen, Ausgaben für Gebäudeobjekte, die der Energieversorgung zugeordnet werden können (z. B. frei stehende Energiezentrale), und Aufwendungen, die für die Instandhaltung bereitgestellt werden, sind den kapitalgebundenen Kosten zuzuordnen. Energiekosten, d. h. Ausgaben für den Brennstoff, müssen den verbrauchsgebundenen Kosten zugeordnet werden. Zu den betriebsgebundenen Kosten werden Ausgaben zur Instandhaltung gezählt. „Unter Instandhaltung fallen die Kosten für Wartung, Inspektion und Schwachstellenbeseitigung.“<sup>7</sup> Sonstige Kosten beinhalten Zahlungen für Versicherungen, noch nicht berücksichtigte Steuerabgaben und Verwaltungskosten.

Die Annuität einer Investition [1] setzt sich zusammen aus der Annuität der Einzahlungen, der kapitalgebundenen Auszahlungen, der verbrauchsgebundenen Auszahlungen, der betriebsgebundenen Auszahlungen und der sonstigen Auszahlungen:

$$AN = AN_E - (AN_K + AN_V + AN_B + AN_S)$$

[1] Annuität in Euro/Jahr

Annuität in Euro/Jahr

$AN$

$AN_E$  Annuität der Einzahlungen

$AN_K$  Annuität der kapitalgebundenen Auszahlungen

$AN_V$  Annuität der verbrauchsgebundenen Auszahlungen

$AN_B$  Annuität der betriebsgebundenen Auszahlungen

$AN_S$  Annuität der sonstigen Auszahlungen

Im Vorfeld einer Investitionsrechnung nach dem Annuitätenverfahren müssen der Betrachtungszeitraum  $T$ , der Preisänderungsfaktor  $r$  und der Zinsfaktor  $q$  festgelegt werden. Der Betrachtungszeitraum  $T$  beschreibt die einzelnen Laufzeiten der einzelnen Energieversorgungsalternativen. Der Preisänderungsfaktor berücksichtigt Preisentwicklungen während der Laufzeit  $T$  und berechnet sich wie folgt:

$$r = 1 + j$$

[2] Preisänderungsfaktor  $r$

„ $j$ “ stellt dabei den prozentualen Änderungssatz dar und beschreibt Preisänderungen bei den laufenden Kosten während des Betrachtungszeitraumes. Der Zinsfaktor setzt sich zusammen aus:

$$q = 1 + i$$

[3] Zinsfaktor  $q$

Die Variable „ $i$ “ stellt hier den Kalkulationszins dar. Der Zinssatz muss vor Durchführung einer Investitionsrechnung individuell vom Investor finanzierungs- oder opportunitätsorientiert festgelegt werden. „Wird eine Finanzierung mit Eigenkapital unterstellt, so bestimmen die Eigenkapitalkosten den Kalkulationszins. Dabei kann man sich an einer anderen Investition mit gleichem Risiko orientieren oder an der in der Vergangenheit erwirtschafteten Durchschnittsrendite. Wird von einer Fremdkapitalfinanzierung ausgegangen, kann der Zinssatz für Fremdkapital herangezogen werden. Dadurch wird vermieden, daß Investitionen durchgeführt werden, deren Verzinsung niedriger ist als der Finanzierungszins. Bei den opportunitätsorientierten Ansätzen wird der Kalkulationszinsfuß aus einem Vergleich mit anderen Anlagemöglichkeiten abgeleitet.“<sup>8</sup> Mithilfe der Gleichung [4] lässt sich der Annuitätsfaktor „ $a$ “ berechnen:

$$a = \frac{(1 + i)^T * i}{(1 + i)^T - 1}$$

[4] Annuitätsfaktor  $a$

<sup>7</sup> Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (September 2012): Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, vom VDI 2067 Blatt 1.

<sup>8</sup> Kirchner, Joachim: Investitionsrechnungen in der Wohnungswirtschaft. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU).

Der preisdynamische Faktor „ $b_x$ “ berechnet sich mithilfe des Preisänderungsfaktors  $r$  und des Zinsfaktors  $q$  nach Gleichung [5]:

$$b_x = \frac{1 - \left(\frac{r_x}{q}\right)^T}{q - r_x}$$

[5] Barwertfaktor  $b_x$

Der Index „ $x$ “ steht dabei für die entsprechenden Kostenarten. Der Annuitätsfaktor und der preisdynamische Barwertfaktor werden für die anstehenden Berechnungen benötigt.

## 2.1 Annuität der kapitalgebundenen Auszahlungen

Kapitalgebundene Ausgaben berücksichtigen die Ausgaben sowohl für Neuinvestitionen als auch für Ersatzinvestitionen, die im Betrachtungszeitraum anfallen. Ferner gehen Aufwendungen für die Instandhaltung in diese Kostengruppe mit ein.

$$AN_K = \left( A_0 + \sum_{k=1}^n A_k - R \right) * a + f_{IN} * A_0 * b_{IN} * a$$

[6] Annuität der kapitalgebundenen Kosten

Dabei ist:

$A_0$	Anfangsinvestitionsbetrag in €
$A_k$	Barwert der $k$ -ten Ersatzbeschaffung in €
$R$	Barwert des Restwertes in €
$f_{IN}$	Faktor Instandsetzung (VDI 2067-1, Anhang 1)
$b_{IN}$	Preisdynamischer Barwertfaktor
$a$	Annuitätsfaktor in $1/a$
$n$	Anzahl der Ersatzbeschaffungen

Der Barwert der Ersatzbeschaffung „ $A_k$ “ berechnet sich nach Gleichung [7]:

$$A_k = A_0 * \frac{r^{k*TN}}{q^{k*TN}}$$

[7] Barwert der  $k$ -ten Ersatzbeschaffung  $A_k$

$TN$  Nutzungsdauer der Anlage

$k$  Erste, zweite, ... ,  $k$ -te Ersatzbeschaffung

Mit der Formel [8] kann der Barwert des Restwertes „ $R$ “ bestimmt werden.

$$R = A_0 * r^{n*TN} \frac{(n+1) * TN - T}{TN} * \frac{1}{q^T}$$

[8] Restwert  $R$

Der Annuitätsfaktor „ $a$ “ und der preisdynamische Barwertfaktor für Instandsetzung „ $b_{IN}$ “ werden entsprechend den Formeln [4] und [5] ermittelt. Für den Fall, dass die Anlagentechnik der unterschiedlichen Varianten die gleiche Laufzeit haben, kann die Berechnung der Annuität der kapitalgebundenen Kosten stark vereinfacht werden. Der Betrachtungszeitraum „ $T$ “ entspricht dann der Lebensdauer „ $TN$ “ der Anlagentechnik. Es müssen während des Betrachtungszeitraumes „ $T$ “ keine Ersatzinvestitionen getätigt werden und Restwerte entfallen.

$$AN_K = A_0 * a + A_0 * b_{IN} * f_{IN}$$

[9] Annuität der kapitalgebundenen Kosten

## 2.2 Annuität der verbrauchsgebundenen Auszahlungen

Die Annuität „ $AN_V$ “ enthält Ausgaben für die Wärme- und Kältebereitstellung und für den Stromverbrauch. Mit der Gleichung können die verbrauchsgebundenen Kosten bestimmt werden.

$$AN_V = A_{V1} + A_{V2} + \dots + A_{Vx}$$

[10] Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten

Annuität der Verbrauchskosten  $x$

$A_{Vx}$

Die unterschiedlichen Verbrauchskosten „ $A_{Vx}$ “ können mit Gleichung ermittelt werden:

$$A_{Vx} = Q_x * p_x * a * b_x$$

[11] Annuität der Verbrauchskosten x

$Q_x$	Energieaufwand in kWh/a
$p_x$	Arbeitspreis in €/kWh
$b_x$	Preisdynamischer Barwertfaktor
$a$	Annuitätsfaktor in 1/a

Zur besseren Veranschaulichung soll die Ermittlung der Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten „ $AN_V$ “ an einem einfachen Beispiel (Tab. 43: Energieversorgung eines Gebäudeobjektes) demonstriert werden. Die verwendeten Daten sind frei gewählt und dienen nur zur Veranschaulichung des Rechenweges.

Zur Ermittlung der verbrauchsgebundenen Kosten zur Wärmebereitstellung muss in einem ersten Schritt der Nutzwärmebedarf des Gebäudeobjektes bestimmt werden. Über den Jahresnutzungsgrad der Anlage kann die benötigte Brennstoffenergie berechnet werden, die, multipliziert mit dem Arbeitspreis

Angaben	Wert	Kosten
Nutzwärmebedarf in kWh / a	10000,0	
Jahresnutzungsgrad Anlage	0,8	
Brennstoffenergie in kWh / a	12500,0	
Brennstoffpreis € / kWh	0,1	
Brennstoffkosten € / a		1250,0
x Preisdynamischer Faktor $b_1$	1,1	
$A_{V1}$		1375,0
Strombedarf in kWh / a	1000,0	
Arbeitspreis Strom in € / kWh	0,2	
Stromkosten in € / a		200,0
x Preisdynamischer Faktor $b_2$	1,2	
$A_{V2}$		240,0
<b><math>AN_V</math> in € / a</b>		<b>1615,0</b>

Tab. 43 Beispiel: Ermittlung der verbrauchsgebundenen Kosten

des eingesetzten Brennstoffs, die jährlichen Brennstoffkosten ergibt. Die Annuität der Verbrauchskosten „ $A_{V1}$ “ ergibt sich durch die Multiplikation der jährlichen Brennstoffkosten mit dem spezifischen Faktor „ $b_1$ “. Der preisdynamische Annuitätsfaktor „ $b_1$ “ beinhaltet bereits die Abzinsung zum Beginn des Be-

trachtungszeitraumes als auch die preisliche Entwicklung des Brennstoffs in diesem Zeitraum. Die Berechnungen der Verbrauchskosten für Strom „ $A_{V2}$ “ werden analog durchgeführt. Werden unterschiedliche Brennstoffe verwendet, müssen die Ausgaben differenziert ermittelt werden.

### 2.3 Annuität der betriebsgebundenen Auszahlungen

„ $AN_B$ “ setzt sich zusammen aus Wartungskosten, anfallenden Leistungskosten und Kosten für anfallende Kontrolluntersuchungen (z. B. Emissionsmessungen).

$$AN_B = (A_0 * f_W + A_B) * b_B * a$$

[12] Annuität der betriebsgebundenen Kosten

$A_0$	Anfangsinvestitionsbetrag in €
$A_B$	Betriebsgebundene Kosten in €
$f_W$	Faktor Wartung (VDI 2067-1, Anhang 1)
$b_B$	Preisdynamischer Barwertfaktor
$a$	Annuitätsfaktor in 1/a

### 2.4 Annuität der sonstigen Auszahlungen

Die Gleichung zur Ermittlung der Annuität der sonstigen Auszahlungen lautet:

$$AN_S = A_S * b_S * a$$

[13] Annuität der sonstigen Kosten

$A_S$	Sonstige Kosten in €
$b_S$	Preisdynamischer Barwertfaktor „Sonstig“
$a$	Annuitätsfaktor in 1/a

## 2.5 Annuität der Einzahlungen

Einzahlungen werden entsprechend den Kosten ermittelt. Erlöse können durch einmalige Zuschüsse, dauerhafte Vergütungen oder den einmaligen Verkauf von Eigentum entstehen.

$$AN_E = E * b * a$$

[14] Annuität der Einzahlungen

Bei Energieversorgungsvarianten, die einen Einsatz eines Blockheizkraftwerks mit fossilen Brennstoffeinsatz vorsehen, sind mögliche Einzahlungen aus dem Stromverkauf, dem Zuschlag durch die Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung, der Energiesteuererstattung und der vermiedenen Netznutzung zu berücksichtigen. Hier ist zu beachten, dass Vergütungen oftmals zeitlich beschränkt sind und nicht bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes ausgezahlt werden. Dies muss im Berechnungsverfahren berücksichtigt werden.

## 2.6 Gesamtannuität

„Die Differenz aus der Annuität der Erlöse und der Summe der kapitalgebundenen, bedarfsgebundenen, betriebsgebundenen und sonstigen Annuitäten der Kosten ist die Gesamtannuität 'AN' aller Kosten einer Anlage.“<sup>9</sup> Durch einen Vergleich der Gesamtannuitäten kann die wirtschaftlichste Variante bestimmt werden. Die Variante mit der geringsten Gesamtannuität verfügt unter den getroffenen Annahmen über die beste Wirtschaftlichkeit. „Das Annuitätenverfahren besitzt eine hohe Anschaulichkeit gerade für energietechnische Anwendungen, da sich die berechnete Annuität als jährlicher Saldo zwischen Einnahmen und Kosten [...] begreifen lässt.“<sup>10</sup> Die Ermittlung von spezifischen Energiepreisen (€/kWh) ist mithilfe der Gesamtannuität und der bereitgestellten Energiemenge möglich.

### Beispiel: Annuitätenverfahren Plato-Wild-Ensemble

Für die Variante B „Blockheizkraftwerk“ wurde anhand des Plato-Wild-Ensembles ein Annuitätenver-

fahren durchgeführt. Zum besseren Vergleich wurden noch weitere Varianten ausgewählt und deren Annuitätskosten berechnet:

#### ■ Ist-Zustand

Dezentrale Wärmeversorgung durch die in Wohnungen installierten Gaskessel

#### ■ Variante 1

Installation eines geeigneten zentralen Erdgaskessels inkl. Aufbau eines Wärmenetzes

#### ■ Variante 2

Einsatz eines Holzpelletofens zur Abdeckung des Wärmeverbrauchs. Aufbau eines Wärmenetzes zur Verteilung der thermischen Energie

#### ■ Variante 3

Anwendung von Biogas in einem dafür geeigneten BHKW (2G-KWK BG Serie) und Einbau eines Erdgaskessels zur Spitzenlastabdeckung. Aufbau eines Wärmenetzes zur Verteilung der thermischen Energie

#### ■ Variante 4

Einsatz eines Hackschnitzelvergasers der Firma Spanner RE<sup>2</sup> mit nachgeschaltetem BHKW und Einbau eines Erdgaskessels zur Spitzenlastabdeckung. Aufbau eines Wärmenetzes zur Verteilung der thermischen Energie

Um die unterschiedlichen Anlagenvarianten miteinander zu vergleichen, wurde die Grenze des ökonomisch betrachteten Systems um die wesentlichen Elemente der Wärmeerzeugung und Speicherung gezogen. Die Kosten für die Ertüchtigung der Gebäudehülle wurden in den Berechnungen nicht berücksichtigt. Das Annuitätenverfahren dient an dieser Stelle ausschließlich zur wirtschaftlichen Gegenüberstellung der einzelnen Energieversorgungssysteme im Plato-Wild-Ensemble und stellt keine Absolutkosten dar. In einem ersten Schritt müssen wichtige Gebäudedaten und Annahmen für den Energieverbrauch festgelegt werden:

9 Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (September 2012): Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, VDI 2067.

10 Krimmling, Jörn (2011): Energieeffiziente Nahwärmesysteme. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

## Variante 4 HS BHKW Annuitätenverfahren

BHKW + Spitzenlastkessel + Zentralversorgung + Strom aus Netzbezug und Eigenverbrauch

<b>AN<sub>k</sub></b>	<b>Kapitalgebundene Auszahlungen</b>	<b>Investition</b>	<b>Annuitätsfaktor</b>	<b>Kapitaldienst</b>	<b>Instandsetzung</b>	<b>Gesamtkosten</b>
		in €	in % / a	in € / a	in % / a	in € / a
		520000,00				
	BHKW Instandsetzung	180000,00			6,00%	10.800,00 €
	x Preisdynamischer Faktor	1,13				12.229,80 €
	Gaskessel Instandsetzung	80000,00			2,00%	1.600,00 €
	x Preisdynamischer Faktor	1,13				1.811,82 €
	Anlagentechnik Instandsetzung	260000,00			1,00%	2.600,00 €
	Finanzierung	520000,00		9,63%	50.097,99 €	50.097,99 €
	<b>AN<sub>k</sub></b>					<b>66.739,61 €</b>
<b>AN<sub>v</sub></b>	<b>Verbrauchsgebundene Auszahlungen</b>					
	Nutzwärmebedarf in kWh / a	1020026,00				
	Strombedarf in kWh / a	191000,00				
	<u>BHKW</u>					
	Energiebereitstellung kWh / a	550000,00 (Strom + Wärme)				
	Nutzungsgrad	0,72 (Netz + Anlage)				
	Brennstoffenergie in kWh / a	761245,67				
	Brennstoffmenge kg / a	183432,69				
	Arbeitspreis Hackschnitzel € / kg	0,12				
	Brennstoffkosten € / a					22.011,92 €
	x Preisdynamischer Faktor	1,47				32.400,89 €
	<u>Gaskessel</u>					
	Wärmebereitstellung kWh / a	620026,00				
	Nutzungsgrad	0,78 (Netz + Anlage)				
	Brennstoffenergie in kWh / a	792872,12				
	Arbeitspreis Erdgas € / kWh	0,06				
	Brennstoffkosten € / a					47.572,33 €
	x Preisdynamischer Faktor	1,47				70.025,05 €
	<b>AN<sub>v</sub></b>					<b>102.425,94 €</b>
<b>AN<sub>b</sub></b>	<b>Betriebsgebundene Auszahlungen</b>					
	Wartungskosten € / a					7.800,00 €
	Leistungspreis Erdgas € / Mon	118,80 € / a				118,80 €
	Emissionsüberwachung € / a				BHKW	200,00 €
					Gaskessel	100,00 €
	Summe					8.218,80 €
	x Preisdynamischer Faktor	1,13				
	<b>AN<sub>b</sub></b>					<b>9.306,88 €</b>
<b>AN<sub>s</sub></b>	<b>Sonstige Auszahlungen</b>					- €
<b>AN<sub>e</sub></b>	<b>Einzahlungen</b>					
	Einspeisevergütung € / kWh	0,13				
	Eingespeiste Strommenge kWh / a	40229,89				
	Einnahmen Stromverkauf Einspeisung					5.414,94 €
	Verkaufspreis Bewohner € / kWh	0,22				
	Strommenge Verkauf Bewohner kWh / a	109770,11				
	Einnahmen Stromverkauf Bewohner					24.149,43 €
						<b>29.564,37 €</b>
<b>AN</b>	<b>Annuität</b>		<b>€ / a</b>			<b>- 148.908,06 €</b>

Tab. 44 Berechnung der Annuitätskosten am Beispiel Hackschnitzel-BHKW

Objekt	Plato-Wild-Ensemble (Block II)
Nutzfläche	7158,88
Bewohner	191
Wohneinheiten	96
Sanierungsmaßnahmen	Innendämmung 3 cm Dämmung der Geschossdecken
<b>Energiebedarf</b>	
Erzeugerleistung	590,0 kW
Warmwasser QWW	12,5 kWh / m <sup>2</sup> a
Heizung QH	100,0 kWh / m <sup>2</sup> a 130,0 kWh / m <sup>2</sup> a 160,0 kWh / m <sup>2</sup> a
Strombedarf	1000 kWh / a und Person

Tab. 45 Annahmen für das Annuitätenverfahren

Im vorliegenden Fall konnte für den Energiebedarf nicht auf bestehende Verbrauchsdaten zurückgegriffen werden. Daher wurde auf vergleichbare Werte aus der Literatur zurückgegriffen.

Für die Berechnungen wurden folgende Ausgangswerte verwendet:

#### Brennstoff

Erdgas Arbeitspreis: 6,00 Cent/kWh  
 Erdgas Leistungspreis: 123,48 €/Jahr  
 Holzpellets: 25,00 Cent/kg  
 Biogas: 11,00 Cent / kWh  
 Biogas Leistungspreis: 118,80 €/Jahr  
 Heizöl: 8,00 Cent/kWh  
 Hackschnitzel (HS): 12,00 Cent/kg  
 Quellen: Örtliche Versorger im Raum Regensburg

#### Strom

Strom Arbeitspreis: 26,00 Cent/kWh  
 Strom Leistungspreis: 93,76 Cent/kWh  
 Verkaufspreis Eigenverbrauch: 22,00 Cent/kWh  
 Einspeiserlös: 13,46 Cent/kWh (EEG 2014)  
 Quellen: Örtliche Versorger im Raum Regensburg

#### Finanzierung

Kalkulationszinssatz: 5,00 %

#### Investitionskosten

Ist-Zustand: 190 000 €  
 Hier wurde davon ausgegangen, dass jeder bereits bestehende Kessel im Betrachtungszeitraum einmal ersetzt werden muss.

#### Variante 1

Gaskessel: 80 000 €

#### Variante 2

Pelletkessel: 110 000 €  
 Gaskessel: 80 000 €

#### Variante 3

BHKW Biogas: 170 000 € (2G-KWK)

#### Variante 4

BHKW Hackschnitzel: 180 000 € (Spanner RE<sup>2</sup>)  
 Gaskessel: 80 000 €

Zusätzlich wurden für die Varianten 1–4 Investitionskosten für die Wärmeverteilung und Anlagentechnik angesetzt:

Anlagentechnik: 90 000 €  
 Wärmeverteilung: 170 000 €

#### Instandsetzung

Die Kosten für die Instandsetzung wurden gemäß VDI 2067-1 berechnet.

#### Wartungskosten

Die Ausgaben für Wartung wurden gemäß VDI 2067-1 berechnet.

#### Emissionsüberwachung

BHKW: 200,00 €/Jahr  
 Pelletkessel: 200,00 €/Jahr  
 Rest: 100,00 €/Jahr

#### Laufzeit

Der Betrachtungszeitraum der betriebswirtschaftlichen Kalkulation erstreckt sich über 15 Jahre.

#### Annuitätsfaktor

Der Annuitätsfaktor beträgt 9,63 %.

#### Preissteigerungen

Erdgas: 4,50 %  
 Holzpellets: 2,00 %  
 Hackschnitzel: 2,00 %

## Vergleich der Annuitätskosten der Varianten

Annuitätsverfahren

		IST-Zustand Erdgas Bestand	Variante 1 Erdgas Neu	Variante 2 Holzpellet + Erdgas	Variante 3 BHKW Biogas	Variante 4 BHKW Hackschnitzel
Investitionskosten		190.000,00 €	340.000,00 €	450.000,00 €	510.000,00 €	520.000,00 €
Σ Nutzwärmebedarf $Q_H + Q_{WW}$	kWh / a	805.286,00	805.286,00	805.286,00	805.286,00	805.286,00
$AN_E$ (Einzahlungen)	1 / a	- €	- €	- €	48.139,17 €	29.564,37 €
$-AN_K$ (Kapitalgebunden)	1 / a	22.608,11 €	37.512,41 €	57.957,35 €	65.096,76 €	66.739,61 €
$-AN_V$ (Verbrauchsgebunden)	1 / a	91.897,47 €	82.261,16 €	72.572,10 €	133.995,23 €	66.326,63 €
$-AN_B$ (Betriebsgebunden)	1 / a	17.839,75 €	5.009,10 €	8.972,46 €	9.186,57 €	9.306,88 €
$-AN_S$ (Sonstige)	1 / a	- €	- €	- €	- €	- €
AN Annuität	€/a	- 132.345,33 €	- 124.782,68 €	- 139.501,91 €	- 160.139,39 €	- 112.808,75 €
Wärmegestehungspreis	Cent / kWh	16,4	15,5	17,3	19,9	14,0

## Vergleich der Annuitätskosten der Varianten

Annuitätsverfahren

		IST-Zustand Erdgas Bestand	Variante 1 Erdgas Neu	Variante 2 Holzpellet + Erdgas	Variante 3 BHKW Biogas	Variante 4 BHKW Hackschnitzel
Investitionskosten		190.000,00 €	340.000,00 €	450.000,00 €	510.000,00 €	520.000,00 €
Σ Nutzwärmebedarf $Q_H + Q_{WW}$	kWh / a	1.020.026,00	1.020.026,00	1.020.026,00	1.020.026,00	1.020.026,00
$AN_E$ (Einzahlungen)	1 / a	- €	- €	- €	48.139,17 €	29.564,37 €
$-AN_K$ (Kapitalgebunden)	1 / a	22.608,11 €	37.512,41 €	57.957,35 €	65.096,76 €	66.739,61 €
$-AN_V$ (Verbrauchsgebunden)	1 / a	116.403,13 €	104.197,17 €	91.924,40 €	168.200,61 €	88.262,64 €
$-AN_B$ (Betriebsgebunden)	1 / a	17.839,75 €	5.009,10 €	8.972,46 €	9.186,57 €	9.306,88 €
$-AN_S$ (Sonstige)	1 / a	- €	- €	- €	- €	- €
AN Annuität	€/a	- 156.850,99 €	- 146.718,69 €	- 158.854,21 €	- 194.344,78 €	- 134.744,76 €
Wärmegestehungspreis	Cent / kWh	15,4	14,4	15,6	19,1	13,2

## Vergleich der Annuitätskosten der Varianten

Annuitätsverfahren

		IST-Zustand Erdgas Bestand	Variante 1 Erdgas Neu	Variante 2 Holzpellet + Erdgas	Variante 3 BHKW Biogas	Variante 4 BHKW Hackschnitzel
Investitionskosten		190.000,00 €	340.000,00 €	450.000,00 €	510.000,00 €	520.000,00 €
Σ Nutzwärmebedarf $Q_H + Q_{WW}$	kWh / a	1.234.766,00	1.234.766,00	1.234.766,00	1.234.766,00	1.234.766,00
$AN_E$ (Einzahlungen)	1 / a	- €	- €	- €	48.139,17 €	29.564,37 €
$-AN_K$ (Kapitalgebunden)	1 / a	22.608,11 €	37.512,41 €	57.957,35 €	65.096,76 €	66.739,61 €
$-AN_V$ (Verbrauchsgebunden)	1 / a	140.908,79 €	126.133,19 €	111.276,69 €	202.406,00 €	110.198,65 €
$-AN_B$ (Betriebsgebunden)	1 / a	17.839,75 €	5.009,10 €	8.972,46 €	9.186,57 €	9.306,88 €
$-AN_S$ (Sonstige)	1 / a	- €	- €	- €	- €	- €
AN Annuität	€/a	- 181.356,65 €	- 168.654,70 €	- 178.206,51 €	- 228.550,17 €	- 156.680,77 €
Wärmegestehungspreis	Cent / kWh	14,9	13,7	14,4	18,5	12,7

Tab. 46: Vergleich der Annuitätskosten (Nutzwärmebedarf 160 kWh/m<sup>2</sup>a)

Biogas: 4,00 %

Heizöl: 4,00 %

Strom: 4,00 %

Zur Abschätzung der zukünftigen Strompreisentwicklung wurde der jährliche Anstieg des Strompreises zwischen 1998 und 2013 dokumentiert und auf die Jahre gemittelt. Das Ergebnis war eine jährliche Strompreissteigerung für die Jahre 1998 bis 2013 von 3,72 %. Mithilfe des Index der Verbraucherpreise des Bundesamtes für Statistik wurde die jährliche Preissteigerung von Erdgas über die Jahre 2002 bis 2012 mit 4,44 % ermittelt. Dieser Wert dient als Ausgangsbasis für die zukünftige jährliche Erdgaspreissteigerung. Der Heizölpreis wird mit einer jährlichen Steigerungsrate von 4,0 % belegt, da hier ähnliche Entwicklungen wie im Falle von Erdgas erwartet werden. Für die Brennstoffe Holzpellets und Hackschnitzel wurden die jährlichen Steigerungsrate mit jeweils 2 % angesetzt, die auf den Entwicklungen der Preisveränderungen der letzten Jahre basieren. Grundsätzlich ist es immer mit Schwierigkeiten verbunden, zukünftige Energiepreisänderungen abzuschätzen. Hier liegt auch ein wesentliches Risiko, da gerade Energiepreise einen massiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung haben.

Instandhaltung: 2,00 %

Betriebsgebundene Ausgaben: 2,00 %

Sonstige: 2,00 %

### Heizwerte

Hackschnitzel: 4,15 kWh/kg

Holzpellets: 4,90 kWh/kg

Erdgas: 10,00 kWh/m<sup>3</sup>

Biogas: 6,00 kWh/m<sup>3</sup>

Heizöl: 11,8 kWh/kg

### Effizienzangaben

Jahresnutzungsgrad Gaskessel (Ist-Zustand): 70,0 %<sup>11</sup>

Jahresnutzungsgrad Gaskessel: 92,0 %<sup>12</sup>

Jahresnutzungsgrad Pelletkessel: 80,0 %<sup>13</sup>

Elektrischer Wirkungsgrad BHKW Biogas: 36,0 %

Thermischer Wirkungsgrad BHKW Biogas: 48,0 %

<sup>11</sup> Abschätzung.

<sup>12</sup> Krimmling, Jörn (2011): Energieeffiziente Nahwärmesysteme. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

<sup>13</sup> Krimmling, Jörn (2011): Energieeffiziente Nahwärmesysteme. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

Gesamtwirkungsgrad BHKW Biogas: 84,0 %

Quelle: 2G KWK-Serie

Elektrischer Wirkungsgrad BHKW HS: 23,0 %

Thermischer Wirkungsgrad BHKW HS: 62,0 %

Gesamtwirkungsgrad BHKW HS: 85,0 %

Quelle: Spanner RE<sup>2</sup>

Jahresnutzungsgrad Nahwärmenetz: 85,0 %

In Tab. 44 „Berechnung der Annuitätskosten am Beispiel Hackschnitzel-BHKW“ auf Seite 262 wird die Berechnung der Annuitätskosten gemäß DIN 2067 „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“ am Beispiel des Hackschnitzel-BHKWs veranschaulicht. Zur Berechnung der Gesamtannuität wurden die notwendigen Aus- und Einzahlungen ermittelt.

Alle Zahlungen wurden mit dem entsprechenden preisdynamischen Faktor versehen. Für die Berechnung wurde ein hoher Eigenverbrauch der im BHKW erzeugten elektrischen Energie angesetzt. Um eine wirtschaftliche Nutzung der KWK-Technik zu erreichen, ist es notwendig, den selbst erzeugten Strom so weit wie möglich im Stadtquartier zu verbrauchen. Der nicht selbst verbrauchte Anteil der produzierten Strommenge wird in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist und die jeweilige Vergütung durch das EEG (Stand 2014) in Anspruch genommen. Zukünftig wird für selbst verbrauchten Strom eine reduzierte EEG-Umlage fällig. Diese zusätzliche Belastung ist in den vorliegenden Berechnungen noch nicht berücksichtigt worden. Die Investitionskosten setzen sich zusammen aus den Ausgaben für das BHKW, die dazugehörige Anlagentechnik und den Aufbau eines Nahwärmenetzes. Der Verkaufspreis für Strom, den die Bewohner des Stadtquartieres bezahlen, liegt deutlich unter den Preisen des örtlichen Energieversorgers.

Da für das vorliegende Stadtquartier Plato-Wild-Ensemble keine detaillierten Verbrauchskennwerte vorliegen, wurde die Berechnung der Annuitätskosten für unterschiedliche Nutzwärmeverbräuche durchgeführt, die aus den Berechnungen der EnEV abgeleitet worden sind:

■ 100 kWh/m<sup>2</sup>a

■ 130 kWh/m<sup>2</sup>a

■ 160 kWh/m<sup>2</sup>a

Die Ergebnisse können den Tab. 46, Tab. 47 und Tab. 48 entnommen werden. Die nachstehenden Interpretationen der Wärmegestehungspreise beruhen auf einem Wärmeverbrauch von 130 kWh/m<sup>2</sup>a.

Die Varianten 1 und 4 (zentraler Erdgaskessel und BHKW mit Hackschnitzeinsatz) erzielen die niedrigsten Annuitätskosten. Mit Wärmegestehungspreisen von 14,4 Cent/kWh (zentraler Erdgaskessel) bzw. 13,2 Cent/kWh (BHKW Hackschnitzel) können diese Varianten preiswertere Wärme zur Verfügung stellen, als dies mit der derzeitigen Anlagentechnik machbar ist. Für die derzeitige Anlagentechnik wurde ein Wärmegestehungspreis von 15,4 Cent/kWh berechnet.

Die niedrigen kapitalgebundenen Kosten werden durch erhöhte Brennstoffkosten und die betriebsgebundenen Ausgaben zunichtegemacht. Die hohen betriebsgebundenen Kosten werden vorrangig durch die hohen Bereitstellungspreise für die Erdgasversorgung verursacht (Leistungspreis pro Wohneinheit). Annahme dieser Variante war der vollständige Ersatz der Anlagentechnik im Betrachtungszeitraum.

Der Pelletkessel, unterstützt durch einen Erdgas-Spitzenlastkessel, erreicht einen Wärmegestehungspreis von 15,6 Cent/kWh. Ausschlaggebend dafür sind die hohen Investitionskosten der Anlagentechnik, die auch durch geringere Brennstoffkosten nicht vollständig kompensiert werden können.

Das untersuchte Biogas-BHKW verursacht hohe Wärmegestehungskosten (19,1 Cent/kWh) und ist im Vergleich zu den übrigen Varianten deutlich abgeschlagen. Ein wirtschaftlicher Einsatz ist hier vermutlich nicht realisierbar. Verantwortlich dafür sind die hohen Brennstoffkosten und der hohe Investitions-einsatz. Ein Ausgleich durch erzielte Stromvergütungen findet nur bedingt statt.

# 3. Rentabilität Wärmedämmmaßnahmen

Eine effiziente Wärmedämmung der Gebäudehülle reduziert den Energieverbrauch des Gebäudes. Zur Gebäudehülle gehören die Außenwände, die Fenster, die Kellerdecke und das Dach. Dennoch stellt sich die Frage nach der Wirtschaftlichkeit einer Wärmedämmung, die in diesem Kapitel detailliert untersucht werden soll.

„Energiesparinvestitionen müssen sich zunächst an den Energiekosten, die ohne diese Maßnahmen angefallen wären, messen, d. h., sie sind immer im Vergleich zu den sonst entstehenden Energiekosten zu sehen.“<sup>14</sup> Die Wirtschaftlichkeit einer vorgenommenen Maßnahme ist dann gegeben, wenn der durch eingesparte Wärmeenergie erwirtschaftete Erlös die Investitionskosten übersteigt. Zur Bewertung der einzelnen Energiesparmaßnahmen wird auf das Beurteilungsverfahren „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ zurückgegriffen.

## 3.1 Berechnung Investitionskosten

In einem ersten Schritt werden für einen festgelegten Betrachtungszeitraum die jährlichen Kosten der Energieeinsparmaßnahmen berechnet. Die Investitionskosten einer einzelnen Maßnahme werden dabei annuitätisch umgelegt. Jedoch werden nach dem Kopplungsprinzip nur die energiebedingten Mehrkosten berücksichtigt, d. h., es werden nur die zusätzlichen Kosten der Energieeinsparungsmaßnahme angerechnet, die über eine anstehende bauliche Instandsetzung hinausgehen.

## 3.2 Vermiedene Wärmemengen

Die eingesparte Wärmeenergie lässt sich aus der EnEV-Berechnung ermitteln. Die Einsparung leitet sich ab aus dem jetzigen Wärmeverbrauch und dem Verbrauch nach Durchführung der energieeinsparenden Maßnahmen.

## 3.3 Spezifische Kosten $k_{Spar}$

Mithilfe der Annuitätskosten der Investition können die Ausgaben einer eingesparten kWh Endenergie ermittelt werden:

<sup>14</sup> Enseling, Andreas; Hinz, Eberhard (2006): Energetische Gebäudesanierung und Wirtschaftlichkeit. Eine Untersuchung am Beispiel des „Brunckviertels“ in Ludwigshafen. Darmstadt.

$$k_{Spar} = \frac{A_{INV}}{Q_0 - Q_S}$$

[15] Spezifische Kosten der eingesparten Endenergie

$k_{Spar}$  Spezifische Kosten der eingesparten Endenergie

$A_{INV}$  Annuitätische Kosten der Maßnahmen

$Q_0$  Jährlicher Energieverbrauch ohne Sanierung

$Q_S$  Jährlicher Energieverbrauch nach Sanierung

Die spezifischen Kosten der eingesparten kWh Endenergie werden daraufhin mit dem erwarteten Wärmegestehungspreis nach der Sanierung verglichen. Eine energiesparende Maßnahme ist dann ökonomisch sinnvoll, wenn die spezifischen Kosten der eingesparten kWh unter den Wärmegestehungskosten liegen:

$$k_{Spar} < k$$

[16] Rentabilität Energiesparmaßnahme

Erfahrungswerte für die Kosten einzelner energiesparender Maßnahmen können, soweit in der Praxis nicht vorhanden, aus einer Publikation des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung ermittelt werden.

BMVBS-Online-Publikation, Nr. 07/2012

Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden

Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

Quelle Berechnung Rentabilität: Enseling, Andreas; Hinz, Eberhard (2006): Energetische Gebäudesanierung und Wirtschaftlichkeit. Eine Untersuchung am Beispiel des „Brunckviertels“ in Ludwigshafen. Darmstadt

Maßnahme	spezifische Kosten	Fläche	Dämmstärke	Gesamtkosten
Geschossdecke	26,0 €/ m <sup>2</sup> + 1,92 €/ cm / m <sup>2</sup>	352,24 m <sup>2</sup>	16 cm	19.979,10 €
Kellerdecke	26,5 €/ m <sup>2</sup> 1,04 €/ cm / m <sup>2</sup>	352,24 m <sup>2</sup>	10 cm	12.997,70 €
Innendämmung (8 cm)	90,0 €/ m <sup>2</sup>	755,58 m <sup>2</sup>	8 cm	68.002,20 €
Erneuerung der Fenster	45,0 €/ m <sup>2</sup>	96,0 m <sup>2</sup>		4.320,00 €
<b>Investitionskosten</b>				<b>105.299,00 €</b>
<b>Risikozuschlag</b>			10,00%	<b>10.529,90 €</b>
<b>Gesamtausgaben</b>				<b>115.828,90 €</b>

Tab. 49 Überblick über die Investitionskosten für die Sanierung der Gebäudehülle am Gebäudeobjekt A\_1919 (Plato-Wild)

Quelle: Enseling, Andreas; Hinz, Eberhard (2006): Energetische Gebäudesanierung und Wirtschaftlichkeit. Eine Untersuchung am Beispiel des „Brunckviertels“ in Ludwigshafen. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU). Darmstadt; Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) (2012): Wärmedämmung von Außenwänden mit der Innendämmung. Hg. v. Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

### Beispiel: Beurteilungsverfahren „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ am Beispiel Plato-Wild- Ensemble

Das eben erläuterte Verfahren wurde am Beispiel der Plato-Wild-Siedlung angewendet. Für die Berechnungen wurde ein Gebäude des Stadtquartiers ausgewählt (A\_1919), an dem beispielhaft eine ökonomische Analyse durchgeführt werden soll.

Diese Maßnahmen zur Energieeinsparung werden angenommen:

- Innendämmung (8 cm) der Außenwände mit Calciumsilikatplatten
- Dämmung der Kellerdecke und der obersten Geschossdecke
- Erneuerung der Fenster

Durch die genannten Maßnahmen kann der Endenergieverbrauch deutlich abgesenkt werden. Aus den EnEV-Berechnungen geht ein Endenergieverbrauch im Ausgangszustand von 251,3 kWh/m<sup>2</sup>a hervor. Dieser kann durch die genannten Energieeinsparmaßnahmen auf einen Wert von 132,3 kWh/m<sup>2</sup>a gesenkt werden.

Dies bedeutet eine spezifische Energieeinsparung von 119,0 kWh/m<sup>2</sup>a. Für das Gebäudeobjekt A\_1919 mit einer Grundfläche von 942,9 m<sup>2</sup> resultiert daraus eine jährliche Gesamtenergieeinsparung von 112,2 MWh. Tab. 49 schlüsselt die Investitionsausgaben für die Einzelmaßnahmen am Beispiel des Gebäudeobjekts A\_1919 des Plato-Wild-Ensembles auf. Die

Ertüchtigung der Gebäudehülle mit den aufgeführten Maßnahmen verursacht Gesamtkosten in Höhe von 115 828,90 € einschließlich einer Risikobeaufschlagung. Ausgehend von einem Betrachtungszeitraum von 15 Jahren betragen die jährlichen Annuitätskosten der anfallenden Investitionskosten 11 154,30 €/a (Annuitätsfaktor von 9,63 % mit einer Laufzeit von 15 Jahren und einem Kalkulationszins von 5 %). Die spezifischen Kosten der eingesparten kWh Endenergie belaufen sich auf 9,94 Cent/kWh.

An dieser Stelle folgt ein Vergleich der spezifischen Kosten der eingesparten kWh Endenergie mit dem erwarteten Wärmegestehungspreis nach der abgeschlossenen Sanierung. Dabei wird auf die Ergebnisse aus dem vorherigen Kapitel zurückgegriffen. Für die untersuchten Varianten wurden Wärmegestehungspreise von 13,2 bis 15,6 Cent/kWh ermittelt, die deutlich über den spezifischen Kosten (9,94 Cent/kWh) der eingesparten kWh Endenergie liegen. Auf der Basis dieses Beurteilungsverfahrens „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ lässt sich für das untersuchte Gebäudeobjekt eine Wirtschaftlichkeit der aufgeführten Maßnahmen feststellen.

# 4. Allgemeine Fördermaßnahmen

## 4.1 Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW

### 4.1.1 KfW-Effizienzhaus

Für Gebäude mit niedrigem Energiebedarf hat die KfW den Begriff Effizienzhaus eingeführt und diesen mit finanziellen Förderungen verknüpft (Förderprogramm 151 oder 430). Aktuell müssen alle Neubauten mindestens den Standard „Effizienzhaus 100“ nachweisen. Werden bei der Sanierung von Bestandsgebäuden weitergehende Anforderungen erfüllt, können festgesetzte Förderungen in Anspruch genommen werden.

Auf Basis der bestehenden Energieeinsparverordnung (EnEV) werden folgende Einteilungen getroffen:

- KfW-Effizienzhaus 55
- KfW-Effizienzhaus 70
- KfW-Effizienzhaus 85
- KfW-Effizienzhaus 100
- KfW-Effizienzhaus 115
- KfW-Effizienzhaus Denkmal

Die Nummerierungen beschreiben dabei, wie weit das vorliegende Gebäudeobjekt die Bedingungen eines „EnEV-Referenzhauses“ erreicht oder sogar unterschreitet. Eine finanzielle Unterstützung durch den Förderbaustein „KfW-Effizienzhaus 70“ ist nur dann realisierbar, wenn das vorliegende Gebäudeobjekt lediglich 70 % der Energie des in der EnEV festgelegten Referenzgebäudes benötigt. Umso deutlicher die Energieeinsparung gegenüber dem Referenzgebäude ausfällt, desto besser die Einordnung in das Effizienzhaus-Programm mit steigenden Finanzierungshilfen. Die Effizienzhausförderungen der KfW sind mit den Förderungen des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) verknüpfbar.

Die Umsetzung von Energiesparmaßnahmen in denkmalgeschützten Gebäudekomplexen oder historischen Standquartieren ist nur eingeschränkt machbar. Dabei gilt es, eine individuelle und schonende Lösung für die energetische Sanierung zu entwickeln, die mit den Anforderungen an die Erhaltung der architektonischen Besonderheiten vereinbar sind. Die Gebäudesubstanz und das äußere Erscheinungsbild müssen dabei gewahrt bleiben.

### KfW-Effizienzhaus Denkmal

Die KfW bietet im Programm „Energieeffizient Sanieren“ für denkmalgeschützte Gebäude und besonders erhaltenswerte Bausubstanz eine eigene Förderung „Effizienzhaus Denkmal“ an.

Wer wird gefördert?

Wenn es sich um ein eingetragenes Denkmal handelt, kann eine Förderung „KfW-Effizienzhaus Denkmal“ in Anspruch genommen werden. Darüber hinaus kommen aber auch Gebäude mit besonders erhaltenswerter Bausubstanz für die genannte Förderung infrage. Ob es sich beim vorliegenden Bestandsobjekt um ein Gebäude mit besonders erhaltenswerter Bausubstanz handelt, kann bei der jeweiligen Kommune ermittelt werden.

#### Welche Maßnahmen werden gefördert?

Das Programm „KfW-Effizienzhaus Denkmal“ fördert neben energetischen Komplettsanierungen auch die Durchführung von Einzelmaßnahmen zur Energieeinsparung. Denkmäler und Gebäude mit besonders erhaltenswerter Bausubstanz werden mit den identischen Maßnahmen gefördert, die auch in den gewöhnlichen Effizienzprogrammen zur Anwendung kommen.

#### Welche Fördermaßnahmen können in Anspruch genommen werden?

Sanierungsmaßnahmen werden wahlweise mit einem zinsgünstigen Kredit (Fördernummer 151), einschließlich eines Tilgungszuschusses von 2,5 % des Kreditbetrags, oder alternativ mit einer Unterstützung von 10 % der Investitionskosten (Fördernummer 430) gefördert.

#### Welche Vorteile bietet das Programm „KfW-Effizienzhaus Denkmal“?

In denkmalgeschützten Gebäuden und besonders erhaltenswerten Bausubstanzen können aus architektonischen Gesichtspunkten nicht immer alle Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus erfüllt werden. Eine finanzielle Unterstützung der Sanierungsmaßnahmen durch die üblichen Effizienzhaus-Programme der KfW ist nicht möglich. Das Programm „KfW-Effizienzhaus Denkmal“ ermöglicht durch vereinfachte technische Mindestanforderungen gleichwohl eine Förderung durch die KfW.

### Welche vereinfachten Voraussetzungen gelten?

Beim Förderprogramm „KfW-Effizienzhaus Denkmal“ darf der Jahres-Primärenergiebedarf 160 % und der Transmissionswärmeverlust 175 % des errechneten Wertes für das entsprechende Referenzgebäude nach Energieeinsparverordnung (EnEV) betragen. Können diese Zielwerte aufgrund der architektonischen Auflagen nicht eingehalten werden, ist eine Förderung nach eingehender Prüfung durch einen zugelassenen Sachverständigen trotz allem möglich. (Quelle KfW)

#### **4.1.2 Einzelmaßnahmen**

Darüber hinaus fördert die KfW auch Einzelmaßnahmen (Förderprogramm Kredit 152 oder Investitionszuschuss 430), die zur Energieeinsparung bzw. Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudeobjekt beitragen (Quelle KfW):

- Wärmedämmung von Wänden
- Wärmedämmung von Dachflächen
- Wärmedämmung von Geschossdecken
- Erneuerung der Fenster und Außentüren
- Erneuerung/Einbau einer Lüftungsanlage
- Erneuerung der Heizungsanlage
- Optimierung bestehender Heizungsanlagen

Die Förderung von Einzelmaßnahmen durch die KfW ist nicht mit den Zuschüssen des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) kombinierbar.

#### **4.1.3 Ergänzungskredit**

Die Substitution der bestehenden Heizungsanlage in Wohngebäuden durch eine Anlagentechnik basierend auf erneuerbaren Energien wird durch den Förderbaustein Ergänzungskredit (Förderprogramm 167) unterstützt. Die KfW fördert mit dem Ergänzungskredit den Einsatz von Solarkollektoranlagen bis 40 m<sup>2</sup>, Biomasseanlagen bis 100 kW und Wärmepumpen bis 100 kW.

#### **4.1.4 Förderung Erneuerbare Energien Standard**

Mit dem Förderprodukt 270 (Spezialförderprogramm 274 Fotovoltaik) unterstützt die KfW die Installation von Anlagen zur Stromerzeugung aus regenerativen Energien (Sonne, Wind, Biomasse und Wasser). Eine partielle Einspeisung der elektrischen Energie in das öffentliche Stromnetz ist eine Voraussetzung für die Förderfähigkeit durch dieses Programm.

#### **4.1.5 Förderung Erneuerbare Energien Premium**

Der Förderbaustein 271 assistiert bei der Realisierung von Großanlagen zur Wärmebereitstellung aus regenerativen Energien in Form eines zinsgünstigen Kredits. Die Energieversorgung von Stadtquartieren wird zunehmend mit leistungsstarken Anlagen und Wärmenetzen realisiert. Aus diesem Grund ist gerade diese Förderung für die Instandsetzung von Energieversorgungsanlagen in Stadtquartieren interessant.

#### **4.1.6 Fachliche Unterstützung**

Das Förderprogramm 431 der KfW unterstützt Planung und Baubegleitung der Sanierungsmaßnahmen durch professionelle Experten. Energieeinsparende Maßnahmen sollten idealerweise immer von einem geeigneten Sachverständigen begleitet werden, der in fachlichen, ökonomischen und rechtlichen Fragen unterstützen kann. Das Programm übernimmt bis zu 50 % (maximal 400 €) der Ausgaben für einen Sachverständigen. Die finanzielle Unterstützung wird allerdings nur in Kombination mit der Förderung „Effizienzhaus“ oder „Einzelmaßnahmen“ der KfW genehmigt.

Die KfW bietet darüber hinaus noch weitere Förderprogramme an, die hier nicht aufgeführt werden. Weitere Informationen zu den Förderinstrumenten können dem Internetauftritt der KfW entnommen werden: [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Quelle: Kreditanstalt für Wiederaufbau

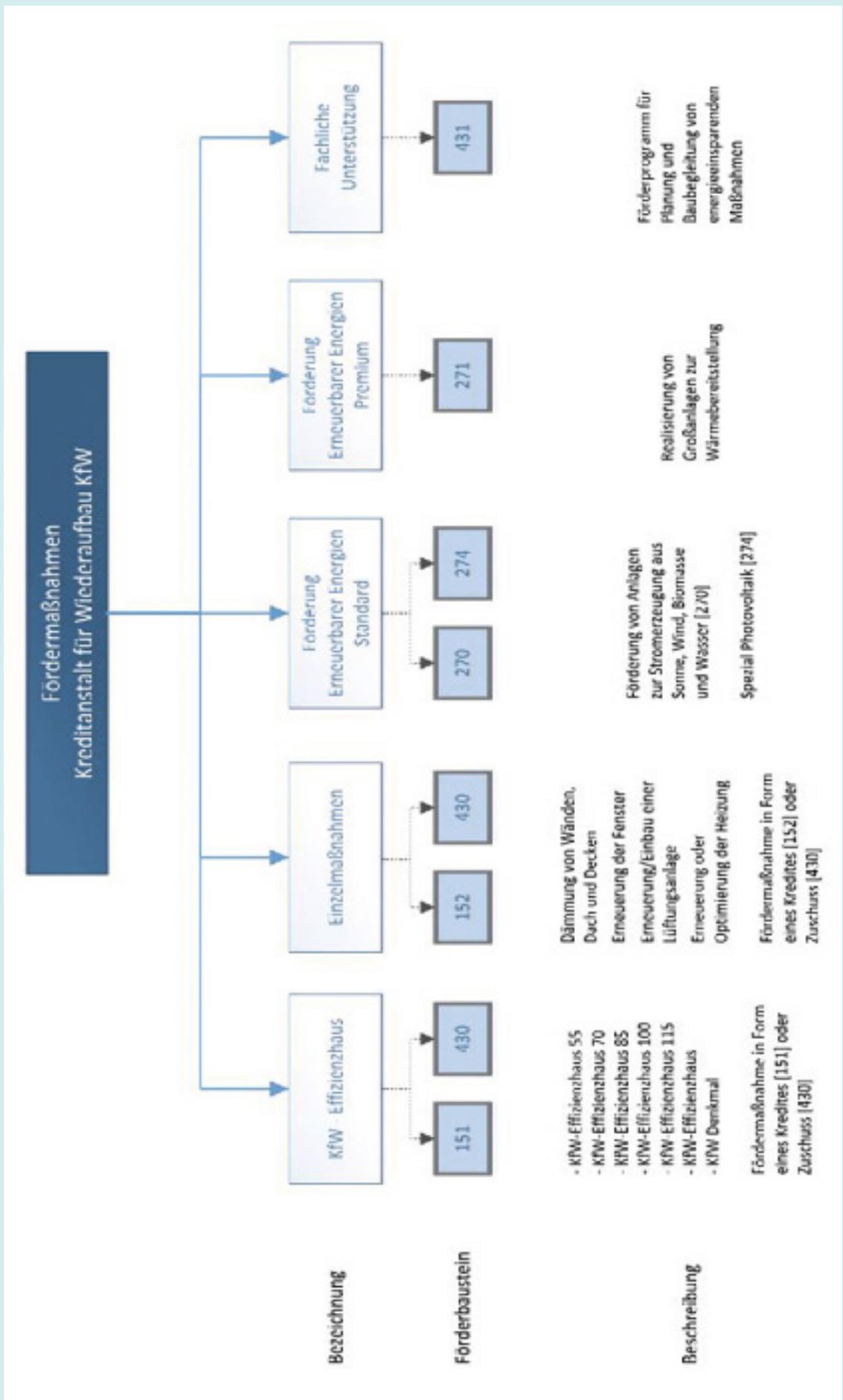


Abb. 223 Übersicht Fördermaßnahmen der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)

## 4.2 Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)

### 4.2.1 Heizen mit erneuerbaren Energien

Mit Investitionszuschüssen unterstützt das BAFA eine Umstellung von Heizungsanlagen auf erneuerbare Energien. Dieses Investitionsprogramm fördert nur Anlagen im Gebäudebestand. Die Anlagentechnik in Neubauten ist nur in spezifischen Fällen (Innovationsförderung) förderfähig.

Folgende Maßnahmen werden vom BAFA gefördert:

#### ■ Solarkollektoranlagen (thermisch)

Die Förderungen werden nur für solarthermische Anlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung gewährt. Solarthermische Anlagen, die lediglich zur Warmwasserbereitung installiert werden, sind nur in Wohngebäuden mit mindestens drei Wohneinheiten förderfähig.

Anlage	Fördersumme
bis 40 m <sup>2</sup> Bruttokollektorfläche	1.500 bis 3.600 Euro
20 bis 100 m <sup>2</sup> Bruttokollektorfläche in Mehrfamilienhäusern und großen Nichtwohngebäuden	3.600 bis 18.000 Euro

Tab. 50 BAFA - Förderung von Solarkollektoranlagen

#### ■ Biomasseanlagen

Seit dem 1. Januar 2014 gelten für die Förderung von Biomasseanlagen strengere Grenzwerte für die Emissionen. Das BAFA hält dazu Dokumente mit den förderfähigen Anlagen und weiteren Informationen auf seinem Internetauftritt bereit.

Anlage	Fördersumme
Pelletöfen mit Wassertasche	1.400 bis 3.600 Euro
Pelletkessel	2.400 bis 3.600 Euro
Pelletkessel mit Pufferspeicher	2.900 bis 3.600 Euro
Hackschnitzelkessel mit Pufferspeicher	1.400 Euro
Scheitholzvergaserkessel mit Pufferspeicher	1.400 Euro

Tab. 51 BAFA - Förderung von Biomasseanlagen

#### ■ Wärmepumpenanlagen

Eine Liste der förderfähigen Wärmepumpen hält das BAFA auf seiner Internetseite bereit. Gefördert werden Anlagen zur kombinierten Warmwasserbereitung und Raumheizung. Ein hydraulischer Abgleich ist Fördervoraussetzung. Weitere detaillierte Informationen zur Förderfähigkeit von Wärmepumpenanlagen können beim BAFA bezogen werden.

Anlage	Fördersumme
Sole/Wasser und Wasser/Wasser	2.800 bis 11.800 Euro
Sole/Wasser und Wasser/Wasser mit Pufferspeicher	3.300 bis 12.300 Euro
Luft/Wasser	1.300 bzw. 1.600 Euro
Luft/Wasser mit Pufferspeicher	1.800 bzw. 2.100 Euro

Tab. 52 BAFA - Förderung von Wärmepumpen

Darüber hinaus werden für innovative Anwendungen (z. B. Kombination Solarthermie und Biomasse) über die Basisförderung hinaus Bonusförderungen angeboten:

- Effizienzbonus
- Kesseltauschbonus
- Wärmenetzbonus
- Bonus für besonders effiziente Solarkollektorpumpen

Die aktuellen Fördersätze der aufgezählten Maßnahmen können auf der Internetseite des Bundesamtes nachgelesen werden:

[www.bafa.de/bafa/de/energie](http://www.bafa.de/bafa/de/energie)

Anträge zur Förderung durch das BAFA müssen innerhalb der ersten sechs Monate nach Inbetriebnahme eingereicht werden. Die aktuellen Förderbeiträge und Antragsformulare finden sich auf der Homepage des Bundesamtes. Eine finanzielle Förderung durch das BAFA sollte rechtzeitig mit den dort zuständigen Mitarbeitern abgesprochen werden. Unterstützung durch das BAFA kann in einigen Fällen mit den Förderbausteinen des KfW kombiniert werden.

Die Förderprogramme 151 und 430 („Energieeffizient Sanieren – Effizienzhaus“) der KfW sind mit den Zuschüssen der BAFA kombinierbar. Darüber hinaus ist das KfW-Programm 167 „Energieeffiziente Sanierung – Ergänzungskredit“ zur Erneuerung der Heizungsanlage mit einem Zuschuss der BAFA verknüpfbar. Die Summe aus BAFA-Zuschuss und KfW-Kredit darf dabei die Kosten der Maßnahme nicht übersteigen. Zu diesen Fragen sollten in jedem Fall die zuständigen Mitarbeiter der jeweiligen Behörden frühzeitig hinzugezogen werden.

#### 4.2.2 Kraft-Wärme-Kopplung-Gesetz (KWKG)

In der Kraft-Wärme-Kopplung werden Strom und Wärme gleichzeitig bereitgestellt. Durch die gekoppelte Erzeugung wird der Brennstoff effizient genutzt und die Auswirkungen auf die Umwelt sind im Vergleich zur getrennten Erzeugung geringer. Daher besteht ein staatliches Interesse, diese Technologie zu fördern. Zur Förderung der KWKG bietet das BAFA zwei Verfahren an, die auch zusammen in Anspruch genommen werden können:

##### ■ Mini-KWK-Zuschuss

Seit Mitte April 2012 werden KWK-Anlagen bis zu einer elektrischen Leistung von 20 kW unter bestimmten Voraussetzungen durch das BAFA mit einem Investitionszuschuss unterstützt. In Stadtquartieren werden in der Regel größere Leistungen abgefragt. Wenn jedoch keine zentrale Wärmeversorgung im Quartier vorgesehen ist, sondern eine eigenständige Versorgung der Gebäudeobjekte des Quartiers, ist die Installation von KWK-Anlagen im elektrischen Leistungsbereich bis 20 kW durchaus denkbar. Ausgangslage für eine Inanspruchnahme der

Förderung sind die „Richtlinien zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kW“.

##### Zusammenfassung der Fördervoraussetzungen:

- Einbau in Bestandsgebäude
- Leistungsbereich bis 20 kW<sub>el</sub>
- Wartungsvertrag vorhanden
- Kein Anschlusszwang an ein Fernwärmenetz vorhanden
- Installation von Energiezählern (Strom und Wärme)
- Beachtung TA-Luft
- Primärenergieeinsparung
- Minimum 15 % Primärenergieeinsparung für Anlagen im Leistungsbereich 0 bis 10 kW<sub>el</sub>
- Minimum 20 % Primärenergieeinsparung für Anlagen im Leistungsbereich 10 bis 20 kW<sub>el</sub>
- Gesamtjahresnutzungsgrad > 85 %
- Wärmespeicher (70 Liter/kWth; mindestens 300 l)
- Hydraulischer Abgleich und Umwälzpumpe der Effizienzklasse „A“
- Einbau einer Steuer- und Regeleinheit ab 3 kW<sub>el</sub>

Weitere Fördervoraussetzungen (z. B. Notwendigkeit eines Wärmespeichers) können im Detail der Richtlinie entnommen werden. Die Förderung ist ein Zuschuss, der sich je nach elektrischer Leistung Pel in einem Rahmen zwischen 1 500 und 3 500 € bewegt. Ein Antrag auf Förderung ist vor dem Kauf und der Inbetriebnahme der Anlage zu stellen. Ansprechpartner für Fragen zum Mini-KWK-Zuschuss ist das:

[Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle](#)  
[Referat 515 – Mini-KWK](#)  
[Frankfurter Straße 29–35](#)  
[65760 Eschborn](#)

##### ■ Stromvergütung für KWK-Anlagen

Durch das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz

(KWK-G) ist die Abnahme und Vergütung von KWK-Strom geregelt. Die Stromnetzbetreiber sind gesetzlich verpflichtet, KWK-Anlagen an das übergeordnete Stromnetz anzuschließen und die elektrische Energie aus KWK-Prozessen abzunehmen. Die Vergütung des durch KWK produzierten Stroms erfolgt ebenfalls vom Netzbetreiber. Dazu muss im Vorfeld beim BAFA ein Zulassungsantrag gestellt werden. Auf Basis dieser Zulassung zahlt der Netzbetreiber dann die entsprechende Vergütung.

Die Vergütung für in das Netz eingespeisten Strom aus KWK-Anlagen setzt sich zusammen aus:

- KWK-Zuschlag
- Vermiedenes Netznutzungsentgelt
- Baseload-Quartalspreis

Wird der durch die KWK-Anlage erzeugte Strom selbst verbraucht, wird der KWK-Zuschlag weiterhin gezahlt. Die Vergütung setzt sich in diesem Fall zusammen aus:

- KWK-Zuschlag
- Vermiedene Stromkosten

Der KWK-Zuschlag ist vom Gesetzgeber nach Leistungsanteilen gestaffelt festgelegt (vgl. Tabelle 53).

Dem Betreiber einer KWK-Anlage bis 50 kW<sub>el</sub> steht es frei, die Förderung über einen Zeitraum von zehn Jahren oder zu Beginn der Förderung eine einmalige Zahlung für 30 000 Vollbenutzungsstunden zu erhalten. Für die Förderfähigkeit von KWK-Anlagen bis 2 MW<sub>el</sub> ist der Zeitraum mit maximal 30 000 Vollbenutzungsstunden festgelegt. Der aktuelle Baseload-Quartalspreis und die Höhe des vermiedenen Netznutzungsentgelts können beim zuständigen Netzbetreiber angefragt werden. Der Antrag muss bis zum 31. Dezember des Jahres der Inbetriebnahme der KWK-Anlage beim BAFA eingegangen sein, damit ein Anspruch auf die Leistungen besteht.

Darüber hinaus fördert das BAFA im Zusammenhang mit der KWK auch die Installation von Wärme- bzw. Kältespeichern und den Aufbau von Wärme- und Kältenetzen. Stadtquartiere sind ein geeigneter Standort für den Einsatz von Nahwärmenetzen. Das BAFA fördert Wärmenetze, die anteilig mit Wärme aus einem

KWK-Prozess betrieben werden. Wärmenetze mit einem mittleren Nenndurchmesser (DN) von bis zu 100 mm können mit bis zu 100 €/m Trassenlänge gefördert werden. Über einen DN von 100 mm hinaus werden in der Regel 30 % der anfallenden Investitionskosten in das Wärmenetz erstattet. Die Förderung von Wärme- und Kältenetzen unterliegt einigen Mindestkriterien:

- 50 % Wärmeeinspeisung durch KWK-Prozesse bei Inbetriebnahme
- Energietransport muss die Grundstücksgrenzen überschreiten
- Mindestens ein Abnehmer, der weder Eigentümer noch Betreiber der versorgenden KWK-Anlage ist
- Erweiterungsmöglichkeit für weitere Abnehmer muss vorhanden sein

Eine kombinierte Förderung des Netzes durch das BAFA und die KfW ist ausgeschlossen. Ist eine Förderung durch das BAFA infolge der Mindestkriterien nicht durchführbar, kann durchaus eine Unterstützung durch die KfW in Anspruch genommen werden.

Wärme- und Kältespeicher werden gestaffelt nach dem Volumen gefördert. Förderfähige Speicher müssen eine Mindestkapazität von 1 m<sup>3</sup> oder mindestens 0,3 m<sup>3</sup> pro kW installierter elektrischer Leistung der jeweiligen KWK-Anlage aufweisen. Ab einem Speichervolumen über 50 m<sup>2</sup> werden maximal 30 % der förderfähigen Investitionskosten erstattet.

Weitere Informationen dazu finden sich auf dem Internetauftritt der BAFA:

[www.bafa.de/bafa/de/energie](http://www.bafa.de/bafa/de/energie)

Quelle: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle

### 4.3 Energiesteuerrückerstattung

Das Energiesteuerrecht (EnergieStG) wurde 2006 eingeführt und löste die bis dahin geltende Mineralölsteuer (MinöStG) ab. Die Energiesteuer regelt die allgemeine Besteuerung von fossilen als auch nachwachsenden Heiz- und Kraftstoffen und wird vom Bundeszollamt eingezogen. Wird vom Staat die Förderung einer effizienten Technologie gewünscht,

Fördersatz Biomasse	[Cent/kWh]
Basisförderung	13,66
Absenkung gemäß § 37 (3) Nr. 1	-0,20
Fördersatz	13,46

Tab. 53 Berechnung der Einspeisevergütung für eine Biomasseanlage bis 150 kW (Stand: November 2014)

kann dies durch eine Rückerstattung der entrichteten Energiesteuer realisiert werden. Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird unter bestimmten Voraussetzungen vom Staat auf diesem Weg gefördert. Nach § 53a und § 53b des EnergieStG kann für eine gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme (KWK) eine Rückerstattung der bereits entrichteten Energiesteuer beantragt werden. Der Gesetzgeber unterscheidet hier zwischen einer vollständigen (§ 53a) und einer partiellen Steuerrückerstattung (§ 53b). Für eine vollständige Rückerstattung müssen folgende Kriterien<sup>15</sup> erfüllt sein :

- Genutzter Brennstoff nach EnergieStG § 2 Abs. 1 Satz 9 und 10; Abs. 3 Satz 1 oder Abs. 4a
- Ortsfeste Anlage nach EnergieStG § 3 Abs. 2
- Gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme
- Hocheffizient nach Anlage III der EU-Richtlinie 2004/8/EG
- Jahresnutzungsgrad höher 70 %
- Anlage wird noch abgeschrieben

Der Nutzungsgrad muss mit einem Wärmemengenzähler ermittelt werden, in einigen Fällen werden auch Herstellerangaben zum Wirkungsgrad akzeptiert. Eine Steuerrückerstattung kann nur für im KWK-Prozess verbrauchte Brennstoffmengen vorgenommen werden. Die notwendigen Formulare zur Antragsstellung und die einzuhaltenen Fristen können beim Hauptzollamt abgefragt werden. Informationen zu diesem Thema finden sich unter:

[www.zoll.de](http://www.zoll.de)

Quelle: Deutscher Zoll

<sup>15</sup> Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz (BMJV) (2006): Energiesteuergesetz. EnergieStG.

## 4.4 Eigennutzung

Der Gesetzgeber fördert die Eigennutzung selbst erzeugter elektrischer Energie mit verschiedenen Maßnahmen, die hier kurz erläutert werden sollen.

### 4.4.1 Stromsteuerbefreiung

„Grundsätzlich braucht derjenige, der selbst erzeugten Strom zum Eigen- bzw. Selbstverbrauch entnehmen will, eine Erlaubnis nach dem Stromsteuerrecht als sogenannter Eigenerzeuger.“<sup>16</sup> Der „Eigenerzeuger“ ist damit stromsteuerpflichtig. Allerdings sieht das Stromsteuerrecht nach § 9 einige Ausnahmen vor:

- Strom aus erneuerbaren Energien  
Strom, erzeugt aus erneuerbaren Energien, ist nach § 9 Abs. 1 Nr. 1 von der Steuer befreit.
- Hilfsstrom  
Strom, der zur Produktion von elektrischer Energie benötigt wird, ist nach § 9 Abs. 1 Nr. 2 steuerfrei.
- Anlagen bis zu 2 MW  
Strom, der in Anlagen mit einer elektrischen Nennleistung von bis zu 2 MW erzeugt und im räumlichen Zusammenhang zu der Anlage selbst verbraucht wird, ist nach § 9 Abs. 3 von der Steuer befreit.

Hilfestellung zur Befreiung von der Stromsteuer leisten das nächstgelegene Hauptzollamt oder das Informations- und Wissensmanagement Zoll.

### 4.4.2 Umlagebefreiung

Strom aus Energieerzeugungsanlagen, der selbst verbraucht wird, kann unter Umständen von anfallenden Umlagen befreit werden.

Nach § 37 Abs. 3 Satz 2 EEG können Betreiber einer Stromerzeugungsanlage, die ihren Strom selbst verbrauchen, unter bestimmten Voraussetzungen von der EEG-Umlage befreit werden:

<sup>16</sup> Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz (BMJV) (1999): Stromsteuergesetz. StromStG.

- Anlagenbetreiber und Verbraucher müssen identisch sein
- „Der selbstverbrauchte Strom darf nach § 37 Abs. 3 Satz 2 EEG außerdem nicht durch ein Netz der allgemeinen Versorgung durchgeleitet werden oder der Verbrauch muss alternativ im räumlichen Zusammenhang zur Erzeugungsanlage stattfinden.“<sup>17</sup>

Die Befreiung von der EEG-Umlage bei einer Eigennutzung wird gerade bearbeitet. Ein Ausblick auf die Neuerungen EEG 2014 wird in Abschnitt 4.5 vorgenommen.

Wird der erzeugte Strom vor Ort verbraucht und das öffentliche Leitungsnetz nicht in Anspruch genommen, können unter bestimmten Kriterien die Zahlung von Netzentgelten und Konzessionsabgaben entfallen. Details müssen mit dem zuständigen Netzbetreiber geklärt werden.

Eine Befreiung von der KWK-Umlage kann vorgenommen werden, „ [...] sofern also die Netze der allgemeinen Versorgung nicht genutzt werden. Anders hingegen ist es, wenn der Selbstverbrauch über das Netz der allgemeinen Versorgung erfolgt. In diesem Fall findet eine Lieferung vom Netzbetreiber an den Letztverbraucher statt und die Strommenge wird folglich im Belastungsausgleich berücksichtigt.“<sup>18</sup>

## 4.5 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Der Gesetzgeber hat sich beim Ausbau der erneuerbaren Energien hohe Ziele gesetzt. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Gesamtstromerzeugung soll bis zum Jahr 2050 auf mindestens 80 % erhöht werden.<sup>19</sup> Dazu wurde das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ins Leben gerufen, das zuletzt am 21. August 2014 reformiert wurde. „Zweck dieses Gesetzes ist es, insbesondere im Interesse des Klima- und Umweltschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen, die volkswirtschaftlichen Kosten der Energieversorgung auch durch die Einbeziehung langfristiger externer Effekte zu verringern, fossile Energieressourcen zu schonen und die Wei-

<sup>17</sup> Bardt, Hubertus et al. (2014): Eigenerzeugung und Selbstverbrauch von Strom. Stand, Potentiale und Trends. Köln.

<sup>18</sup> Bardt, Hubertus et al. (2014): Eigenerzeugung und Selbstverbrauch von Strom. Stand, Potentiale und Trends. Köln.

<sup>19</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2014): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz). EEG 2014.

terentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien zu fördern.“<sup>20</sup> Das EEG befasst sich mit den allgemeinen Bestimmungen, steuert die finanziellen Anreizprogramme und legt die Umlage der durch das Gesetz entstehenden Kosten auf die Verbraucher fest. Ergänzend werden noch weitere Details behandelt, die hier nicht aufgeführt werden. Unter anderem fördert das EEG Strom aus Windenergie, Sonnenenergie, Wasserkraft, Geothermie und Biomasse.

### 4.5.1 Allgemeine Bestimmungen

Das EEG verpflichtet den Netzbetreiber, Anlagen zur Erzeugung von erneuerbarem Strom nach § 8 Abs. 1 vorrangig an ihr Netz anzuschließen. Ab einer festgesetzten Anlagengröße verpflichtet der § 9 des EEG den Betreiber, ein System zu installieren, das es dem Netzbetreiber ermöglicht, die Anlage ferngesteuert zu drosseln:

- KWK-Anlagenleistung > 100 kW
- Solaranlagenleistung > 30 kW

### 4.5.2 Förderbestimmungen

Mit den Förderbestimmungen wird festgelegt, welchen Förderanspruch Betreiber von Anlagen, in denen erneuerbare Energien zum Einsatz kommen, geltend machen können. Das EEG stellt mit der Direktvermarktung und der Einspeisevergütung zwei Förderinstrumente zur Verfügung. In der Direktvermarktung ist der Anlagenbetreiber für den Verkauf des erzeugten Stroms an einem Spotmarkt selbst verantwortlich. Zusätzlich zum erzielten Verkaufspreis wird er vom Gesetzgeber mit einer Marktprämie nach § 34 EEG gefördert. Die Einspeisevergütung nach § 37 und § 38 stellt dem Anlagenbetreiber für die gelieferte Energiemenge eine festgelegte Gesamtvergütung in Aussicht. Die vorgenommenen Veränderungen im EEG 2014 zielen auf den verstärkten Einsatz der Direktvermarktung ab. In den Genuss von Einspeisevergütungen kommen nur noch Anlagen im kleinen Leistungsbereich. Die Direktvermarktung hat die vollständige Integration der erneuerbaren Energien in den Markt zum Ziel. Die Fördermaßnahmen des EEG sind zeitlich auf 20 Kalenderjahre befristet und starten mit der Inbetriebnahme der Anlage.

<sup>20</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2014): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz). EEG 2014.

Umlage	Personenidentität Betreiber = Verbraucher	Öffentliches Netz wird nicht genutzt	Räumlicher Zusammenhang
EEG-Umlage	✓	✓	
EEG-Umlage	✓		✓
EEG-Umlage partiell (2 Cent)		✓	✓
KWK-Umlage		✓	
StromStG §9 Abs. 1 Nr. 1		✓	
StromStG §9 Abs. 1 Nr. 3a	✓		✓
StromStG §9 Abs. 1 Nr. 3b			✓
<b>Netzentgelte</b>			
<b>Konzessionsabgabe</b>			
§ 19 Abs. 2 StromNEV-Umlage		✓	
Offshore-Haftungsumlage		✓	
§ 18 AbLaV-Umlage		✓	

Tab. 54 Aktuelle Möglichkeiten zur Einsparung beim Selbstverbrauch (Stand: März 2013)

Quelle: Bardt, Hubertus et al (2014): Eigenerzeugung und Selbstverbrauch von Strom. Stand, Potentiale und Trends. Köln

Bemessungsleistung	Vergütung [Cent / kWh]
bis 150 kW	13,66
bis 500 kW	11,78
bis 5 MW	10,55
bis 20 MW	5,85

Tab. 55 Basisförderungen der Stromerzeugung aus Biomasse nach dem EEG 2014

Bemessungsleistung	Vergütung [Cent / kWh]
bis 10 kW	13,15
bis 40 kW	12,8
bis 1 MW	11,49
bis 10 MW	9,23

Tab. 56 Basisförderungen der Stromerzeugung aus Solarenergie in, an oder auf Gebäudeobjekten gemäß § 51 EEG 2014

■ Förderung der Direktvermarktung

Die Direktvermarktung ist zunächst nur für Anlagen ab einer elektrischen Leitung von 500 kW vorgeschrieben. Ab 2016 wird dieser Grenzwert dann auf 100 kW abgesenkt. Wird der Strom aus erneuerbaren Energien vom Anlagenbetreiber direkt vermarktet, eingespeist und von Dritten abgenommen, steht ihm vom Netzbetreiber eine Marktprämie zu (vgl. § 34 EEG 2014). Die Marktprämie ergibt sich aus der Differenz zwischen der Basisförderung (vgl. Tab. 55 und Tab. 56) und dem gemittelten Monatsmarktwert. Zusätzliche Bonusförderungen wurden gestrichen.

■ Einspeisevergütung

Eine Einspeisevergütung für Strom aus erneuerbaren Energien wird vom jeweiligen Netzbetreiber ausbezahlt und kann unter folgenden Voraussetzungen in Anspruch genommen werden:

*EEG 2014 § 37 (2)*

„Der Anspruch auf eine Einspeisevergütung besteht

1. für Strom aus Anlagen, die vor dem 1. Januar 2016 in Betrieb genommen worden sind und eine installierte Leistung von höchstens 500 Kilowatt haben, und
2. für Strom aus Anlagen, die nach dem 31. Dezember 2015 in Betrieb genommen worden sind und eine installierte Leistung von höchstens 100 Kilowatt haben.“

An dieser Stelle wird nur die Förderung der Stromerzeugung aus Biomasse und Solarstrahlung detaillierter untersucht. Für den Einsatz in einem Stadtquartier bieten sie sich besonders an. Die Fördersätze von weiteren erneuerbaren Energien kann dem EEG 2014 entnommen werden.

• Einspeisevergütung Biomasse

Die Basisförderungen der Stromerzeugung aus Biomasse kann der Tab. 55 entnommen werden. Die Basisförderung verringert sich nach § 37 Abs. 3 Nr. 1 EEG 2014 um 0,2 Cent pro kWh. Ab dem 1. Januar 2016 wird gemäß § 28 EEG 2014 die Förderung nach einem Quartal um 0,5 % gekürzt, wenn ein deutschlandweiter jährlicher Brutto-Zubau (Anteil auf Quartal verrechnet) von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Biomasse von 100 MW nicht überschritten wurde. Bei einem Zubau von mehr als 100 MW (Anteil auf Quartal verrechnet) beträgt die Verringerung 1,27 % der vorangegangenen Förderung.

Förderbegrenzung:

„Der Anspruch auf finanzielle Förderung für Strom aus Biogas besteht für Strom, der in Anlagen mit einer installierten Leistung von mehr als 100 Kilowatt erzeugt wird, nur für den Anteil der in einem Kalenderjahr erzeugten Strommenge, der einer Bemessungsleistung der Anlage von 50 Prozent des Wertes der installierten Leistung entspricht.“<sup>21</sup> Ferner müssen weitere Bestimmungen nach dem § 47 EEG 2014 zur Förderung von Strom aus Biomasse beachtet werden.

• Einspeisevergütung Solarstrahlung

Die Basisförderung der Stromerzeugung aus Solarstrahlung kann der Tab. 56 entnommen werden. Die Basisförderung verringert sich nach § 37 Abs. 3 Nr. 2 EEG 2014 um 0,4 Cent/kWh. Anschließend wird gemäß § 31 EEG 2014 die Förderung monatlich um einen vordefinierten Anteil gekürzt. Die Höhe der monatlichen Kürzung der Einspeisevergütung steht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Gesamtjahreszubau an Fotovoltaikleistung in Deutschland (Zielkorridor zwischen 2 400 und 2 600 MW). Anpassungen an die Höhe der Kürzung werden quartalsweise vorgenommen und gelten dann für das gesamte Quartal. Die Vergütungssätze für den Zeitraum August bis November 2014 können in der Tab. 57 nachgelesen werden.

Zeitraum	Basissatz [Cent / kWh]	Absenkung § 37 (3) Nr. 2	Vergütung [Cent / kWh]	Kürzung zum Vormonat
Aug 14	13,15	-0,40	12,75	
Sep 14			12,69	0,50%
Okt 14			12,65	0,25%
Nov 14			12,62	0,25%

Tab. 57 Einspeisevergütungen für eine Solaranlage bis 10 kW für den Zeitraum August – November 2014 (Stand: November 2014)

21 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2014): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz). EEG 2014.

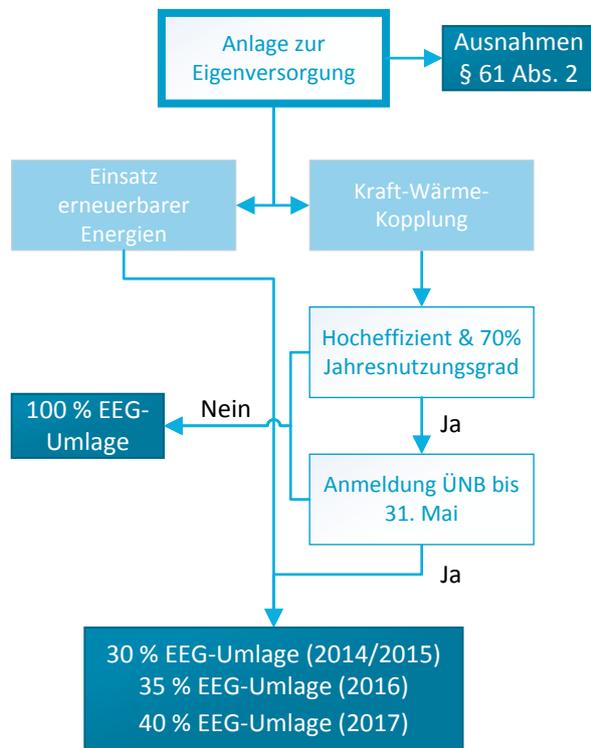


Abb. 224 Umlage auf Eigenversorgung gemäß § 61 EEG 2014

#### 4.5.3 Clearingstelle EEG

Die Clearingstelle EEG setzt sich mit Fragestellungen im Bereich des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auseinander und leistet für die Betreiber förderungsfähiger Anlagen „Erste Hilfe“. Die Einrichtung ist erreichbar unter:

[www.clearingstelle-eeg.de](http://www.clearingstelle-eeg.de)

Hier werden Informationen zum EEG 2014 bereitgestellt und bei Anwendungsfragen kann Kontakt aufgenommen werden.

#### 4.5.4 Änderung durch das EEG 2014

##### ■ Direktvermarktung

Der Gesetzgeber versucht mit der Novellierung des EEG von der Einspeisevergütung auf die Direktvermarktung umzusteigen. Die Einspeisevergütung wird ab sofort nur noch für kleinere Anlagen in Anspruch genommen werden können. Ziel ist die direkte Vermarktung des Stroms aus erneuerbaren Energien am Strommarkt. Mit der Marktprämie versucht der Staat den Einstieg in die Direktvermarktung zu erleichtern.

##### ■ EEG-Umlage auf Eigenversorgung

Mit der Einführung des EEG 2014 wird gemäß § 61 die Eigenstromversorgung mit der EEG-Umlage belegt. Wird die Eigenstromversorgung mit erneuerbaren Energien oder einem hocheffizienten KWK-Prozess (Jahresnutzungsgrad > 70 %) gestaltet (§ 61 (1) Nr. 1), wird nur ein zeitlich gestaffelter Anteil der EEG-Umlage fällig. Eigenversorger, die nicht dieser Gruppe angehören, werden mit der vollen EEG-Umlage belastet (vgl. Abb. 224). Die EEG-Umlage wird nicht erhoben:

- für den Kraftwerkseigenverbrauch
- für Inselversorgungen (kein Netzanschluss)
- für die vollständige Eigenversorgung aus erneuerbaren Energien und wenn kein Anspruch auf Einspeisevergütung geltend gemacht wird
- für Anlagen mit einer Maximalleistung von 10 kW für maximal 10 MWh selbst verbrauchten Stroms

Ferner wird die EEG-Umlage unter Umständen nicht bei einer Eigenversorgung mit Bestandsanlagen erhoben. Fragen zur EEG-Umlage können mit dem Übertragungsnetzbetreiber erörtert werden.

#### Fazit Wirtschaftlichkeitsanalyse:

Eine umfassende Sanierung der Gebäudehülle und die Einbindung moderner und effizienter Anlagentechnik ist aus ökologischen Aspekten immer wünschenswert. Eine nachhaltige Lösung kann jedoch nur bestehen, wenn diese wirtschaftlich gestaltet wurde. Im idealen Fall können die entstehenden Investitionsausgaben durch die eingesparten Brennstoffkosten substituiert werden. Für jede Maßnahme müssen daher detaillierte ökonomische Berechnungen angestellt werden. Im vorliegenden Beispiel „Plato-Wild-Ensemble“ konnten sowohl für die schonende Ertüchtigung der Gebäudehülle als auch für ausgewählte regenerative Versorgungskonzepte eine Wirtschaftlichkeit nachgewiesen werden. Der Leitfaden „Nachhaltige energetische Modernisierung und Restaurierung historisch wertvoller Stadtquartiere“ zeigt damit Möglichkeiten auf, architektonische, ökologische und ökonomische Aspekte bei der energetischen Sanierung eines Stadtquartiers zusammenzuführen.

# Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1 Anteil der Altersklassen im Wohngebäudebestand
- Abb. 2 Links: Original-Lageplan und landschaftsgärtnerisches Konzept des Planungsentwurfs  
Rechts: Aufnahmen von Gebäudefassaden im heutigen Zustand
- Abb. 3 Lageplan der Plato-Wild-Siedlung, ohne Maßstab
- Abb. 4 Nordwestfassade der Fünfhäusergruppe
- Abb. 5 Formblatt Baubeschreibung
- Abb. 6 Nordostfassade der Fünfhäusergruppe
- Abb. 7 Plato-Wild-Siedlung, historische Aufnahme, Fünfhäusergruppe
- Abb. 8 Plato-Wild-Siedlung, historische Aufnahme, Fünfhäusergruppe Innenhof
- Abb. 9 Safferlingstraße 15, 17, NW, historischer Plan
- Abb. 10 Walderdorffstraße 2, 4, 4a, NO, historischer Plan
- Abb. 11 Walderdorffstraße 2, 4, 4a, SW, historischer Plan
- Abb. 12 Safferlingstraße 15, 17, SO, historischer Plan
- Abb. 13 Neumannstr.18; Dachstuhldetail
- Abb. 14 Safferlingstraße 15, 17, historischer Plan
- Abb. 15 Safferlingstraße 15, 17, Aufmaß
- Abb. 16 Fünfhäusergruppe, historische Aufnahme
- Abb. 17 Grundriss Walderdorffstraße 2, EG
- Abb. 18 Plato-Wild-Siedlung, Fünfhäusergruppe, KG
- Abb. 19 Plato-Wild-Siedlung, Fünfhäusergruppe, EG
- Abb. 20 Safferlingstraße 15, 17, NW, Aufmaß
- Abb. 21 Safferlingstraße 17, SW
- Abb. 22 Walderdorffstraße 2, 4, 4a, NO, Aufmaß
- Abb. 23 Walderdorffstraße 4a, SO
- Abb. 24 Walderdorffstraße 2, 4, 4a, SW, Aufmaß
- Abb. 25 Walderdorffstraße 4a, NW
- Abb. 26 Safferlingstraße 15, 17, SO, Aufmaß
- Abb. 27 Walderdorffstraße, Schemaschnitt
- Abb. 28 Plato-Wild-Siedlung; Walderdorffstraße
- Abb. 29 Innenhof mit Spielplatzanlage und Rasenfläche
- Abb. 30 Lageplan Stadt Regensburg mit Plato-Wild-Siedlung, ohne Maßstab
- Abb. 31 Wohnungstypologie der Fünfhäusergruppe
- Abb. 32 Wohnungstypologie der Fünfhäusergruppe
- Abb. 33 Nutzungsvariante A, B, C, D
- Abb. 34 Ausgewählte Dachbereiche für energetische Nutzung
- Abb. 35 Beispiel für die Umnutzung des Innenhofes
- Abb. 36 Plato-Wild-Siedlung Regensburg (Foto: Zeitler)
- Abb. 37 Blockgruppe Safferlingstraße
- Abb. 38 Bevölkerung nach Altersgruppen im Vergleich
- Abb. 39 Einwohner nach Migrationshintergrund im Vergleich
- Abb. 40 Ausländische Bevölkerung nach Nationalitäten im Vergleich
- Abb. 41 Bevölkerung nach Familienstand
- Abb. 42 Bevölkerung nach Religionszugehörigkeit
- Abb. 43 Arbeitslosendichte nach Nationalität
- Abb. 44 Sozialversicherungspflichtige Beschäftigungsquote
- Abb. 45 Befragte nach Altersgruppen (in %)
- Abb. 46 Herkunft der Befragten
- Abb. 47 Bisherige Wohndauer der Befragten
- Abb. 48 Zufriedenheit mit der jetzigen Wohnsituation
- Abb. 49 Häufig genannte Probleme im Wohnalltag
- Abb. 50 Wunsch nach neuer/anderer Heizung bzw. neuen/besseren Fenstern
- Abb. 51 Haben Sie den Wunsch nach einem Balkon?
- Abb. 52 Wünsche/Vorschläge für die Gestaltung des Innenhofes?
- Abb. 53 Welche Rolle spielt für Sie, dass Ihr Vermieter, der Gemeinnützige Bauverein, eine Genossenschaft ist?
- Abb. 54 Einschätzung des Zusammenlebens im Wohnblock
- Abb. 55 Haben Sie zum Thema „Energetische Sanierung“ eine Meinung?
- Abb. 56 Stören Sie diese Aspekte einer Sanierungsmaßnahme?
- Abb. 57 Wäre es für Sie akzeptabel, wenn Sie für einige Zeit aus Ihrer Wohnung ausziehen müssten und während der Sanierung woanders einquartiert würden (z. B. in einem Baucontainer oder einer anderen Wohnung?)
- Abb. 58 Wie lange sollte aus Ihrer Sicht eine solche Umquartierung höchstens dauern?

- Abb. 59 Wäre es für Sie akzeptabel, in eine bereits sanierte Wohnung im gleichen Gebäude umzuziehen?
- Abb. 60 Angenommen, auf dem Dach wird eine Solarstromanlage gebaut. Würden Sie eine etwas höhere Miete akzeptieren, wenn Sie dafür preisgünstigen Strom direkt vom Bauverein beziehen könnten?
- Abb. 61 Für die Innendämmung müssten die Außenwände Ihrer Wohnung für einige Zeit freigeräumt werden. Würden Sie das akzeptieren?
- Abb. 62 Interesse an neuen Fenstern, automatischer Belüftung sowie Schulungen zum Raumklima
- Abb. 63 Haben Sie Interesse an einer Zentralheizung oder einer zentralen Versorgung mit Warmwasser?
- Abb. 64 Wichtigkeit von Ausstattung/Qualität und niedrigen Mieten
- Abb. 65 Ist Ihnen die Ausstattung oder ein niedriger Mietpreis wichtiger?
- Abb. 66 Wären Sie bereit, für mehr Komfort/Ausstattung mehr Miete zu bezahlen?
- Abb. 67 Genannte Ausstattungsmerkmale, für die Befragte zu höherer Miete bereit wären
- Abb. 68 Wie wichtig ist für Sie, dass durch das Sparen von Energie im Haus (Heizung, Strom, Warmwasser) die Umwelt geschont/das Wohnen günstiger wird?
- Abb. 69 Hoffnungen bezüglich der Sanierung
- Abb. 70 Befürchtungen bezüglich der Sanierung
- Abb. 71 Schematische Übersicht über Aspekte und Verfahren für die bauphysikalische Analyse
- Abb. 72 Wärmedämmverbundsysteme zerstören wesentliche Elemente der historischen Fassadengestaltung und führen zu einer Verzerrung der Proportionen (Fotos: Steffens)
- Abb. 73 a) Wärmedurchgang durch ein einschichtiges (homogenes) Bauteil  
b) Situation für ein mehrschichtiges Bauteil mit gleichem U-Wert und gleicher Wärmestromdichte q
- Abb. 74 Wärmeübergang:  
a) Temperaturverlauf für ein homogenes Bauteil zwischen Innen- und Außenluft. Die Übergangsbereiche sind farbig hervorgehoben.  
b) Änderung der Oberflächentemperaturen bei höherem U-Wert infolge eines geringeren Durchlasswiderstands
- Abb. 75 Links: Materialbedingte Wärmebrücke durch konstruktive Elemente.  
Rechts: Geometrische/formbedingte Wärmebrücke, z. B. Außenecke eines Gebäudes.
- Abb. 76 Carrier-Diagramm: Darstellung des Sättigungsgehalts und des Feuchtegehalts bei gegebener relativer Luftfeuchte
- Abb. 77 Links: Thermogramm eines Gebäudes des Plato-Wild-Ensembles mit erkennbaren Wärmebrücken
- Abb. 78 Dehnungsriß (konstruktiv bedingter, vertikal verlaufender Riss vom Ringbalken abwärts)
- Abb. 79 Auszug aus dem Schadenskatalog mit Lageplan zur Verortung der Rissbilder
- Abb. 80 Kerbriss am Plato-Wild-Ensemble
- Abb. 81 Intakte Sockelmauer im Bereich von Grünflächen und Kiesschüttung
- Abb. 82 Auszug aus dem Schadenskatalog für die Natursteinsockelmauern
- Abb. 83 Schäden am Sandsteinsockel im Bereich von Hauseingängen, Treppen und Gehwegen
- Abb. 84 Sockelmauer aus Sandstein
- Abb. 85 Horizontalsperre gegen aufsteigende Mauerwerksfeuchte
- Abb. 86 Feuchteschäden (Schimmelbefall) in der Küche einer Obergeschosswohnung am früheren Standort einer Sitzgruppe
- Abb. 87 Feuchteschäden (Schimmelbefall, evtl. *Stachybotrys chartarum*) in Schlaf- und Wohnzimmer einer Obergeschosswohnung
- Abb. 88 Schimmelbefall im Bad: Wachstum auf Fliesenfugen und auf dem Holzfensterrahmen
- Abb. 89 Schimmelwachstum an einer Außenwand (vermutlich *Cladosporium herbarum*) in Verbindung mit unzureichender Belüftung
- Abb. 90 Auszug aus Langfristmessungen für eine Wohneinheit des Plato-Wild-Ensembles
- Abb. 91 Oben: Feuchteschäden im Keller an der Nordost-Seite des Plato-Wild-Ensembles.  
Unten links: Schäden an Putz und Farbanstrich durch aufsteigende Bodenfeuchte im Keller.  
Unten rechts: Salzablagerungen und Verkalkung durch aufsteigende Bodenfeuchte auf dem geziegelten Kellerboden.
- Abb. 92 Baustofffeuchtemessungen in verschiedenen Räumen des Fünfhäuserblocks im Plato-Wild-Ensemble
- Abb. 93 Thermogramme der Fensterstürze (Plato-Wild-Ensemble)
- Abb. 94 Thermogramm einer Nordostfassade
- Abb. 95 Thermografie- und Echtbild Raumecke, Obergeschoss, Ausrichtung Norden
- Abb. 96 Thermografie- und Echtbild Raumecke, Obergeschoss, Ausrichtung Osten
- Abb. 97 Thermografie- und Echtbild Fenster, Obergeschoss, Ausrichtung Nordost
- Abb. 98 Thermografie- und Echtbild Raumecke, Schlafzimmer im Erdgeschoss, Ausrichtung Nordost
- Abb. 99 Grundriss Obergeschoss (oben) und Kellergeschoss (unten) sowie entsprechende Fotos der Kernbohrungen
- Abb. 100 Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten der Bohrkerne
- Abb. 101 Aufbau der obersten Geschossdecke im Gebäude Walderdorffstr. 2 des Plato-Wild-Ensembles
- Abb. 102 Häusergruppe an der Walderdorffstraße (Fassade zum Innenhof des Blocks II)
- Abb. 103 a) Schallschutz-Ertüchtigung von Holzbalkendecken, ausgehend von einer Bestandssituation.  
b) Verbesserte Konstruktion mit schwimmendem Estrich und abgehängter Unterdecke.  
c) Mit zusätzlich eingebrachten Betonplatten im Fehlboden. d) Mit einer integrierten Fußbodenheizung als Systemlösung.
- Abb. 104 Messung des Luftschalldämmmaßes (a) und des Normtrittschallpegels (b) der Holzbalkendecke zwischen 1. Obergeschoss und Erdgeschoss sowie der Luftschallübertragung (c) zwischen benachbarten Erdgeschosswohnungen
- Abb. 105 Glaser-Nachweis für eine 38 cm dicke Vollziegelwand mit 3 bzw. 8 cm Calciumsilikat-Innendämmung
- Abb. 106 Thermische Berechnungen für Varianten der Innendämmung an der Stelle einer einbindenden Innenwand
- Abb. 107 Thermische Berechnungen für die Kellerdecke und den Sockelanschlussbereich
- Abb. 108 Thermische Berechnungen für die oberste Geschossdecke im unsanierten Zustand
- Abb. 109 Thermische Berechnungen für ein Bestandholzfenster

- Abb. 110 Thermische Berechnungen für den Anschluss der Holzbalkendecke an der Außenwand
- Abb. 111 Thermische Berechnungen für den Anschluss der Holzbalkendecke an der Außenwand
- Abb. 112 Außenklima nach WTA-Merkblatt 6-2-01 und Standard-Innenklima
- Abb. 113 Wärme- und Feuchteknndaten für die verwendeten Materialien in der hygrothermischen Simulation
- Abb. 114 Links: Kritische Luftfeuchte und Holzfeuchte für Schimmelpilzbildung und Fäulnis nach Kehl
- Abb. 115 Mittlerer Wassergehalt (in kg/m<sup>3</sup>) der Wandkonstruktion im unsanierten Bestand im Verlauf der Simulation
- Abb. 116 Zeitlicher Verlauf von Temperatur, örtlichem Baustoffwassergehalt und relativer Luftfeuchte an vier Vergleichsstellen im Holzbalken
- Abb. 117 Zeitlicher Verlauf von Temperatur, örtlichem Baustoffwassergehalt und relativer Luftfeuchte an der kritischen Balkenkopf-Position
- Abb. 118 Zeitlicher Verlauf von Temperatur, örtlichem Baustoffwassergehalt und relativer Luftfeuchte
- Abb. 119 Zeitlicher Verlauf von Temperatur, örtlichem Baustoffwassergehalt und relativer Luftfeuchte für verschiedene Dämmstoffvarianten
- Abb. 120 Vergleich der Ökobilanzdaten der Dämmstoffe
- Abb. 121 Brandschutzplan für die Fünfhäusergruppe Walderdorffstraße – Safferlingstraße - Lageplan
- Abb. 122 Brandschutzplan für die Fünfhäusergruppe Walderdorffstraße – Safferlingstraße - Schnittbild
- Abb. 123 Brandschutzplan für die Fünfhäusergruppe Walderdorffstraße – Safferlingstraße - Keller und Erdgeschoss
- Abb. 124 Brandschutzplan für die Fünfhäusergruppe Walderdorffstraße – Safferlingstraße - 1./2. OG und Dachgeschoss
- Abb. 125 Links: Brandwand, 30 cm über die Dachhaut geführt. Rechts: Alternative Lösung mit einer Brandwand bis zur Dachhaut
- Abb. 126 Preußische Kappendecke mit freiliegenden Stahlträgern
- Abb. 127 Lageplan Plato-Wild-Siedlung
- Abb. 128 EG Grundriss – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung
- Abb. 129 Entwurf Straßenfassade – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung
- Abb. 130 Bestand Straßenfassade
- Abb. 131 EG Grundriss – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung
- Abb. 132 Entwurf Straßenfassade – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung
- Abb. 133 Bestand Straßenfassade
- Abb. 134 Schnitt durch das Gebäude
- Abb. 135 Schnitt durch die neue Gaube
- Abb. 136 DG Grundriss – Walderdorffstraße 8
- Abb. 137 Grundriss Galeriegeschoss – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung
- Abb. 138 Entwurf Hoffassade – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung
- Abb. 139 DG Grundriss – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung
- Abb. 140 Historische Ansicht Plato-Wild-Siedlung
- Abb. 141 Historische Ansicht Plato-Wild-Siedlung
- Abb. 142 Foto Bestand Plato-Wild-Ensemble
- Abb. 143 Freifächengestaltung Innenhof – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung
- Abb. 144 Freifächengestaltung Innenhof – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung
- Abb. 145 Grundriss und Systemschnitt Pavillons – Walderdorffstraße 8 in der Plato-Wild-Siedlung
- Abb. 146 Funktionsweise eines Plattenwärmetauschers
- Abb. 147 Anordnung der Lüftungsschächte im Gebäudekern und deren Verteilungsmöglichkeiten im Raum
- Abb. 148 Hauptfaktoren für das Behaglichkeitsempfinden in Wohngebäuden
- Abb. 149 Diagramm zur Behaglichkeit abhängig von Luftgeschwindigkeit und -temperatur
- Abb. 150 Grundriss Erdgeschoss
- Abb. 151 Grundriss Erdgeschoss – Balkenlage
- Abb. 152 Grundriss Erdgeschoss
- Abb. 153 Grundriss Erdgeschoss – Balkenlage
- Abb. 154 Sockeldetail Bestandssanierung mit Innendämmung
- Abb. 155 Schnitt Sockel Bestand
- Abb. 156 Schnitt Sockel Sanierung
- Abb. 157 Fensterdetail Bestandssanierung mit Innendämmung
- Abb. 158 Grundriss Fenster Bestand
- Abb. 159 Grundriss Fenster Sanierungsvariante Doppelfenster
- Abb. 160 Grundriss Fenster Sanierungsvariante Drei-Scheiben-Verglasung
- Abb. 161 Deckendetail Bestandssanierung mit Innendämmung
- Abb. 162 Schnitt Balkenkopf Bestand
- Abb. 163 Schnitt Deckenaufbau Bestand
- Abb. 164 Schnitt Balkenkopf Sanierung
- Abb. 165 Schnitt Deckenaufbau Sanierung
- Abb. 166 Grundriss Anschluss Innenwand Bestand
- Abb. 167 Grundriss Anschluss Innenwand Sanierungsvariante 3 cm
- Abb. 168 Grundriss Anschluss Innenwand Sanierungsvariante 8 cm
- Abb. 169 Traufdetail Bestandssanierung mit Innendämmung

- Abb. 170 Schnitt Traufe Sanierung
- Abb. 171 Schnitt Deckenaufbau Dachstuhl Bestand
- Abb. 172 Schnitt Traufe Dachgeschossausbau
- Abb. 173 Schnitt Deckenaufbau Dachstuhl Sanierung
- Abb. 174 Gemittelte Globalstrahlung für die Stadt Regensburg
- Abb. 175 Jährlich gemittelte Sonnenscheindauer für die Stadt Regensburg
- Abb. 176 Monatlich gemittelte Lufttemperatur für Regensburg
- Abb. 177 Jährlich gemittelter Niederschlag in Regensburg
- Abb. 178 Globalstrahlung in Deutschland – mittlere Jahressummen, Zeitraum: 1981 – 2010
- Abb. 179 Für Solarstrahlung nutzbare Dachfläche im Gebäudebereich Fünfhäusereck
- Abb. 180 Mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über dem Grund (Jahresmittel) im Raum Regensburg
- Abb. 181 Integration einer Holzpelletanlage in den Gebäudebestand (Safferlingstr. 15)
- Abb. 182 Gesamtwärmebedarfsermittlung mithilfe von statistischen Kennwerten
- Abb. 183 Gesamtwärmebedarfsermittlung „Reale Verbrauchswerte“
- Abb. 184 Heizlastberechnung Plato-Wild-Ensemble
- Abb. 185 Entscheidungsbaum Nahwärmenetz
- Abb. 186 Priorisierung Energiebereitstellung
- Abb. 187 Flussdiagramm Abwärme
- Abb. 188 Potenzialermittlung Solarenergie
- Abb. 189 Potenzialermittlung Umweltwärme
- Abb. 190 Visio-Flussdiagramm Biomasse.pdf
- Abb. 191 Energieversorgungsmatrix am Beispiel Plato-Wild-Ensemble
- Abb. 192 Geeignete Dachfläche Baublock II D\_1925
- Abb. 193 Geeignete Dachflächen Baublock II E\_1926
- Abb. 194 Jahresdauerlinie Plato-Wild-Ensemble
- Abb. 195 Auslegung Blockheizkraftwerk mithilfe der Jahresdauerlinie
- Abb. 196 Vorgaben zur Schornsteinmündung
- Abb. 197 Schornsteinmündung bei Dachaufbauten
- Abb. 198 Topologien der Hauptverteilung
- Abb. 199 Standard-Trassenführung
- Abb. 200 Haus-zu-Haus-Trassenführung
- Abb. 201 Leitungsführung A
- Abb. 202 Leitungsführung B
- Abb. 203 Beispiel: Sockelheizung
- Abb. 204 Aufbau eines Einrohrsystems
- Abb. 205 Aufbau eines Zweirohrsystems
- Abb. 206 Bezeichnung der Baublöcke
- Abb. 207 Varianten Treppenhäuser
- Abb. 208 Spez. Transmissionswärmeverlust A\_1919
- Abb. 209 Spez. Transmissionswärmeverlust B\_1921
- Abb. 210 Spez. Transmissionswärmeverlust C\_1924
- Abb. 211 Spez. Transmissionswärmeverlust D\_1925
- Abb. 212 Spez. Transmissionswärmeverlust E\_1926
- Abb. 213 Primärenergiebedarf A\_1919
- Abb. 214 Primärenergiebedarf B\_1921
- Abb. 215 Primärenergiebedarf C\_1924
- Abb. 216 Primärenergiebedarf D\_1925
- Abb. 217 Primärenergiebedarf E\_1926
- Abb. 218 Endenergiebedarf A\_1919
- Abb. 219 Endenergiebedarf B\_1921
- Abb. 220 Endenergiebedarf C\_1924
- Abb. 221 Endenergiebedarf D\_1925
- Abb. 222 Endenergiebedarf E\_1926
- Abb. 223 Übersicht Fördermaßnahmen der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)
- Abb. 224 Umlage auf Eigenversorgung gemäß § 61 EEG 2014

# Tabellenverzeichnis

Tab. 1	„Wohnungsschlüssel“ der Fünfhäusergruppe in der Plato-Wild-Siedlung
Tab. 2	Grundgesamtheit und Ausschöpfung der Befragung
Tab. 3	Haushalte nach Zahl der minderjährigen Kinder
Tab. 4	Aus dem Dritten Bauschadensbericht der Bundesregierung (1995): Schadensanteil in % bei Bauschäden
Tab. 5	Wärmeübergangswiderstände aus den DIN-Normen zur Berechnung von Wärmeschutz, Feuchteschutz
Tab. 6	Übersicht der Rissarten und deren Ursachen
Tab. 7	Verfahren zur Mauerwerkssanierung bei Versalzungsschäden
Tab. 8	Typische Wasserproduktion im Haushalt
Tab. 9	Baustofffeuchtemessung in verschiedenen Räumen eines Gebäudes des Plato-Wild-Ensembles
Tab. 10	Trockenrohdichten und Wasseraufnahmekoeffizienten einiger Baustoffe
Tab. 11	Typische U-Werte von Konstruktionen aus verschiedenen Baualtersklassen
Tab. 12	Bauteilparameter für das Plato-Wild-Ensemble
Tab. 13	Anforderungen an den Schallschutz im Geschosswohnungsbau nach DIN 4109
Tab. 14	Vergleich der U-Werte und Tauwassermengen für unterschiedliche Dicken der Calciumsilikat-Innendämmung.
Tab. 15	Aufbau der unsanierten Außenwand
Tab. 16	Aufbau der Außenwand mit 3 cm Calciumsilikat-Dämmung
Tab. 17	Aufbau der unsanierten Kellerwände und der Kellerdecke
Tab. 18	Aufbau von Außenwand und oberster Geschossdecke im Bestand
Tab. 19	Aufbau der Fenster im Bestand
Tab. 20	Materialparameter für die Detailberechnung
Tab. 21	$U_0$ -Werte, Wärmebrückenkoeffizienten und mittlere $U_{av}$ -Werte für verschiedene Varianten der Innendämmung
Tab. 22	Vergleich von Aerogel-Dämmputz mit Dämmplatten aus Styropor (Außendämmung) und Calciumsilikat (Innendämmung)
Tab. 23	Vergleich der Dämmkonzepte hinsichtlich Primärenergiebedarf, Kosten, Amortisationszeit und Recyclingfähigkeit
Tab. 24	Gebäudeklassen (GK) nach Art. 2 BayBO
Tab. 25	Anforderungen an Bauteile laut Musterbauordnung (MBO) der Länder
Tab. 26	Anforderungen an Türen gemäß BayBO
Tab. 27	Brandabschnitte
Tab. 28	Exemplarische Brandschutzbeurteilung von Kellerwänden und Kellerdecke im Plato-Wild-Ensemble
Tab. 29	Brandschutzbeurteilung der oberirdischen Geschosse im Plato-Wild-Ensemble
Tab. 30	Erster Rettungsweg über den notwendigen Treppenraum
Tab. 31	Rauchabzug und Rauchmelder (Quelle: Schaal, Manuel; Riedl, Philipp; Grill, Jennifer, 2014)
Tab. 32	Dokumentation Anlagentechnik Plato-Wild-Ensemble Block II (Quelle: Bauverein)
Tab. 33	Bauteilparameter des Plato-Wild-Ensembles
Tab. 34	Datenblatt Holzvergaser-BHKW
Tab. 35	Eigenschaften der Rohrmaterialien
Tab. 36	Rohrsegmente und Dimensionierung
Tab. 37	Heizlasten der Safferlingstraße 17
Tab. 38	Bauteilliste Bestand
Tab. 39	U-Werte der Bauteile je nach Energiestandard
Tab. 40	Einfluss der Treppenhäuser (a: Treppenhäuser in therm. Hülle; b: Treppenhäuser außerhalb therm. Hülle)
Tab. 41	Dämmstärken
Tab. 42	Überblick über die Varianten
Tab. 43	Beispiel: Ermittlung der verbrauchsgebundenen Kosten
Tab. 44	Berechnung der Annuitätskosten am Beispiel Hackschnitzel-BHKW
Tab. 45	Annahmen für das Annuitätenverfahren
Tab. 46	Vergleich der Annuitätskosten (Nutzwärmebedarf 100 kWh/m <sup>2</sup> a)
Tab. 47	Vergleich der Annuitätskosten (Nutzwärmebedarf 130 kWh/m <sup>2</sup> a)
Tab. 48	Vergleich der Annuitätskosten (Nutzwärmebedarf 160 kWh/m <sup>2</sup> a)
Tab. 49	Überblick über die Investitionskosten für die Sanierung der Gebäudehülle am Gebäudeobjekt A_1919 (Plato-Wild)
Tab. 50	BAFA – Förderung von Solarkollektoranlagen
Tab. 51	BAFA – Förderung von Biomasseanlagen
Tab. 52	BAFA – Förderung von Wärmepumpen
Tab. 53	Berechnung der Einspeisevergütung für eine Biomasseanlage bis 150 kW (Stand: November 2014)
Tab. 54	Aktuelle Möglichkeiten zur Einsparung beim Selbstverbrauch (Stand: März 2013)
Tab. 55	Basisförderungen der Stromerzeugung aus Biomasse nach dem EEG 2014
Tab. 56	Basisförderungen der Stromerzeugung aus Solarenergie in, an oder auf Gebäudeobjekten gemäß § 51 EEG 2014
Tab. 57	Einspeisevergütungen für eine Solaranlage bis 10 kW für den Zeitraum August bis November 2014 (Stand: November 2014)

# Infoboxverzeichnis

Wärmeschutz .....	81
Entstehung von Tauwasser .....	83
Wasserdampf-Diffusion durch Bauteile .....	85
Nutzungsszenario .....	195
Oberflächennahe Geothermie .....	198
Aufstellung Anlagentechnik gemäß Feuerungsverordnung (MFeuVO) .....	228
Rohrmaterialien .....	236

## Literaturhinweise des Herausgebers



### **ready – vorbereitet für altengerechtes Wohnen. Neue Standards und Maßnahmesets für die stufenweise, altengerechte Wohnungsanpassung im Neubau**

Schriftenreihe Zukunft Bauen | Forschung für die Praxis, Band 01, Bonn 2016

Noch nie sind so viele Menschen so alt geworden. Und das weltweit. Die meisten Menschen wünschen sich, auch im Alter in ihrer vertrauten Umgebung zu wohnen. Aber die wenigsten Wohnungen sind auf die veränderten Bedürfnisse im Alter vorbereitet. Noch immer fehlen flexible und zugleich kostengünstige, auch für die Wohnungswirtschaft praktikable Standards für ein barrierearmes Wohnen im Alter. Hierin liegen die zentralen Forschungsfragen: Wie sieht ein altengerechter Wohnungsbau aus und wie kann er darauf „vorbereitet“ („ready“) werden? Das Institut Wohnen und Entwerfen der Universität Stuttgart hat sich dieser Fragestellung angenommen und mit dem Leitthema „ready“ versucht, diese zentrale Frage, die jeden von uns betrifft, zu untersuchen.

Zu beziehen bei: [zb@bbr.bund.de](mailto:zb@bbr.bund.de)  
(Stichwort: ready)



### **best practice – Soziale Faktoren nachhaltiger Architektur. 17 Wohnungsbauprojekte im Betrieb**

Schriftenreihe Zukunft Bauen | Forschung für die Praxis, Band 02, Bonn 2016

Das Team um Professor Manfred Hegger befasste sich mit 17 bereits ausgezeichneten Wohnprojekten, um Aussagen über Planungsparameter einer sozialen Nachhaltigkeit in der Architektur zu liefern. Dabei wurden sämtliche Kriterien zur Sicherung der Prozessqualität, räumlich-gestalterischer und baulich-technischer Qualität berücksichtigt, die zur Erhöhung des Wohlfühlfaktors der Bewohner und somit zur Stabilisierung eines sozial hochwertigen, nachbarschaftlichen Gefüges beitragen. Im Zuge der Begehungen und der Interviews hat sich herausgestellt, dass sich die Faktoren der sozialen Nachhaltigkeit, die sich auf das Zusammenleben der Bewohner auswirken, nur in geringem Maße quantitativ erfassen lassen.

Zu beziehen bei: [zb@bbr.bund.de](mailto:zb@bbr.bund.de)  
(Stichwort: best practice)



# Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung



## **Impressum | Bezugsquelle**

Schriftenreihe „Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis“, Band 03

In der Schriftenreihe „Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis“ veröffentlicht das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn, ausgewählte Forschungsergebnisse der Forschungsinitiative Zukunft Bau. Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren. Die von den Autoren vertretene Auffassung ist nicht unbedingt mit der des Herausgebers identisch.

## **Herausgeber**

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung (BBSR)  
im Bundesamt für Bauwesen und  
Raumordnung (BBR), Bonn  
Deichmanns Aue 31–37  
53179 Bonn

## **Schriftleitung und -betreuung**

Referat II 3, Guido Hagel, Wencke Haferkorn

## **Autoren**

Prof. Dr. Oliver Steffens (Projektleitung) et al.

## **Gestaltung Herausgeberseiten | Korrektorat**

A Vitamin Kreativagentur GmbH, Berlin |  
Dr. phil. Birgit Gottschalk, Nümbrecht

## **Bildnachweis**

Sofern es an den Abbildungen selbst nicht anders angegeben ist, liegen die Rechte bei der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg. Der Buchumschlag überlagert ein Foto von Oliver Steffens mit der Vektorgrafik von Lisa Frank, Kerstin Haidl, Cordula Meiler, Sandra Stanescu (OTH Regensburg).

## **Druck**

Silber Druck oHG, Niestetal

## **Stand**

Januar 2016

## **Kostenfreie Bestellungen**

zb@bbr.bund.de  
Stichwort: RENARHIS

## **Nachdruck und Vervielfältigung**

Alle Rechte vorbehalten. Veröffentlichungen, auch auszugsweise, sind nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

ISBN 978-3-87994-281-7  
ISSN 2199-352



## Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung



**Historische Stadtquartiere nachhaltig restaurieren: Viele Betreiber von Wohngenossenschaften stehen vor der Herausforderung, wertvolle Bestandsgebäude energetisch zu ertüchtigen und zugleich die Wohnkosten sozialverträglich zu halten. Wie soll mit der eingeschränkten energetischen Sanierbarkeit historischer Bestandsgebäude umgegangen werden? Wie lässt sich die Eigenart eines Wohnensembles mit einer wirtschaftlich regenerativen Energieversorgung kombinieren? Und vor allem: Wie hält man sozialverträgliche Miethöhen bei?**

Lösungsansätze für eine nachhaltige Restaurierung und Modernisierung vermittelt dieser Leitfaden am Beispiel der Plato-Wild-Siedlung in Regensburg. Erarbeitet wurden die Grundlagen und Strategien vom Regensburger Professor Oliver Steffens und seinem Team im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts „RENARHIS – Regenerative Energieversorgung als Schwerpunkt einer nachhaltigen Modernisierung historischer Stadtquartiere“.

Mit der Forschungsinitiative Zukunft Bau stärkt das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) in Zusammenarbeit mit dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) die Zukunfts- und Innovationsfähigkeit der Bauwirtschaft. Ziel ist es, die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Bauwesens im europäischen Binnenmarkt zu verbessern und insbesondere den Wissenszuwachs und die Erkenntnisse im Bereich technischer, baukultureller und organisatorischer Innovationen zu unterstützen.



[www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

ISBN 978-3-87994-281-7  
ISSN 2199-3521