



Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH
Prof. Oschatz - Prof. Hartmann - Dr. Winiewska - Prof. Werdin



Verbesserung der Anwendbarkeit der DIN V 18599 für Wohngebäude

Endbericht Juli 2021

Forschungsprogramm

Zukunft Bau

Projektlaufzeit

20. Februar 2020 bis Juli 2021

Aktenzeichen

10.08.17.7-19.67

im Auftrag

des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

bearbeitet von

ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH
Tiergartenstraße 54 in 01219 Dresden
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz
Prof. Dr.-Ing. Thomas Hartmann
Dr.-Ing. Bernadetta Winiewska
Dipl.-Ing. Christine Knaus

Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH
Leipziger Straße 184 in 34123 Kassel
Prof. Dr.-Ing. Anton Maas
Dr.-Ing. Stephan Schlitzberger
Dipl.-Ing. Kirsten Höttges

Inhalt

1	Kurzfassung	3
2	Summary	6
3	Einleitung	9
4	Analyse der Ursachen für die Schwierigkeiten beim Verständnis der Norm und der darauf basierten Nachweisführung	10
4.1	Einführende Bemerkungen	10
4.2	Iteration	11
4.2.1	Allgemeines.....	11
4.2.2	Bestimmung der Nutzenergie für Heizung und Kühlung nach DIN V 18599-1 – Status quo	11
4.2.3	Problembeschreibung	12
4.2.4	Lösungsansätze	13
4.3	Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste	13
4.3.1	Allgemeines.....	13
4.3.2	Berechnung der Lüftungswärmeverluste nach DIN V 18599-2 – Status quo.....	15
4.3.3	Problembeschreibung	24
4.3.4	Lösungsansätze	24
4.4	Bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen	25
4.4.1	Allgemeines.....	25
4.4.2	Berechnung von Wärmepumpen nach DIN V 18599-5 und -8 – Status quo	25
4.4.3	Problembeschreibung	26
4.4.4	Lösungsansätze	26
4.5	Verfahren zur Bestimmung des Deckungsanteils bei unterschiedlichen Wärmeerzeugern bei bivalenten und multivalenten Systemen	27
4.5.1	Allgemeines.....	27
4.5.2	Bestimmung des Deckungsanteils nach DIN V 18599-5, -8 und -9 – Status quo.....	27
4.5.3	Problembeschreibung	28
4.5.4	Lösungsansätze	28
5	Erarbeitung von Vorschlägen zur Verbesserung der Anwendbarkeit	30
5.1	Iteration	30
5.1.1	Methoden und Werkzeuge	30
5.1.2	Randbedingungen für die Berechnungen	38
5.1.3	Quantifizierung der unregelmäßigen Wärmeeinträge der Anlagen-Komponenten	42
5.1.4	Weitere Berechnungsgrößen zur Einschätzung der Einflüsse	48
5.1.5	Untersuchung und Diskussion verschiedener Ansätze für die Kompensation des Iterationsverzichts	51

5.2	Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste	60
5.2.1	Erstellung eines Textentwurfs für DIN V 18599-2	60
5.2.2	Berechnungen zur Vereinfachung der Ermittlung der Lüftungswärmeverluste.....	64
5.3	Bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen	70
5.3.1	Einführende Bemerkungen	70
5.3.2	Nennleistung/Auslegungsleistung	70
5.3.3	Leistungszahlen drehzahl geregelter Wärmepumpe.....	74
5.3.4	Temperatur Speicherbeladung.....	75
5.3.5	Obere Temperaturgrenze (Trinkwarmwasser) für den Betrieb der Wärmepumpe.....	75
5.3.6	Volumenstrom – Primär- und Sekundärseite	76
5.3.7	EVU-Abschaltzeiten	82
5.4	Verfahren zur Bestimmung des Deckungsanteils bei unterschiedlichen Wärmeerzeugern bei bivalenten und multivalenten Systemen	83
5.4.1	Einführende Bemerkungen	83
5.4.2	Hybrid-Kompaktgeräte (L/W-WP + GBW).....	84
5.4.3	Kombination aus Einzelgeräten (L/W-WP + BW).....	108
5.4.4	Kombination eines Kessels mit Power-to-Heat-Lösungen	109
5.5	Weitere Vorschläge.....	111
6	Untersuchung der Auswirkungen der vorgesehenen Änderungen / Vereinfachungen auf den Teil 12 .	113
6.1	Iteration	113
6.2	Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste	113
6.3	Bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen	113
6.4	Verfahren zur Bestimmung des Deckungsanteils bei unterschiedlichen Wärmeerzeugern bei bivalenten und multivalenten Systemen.....	113
7	Literatur	114
Anhang A	115

1 Kurzfassung

Zur energetischen Nachweisführung verweisen die bisherige Energieeinsparverordnung (EnEV 2014) und das aktuelle Gebäudeenergiegesetz (GEG) statisch auf Berechnungsnormen mit einem bestimmten Ausgabedatum. Nach EnEV 2014 wird als Berechnungsgrundlage für Wohngebäude die Normreihe DIN V 18599:2011-12 und alternativ die deutlich ältere DIN V 4701-10:2003-08 in Verbindung mit DIN V 4108-6:2003-06 genannt. Die Berechnungen für Wohngebäude erfolgen bisher jedoch im Regelfall mit DIN V 4701-10:2003-08 in Verbindung mit DIN V 4108-6:2003-06. Insbesondere bei einem öffentlich-rechtlichen Nachweis ohne Förderhintergrund ist der Anteil der mit DIN V 18599 erstellten Ausweise für Wohngebäude bislang relativ gering. Als eine der Ursachen für diesen Zustand werden Schwierigkeiten beim Verständnis der Norm und bei der auf der Norm basierenden Nachweisführung genannt. Bei den seit 2003 nicht mehr aktualisierten Normen DIN V 4701-10 und DIN V 4108-6 haben sich die beiden zuständigen DIN-Normungsausschüsse für eine Zurückziehung ausgesprochen, der formale Prozess dafür ist jedoch noch nicht abgeschlossen.

Gleichzeitig wird die zeitliche Anwendbarkeit dieser veralteten Normen durch das Gebäudeenergiegesetz begrenzt. Nach GEG wird die Anwendung der DIN V 4701-10 in Verbindung mit DIN V 4108-6 öffentlich-rechtlich nur noch bis zum 31. Dezember 2023 möglich sein. Spätestens nach Ablauf dieser Frist wird die DIN V 18599 die zentrale Berechnungsgrundlage für den öffentlich-rechtlichen Nachweis von Wohngebäuden entsprechend GEG und den darauf aufbauenden Regelungen für die Förderprogramme darstellen.

Ziel des Forschungsprojektes ist die Anwendbarkeit der DIN V 18599 für Wohngebäude deutlich zu verbessern. Zunächst wurden dazu die Ursachen für die Schwierigkeiten beim Verständnis der Norm und bei der auf der Norm basierenden Nachweisführung analysiert. Anschließend wurden darauf aufbauend Vorschläge zur Verbesserung der Anwendbarkeit der Norm für Wohngebäude erarbeitet und in den zuständigen Normenausschuss eingebracht. Dabei wurde ein besonderes Augenmerk auf Fragestellungen gelegt, die zu einer Vereinfachung des Berechnungsablaufs führen und für die zukünftige Wärmeversorgung von Wohngebäuden von großer Bedeutung sind.

Die bisherigen Hemmnisse für die Anwendung der DIN V 18599 können verschiedenen Ursachen zugeordnet werden, wie z.B. vergleichsweise großer Umfang der Norm, mangelnde Erfahrungen, Komplexität der gemeinsamen energetischen Gebäudebewertung in den Gewerken Bauphysik, Heizung, RLT und Beleuchtung. Im Rahmen des Forschungsvorhaben wurden vor allem Probleme analysiert und zugehörige Lösungsvorschläge erarbeitet, die im eigentlichen Berechnungsansatz der Norm zu verorten sind. Dabei wurden folgende Themengebiete betrachtet: die Iteration, der Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste, das Bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen sowie das Verfahren zur Bestimmung des Deckungsanteils bei unterschiedlichen Wärmeerzeugern bei bivalenten und multivalenten Systemen.

Der aktuelle iterative Ansatz zur Ermittlung der nutzbaren Anteile der solaren und inneren Wärmeeinträge ist physikalisch stabil und führt über einen sehr weiten Bereich des Wärmequellen-/senken-Verhältnisses zu plausiblen Ergebnissen. Nachteilig wirkt sich jedoch aus, dass eine Bewertung auch von Teilkomponenten des Gebäudes bzw. der Gebäudetechnik nur im Gesamtzusammenhang möglich ist. Allgemeine Aussagen zur energetischen Qualität bzw. Vergleichbarkeit sind schwierig. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde untersucht, ob ein Verzicht auf Iteration möglich wäre. Dabei wurden drei verschiedene Ansätze als Kompensation des Iterations-Verzichts diskutiert. Die grundlegende Idee des formelmäßigen Ansatzes für unregelmäßige Wärmeeinträge beruht darauf, die Bestimmung der unregelmäßigen Wärmeeinträge des Anlagensystems (im Wohnbau zunächst nur Trinkwarmwasser und Heizung) durch eine Schätzfunktion zu ersetzen, um dadurch auf die Iteration verzichten zu können. Der nächste Schritt bei der Entwicklung dieses Ansatzes war, eine Möglichkeit zur Quantifizierung der Parameter der Schätzfunktion abhängig von der Systemkonfiguration zu finden. Die Durchführung von Berechnungen und deren Auswertung hat jedoch gezeigt, dass sich die Optimierungsmethoden nur begrenzt auf die Fülle der unterschiedlichen Systemkonfigurationen anwenden lassen. Es treten Probleme an unterschiedlichen Stellen auf, z.B. ist die Minimierung der Fehlerquadrate

nur unzureichend möglich und die Abbildung eines Jahresgangs, welcher die monatlich unterschiedlichen Phasen der Nutzwärme berücksichtigt, kann nicht erreicht werden. Die Untersuchungen dieses Ansatzes wurden daher im Rahmen der Projektbearbeitung unterbrochen. Bei dem zweiten untersuchten formelmäßigen Ansatz bei Endenergie wird die Nutzenergie Wärme $Q_{h,b,0}$ ohne Verrechnung der unregelmäßigen Wärmeeinträge aus dem Anlagensystem bestimmt. Der Wärmebedarf (Nutzenergie Heizen) wird für die Bestimmung der Wärmeverluste in den Prozessbereichen Heizen und Trinkwassererwärmung verwendet. Gleichzeitig wird ein neuer Berechnungsschritt zwischengeschaltet, in welchem die nicht nutzbaren Wärmeverluste des Heizsystems $Q_{h,f,loss}$ und die nutzbaren Wärmeeinträge des Trinkwarmwassersystems $Q_{h,f,gain}$ bestimmt werden. Für die Übertragbarkeit dieses Ansatzes auf alle Systemkonfigurationen muss – wie für den ersten Ansatz – eine formelmäßige Näherung für die Quantifizierung benötigter Koeffizienten entwickelt werden. Die Quantifizierung der Koeffizienten kann dabei auf analytischem oder empirischem Weg erfolgen. Als dritter Ansatz wird die Kompensation über Belastungsgrade mit zwei denkbaren Vorgehensweisen diskutiert. In diesem Ansatz ist für beide Varianten die Entwicklung einer Schätzfunktion notwendig, welche es erlaubt, die Belastung β_0 ohne Kenntnis der Anlagentechnik(-berechnung) zu quantifizieren, d.h. der belastungsabhängigen Anteile der internen Wärmequellen aus dem Heizungssystem. Bei Variante A dieses Kompensationsansatzes ist der Wegfall der Iteration nicht vollständig gegeben, da die Iterationsschleife auf eine zweistufige Berechnung begrenzt wurde.

Der in der Norm vorhandene Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste ist physikalisch exakt, jedoch kompliziert in der programmtechnischen Umsetzung und späteren Anwendung. Zur Vereinfachung der Ermittlung der Lüftungswärmeverluste ist ein Textentwurf für einen Abschnitt in Teil 2 der DIN V 18599 erarbeitet worden. Dieser Entwurf beinhaltet dabei folgende Vereinfachungen:

- Getrennte Beschreibung des Berechnungsverfahrens zur Bestimmung des Luftwechsels ohne mechanische Lüftungsanlage und zur Bestimmung des Luftwechsels mit mechanischer Lüftungsanlage;
- Ermittlung von Gesamt-Anlagenluftwechseln für Wärmequellen und Wärmesenken und daraus folgend von Gesamt-Wärmetransferkoeffizienten für Lüftungswärmequellen und für Lüftungswärmesenken, welche dann für die Ermittlung der Lüftungswärmequellen und -senken verwendet werden;
- Integration des Abschnitts 5 „Nutzwärmebedarf“ aus DIN V 18599-6, eine Schnittstelle von Teil 2 zu Teil 6 kann somit entfallen;
- Vereinfachung der Ermittlung der Lüftungswärmeverluste durch redaktionelle Überarbeitung;
- Verdeutlichung des Berechnungsverfahrens zur Bestimmung des Luftwechsels anhand von Ablaufplänen (Luftwechsel ohne/mit mechanische/mechanischer Lüftungsanlage sowie Teillüftung) und Systembildern (am Beispiel einer Zu-/Abluftanlage).

Im Bemühen um eine exakte Bewertung vieler technischer Details ist im Zusammenwirken mit den beteiligten Interessenverbänden (BWP, BDH) ein Bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen in die aktuelle DIN V 18599 implementiert worden, welches die Softwareentwicklung vor große Herausforderungen stellt und von den Nutzern die Eingabe einer Vielzahl von kleinteiligen Eingabeparametern erfordert, die häufig nur mit großem Aufwand ermittelt werden können oder im Planungsstadium gar nicht verfügbar sind. Zur Vereinfachung der Anwendbarkeit des Bewertungsverfahrens für elektrische Wärmepumpen wurden im Rahmen des Forschungsprojektes Vorschläge für aktuell fehlende Standardwerte, Zuordnungs- und Berechnungsregeln in dem im Teil 5 und 8 der DIN V 18599 beschriebenen Bewertungsverfahren erarbeitet. Dabei wurden folgende Parameter betrachtet:

- Nennwärmeleistung/Auslegungsleistung
- Leistungszahlen drehzahl geregelter Wärmepumpe
- Temperatur Speicherbeladung
- Obere Temperaturgrenze (Trinkwarmwasser) für den Betrieb der Wärmepumpe
- Volumenstrom und darauf basierend Leistung des Primärkreises
- Volumenstrom und darauf basierend Leistung des Sekundärkreises
- EVU-Abschaltzeiten.

Bivalente Systeme spielen für die Erreichung der Klimaziele im Gebäudebereich eine wesentliche Rolle, auch in den zukünftigen Förderprogrammen sowie Austauschverpflichtungen sind sie an zentraler Stelle zu finden. Bivalente Systeme, die sowohl elektrischen Strom als auch gasförmige oder flüssige Energieträger zur Wärmebereitstellung nutzen, leisten einen wesentlichen Beitrag zur besseren Ausnutzung der in wesentlichen Teilen volatilen Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen und zum sparsamen Umgang mit fossilen Brennstoffen. In der DIN V 18599 sind bisher nur für spezielle – in der Vergangenheit übliche - Kombinationen Vorgaben enthalten, wie bivalente bzw. multivalente Erzeugungsvarianten zu berechnen und im Standardfall zu dimensionieren sind. Dies führt immer wieder zu Nachfragen, zum Teil aber auch zur praktischen Realisierung energetisch oder wirtschaftlich ungünstiger Konzepte. Eine geeignete Ergänzung der Norm könnte diese Probleme beseitigen. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden daher Berechnungsansätze für marktübliche Hybrid-Kompaktgeräte, Kombinationen aus (ggf. nachträglich installierten) Luft-Wasser-Wärmepumpen mit entweder bereits vorhandenen Kesseln oder neu installierten (Brennwert-)Kesseln und PtH-Nutzung von sonst abgeregeltem erneuerbarem Strom erarbeitet. Dabei wurde basierend auf den durchgeführten Berechnungen für die marktüblichen Hybrid-Kompaktgeräte ein Berechnungsansatz zur Bestimmung des Deckungsanteils der Luft/Wasser-Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe primär in Abhängigkeit des Leistungsanteils der Wärmepumpe an der Gebäudeheizlast α_{hp} und des Verhältnisses der Kennwerte für Strom und Gas $f_{Strom/i}$ abgeleitet. Für die Kombination aus Einzelgeräten – eine elektrisch betriebene Luft/Wasser-Wärmepumpe und ein gas- oder ölbetriebener Brennwertkessel – kann der Deckungsanteil der Wärmepumpe in Abhängigkeit von der eingesetzten Steuereinheit entweder wie für die marktüblichen Hybrid-Kompaktgeräte oder entsprechend dem Berechnungsansatz nach DIN V 18599 Teil 5 und 8 für Wärmepumpen bestimmt werden. Aus technischer Sicht sind beide Fälle möglich. Die Deckungsanteile bzw. die resultierende Wärmeabgabe der Wärmepumpe sind damit von der Regelstrategie abhängig.

Abschließend wurde untersucht, welche Auswirkungen die vorgeschlagenen Änderungen/Vereinfachungen auf Teil 12 der DIN V 18599 haben könnten. Die erarbeiteten Vorschläge für den Wegfall der Iteration im Hauptverfahren der DIN V 18599 haben keinen direkten Einfluss auf den Teil 12. Je nachdem welcher der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens vorgestellten Ansätze für das Hauptverfahren weiterverfolgt wird, ist jedoch zu prüfen, ob gegebenenfalls eine Anpassung im Tabellenverfahren vorgenommen werden sollte. Der erarbeitete Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste hat nur sehr geringe Auswirkungen auf den Teil 12. Zum einen ist dies begründet dadurch, dass der erarbeitete Berechnungsalgorithmus im Wesentlichen durch eine Umstrukturierung und Zusammenfassung bereits vorhandener Gleichungen resultiert und zum anderen wird in Teil 12 bereits der Ansatz zur Bestimmung eines Gesamt-Luftwechsels verfolgt. Die zur Vereinfachung der Anwendbarkeit des Bewertungsverfahrens für elektrische Wärmepumpen erarbeiteten Vorschläge für aktuell fehlende Standardwerte, Zuordnungs- und Berechnungsregeln im Teil 5 und 8 der DIN V 18599 sollten, wenn überhaupt, nur geringe Auswirkungen auf den Teil 12 haben. Hinsichtlich der Bestimmung der Nennleistung der Wärmepumpe weicht der aktuelle Vorschlag vom im Tabellenverfahren angesetzten Standardwert für die Nennleistung geringfügig ab. Bei einer Übernahme des Vorschlages bezüglich der Anpassungen im Bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen sollte der im Teil 12 umgesetzte Algorithmus im Detail geprüft werden. Der erarbeitete Berechnungsalgorithmus zur Bestimmung des Deckungsanteils der Wärmepumpe beim Einsatz eines Hybrid-Kompaktgerätes bzw. einer Kombination aus Einzelgeräten – eine elektrisch betriebene Luft/Wasser-Wärmepumpe und ein gas- oder ölbetriebener Brennwertkessel – sowie der Berechnungsansatz für Kombination mit Power-to-Heat-Lösungen haben keinen direkten Einfluss auf den aktuellen Teil 12. Perspektivisch ist jedoch zu überprüfen, ob die betrachteten Anlagenkombinationen in geeigneter Form in das Tabellenverfahren aufgenommen werden können.

2 Summary

Both the former Energy Saving Ordinance (*Energieeinsparverordnung 2014, EnEV 2014*) and the current Buildings Energy Act (*Gebäudeenergiegesetz, GEG*) cite calculation standards to be used for the calculations required for energy performance certificates (*Energiebedarfsausweise*).

EnEV 2014 named the DIN V 18599:2011-12 as default calculation method and the much older DIN V 4108-6:2003-06 with DIN V 4701-10:2003-08 as an alternative (only for residential buildings). In practice, however, most energy performance certificates for residential buildings are based on DIN V 4108-6/4701-10. Especially for cases with no subsidies in mind, DIN V 18599 is rarely used. One often-stated reason is the norm – and hence the calculations required for the energy performance certificate – being too complicated.

As for the DIN V 4108-6 and 4701-10, which have not been updated since 2003, the 2 responsible standardisation committees voted to withdraw them – however, the process is not finalised yet formally. The present GEG allows energy performance certificates on the basis of DIN V 4108-6/4701-10 for a transition period only (until 31.12.2023); after that only DIN V 18599 can be used.

The present study aims to improve the practicability of the DIN V 18599 for residential buildings considerably. In a first step, issues in the comprehension and application of the standard were analysed. Following that, ideas for improvements were formulated and submitted to the responsible standardisation committees. Special attention has been paid to issues concerning the simplification of the calculation and future means of heat supply for residential buildings.

Present hurdles in the application of the DIN V 18599 can be categorised as follows:

- Scope and sheer page count (11 regular parts / almost 1.300 pages - not counting the simplified table-based methods described in part 12 and 13)
- Lacking experience/practice with the standard
- Complexity of the calculation methods used as well as of the combined approach including building specifics, HVAC and lighting

Particularly the following points could be improved:

- Iterative calculation algorithm approach
- Calculation algorithm for ventilation heat losses
- Calculation approach for heat pumps
- Allocation of required heat generator output to combinations of 2 or more generators

Iteration

The current DIN V 18599 uses an iterative approach to model the feedback between uncontrolled heat gains (e. g. solar gains, internal distribution heat losses etc.) and the required heat generator output. This approach determines the portion of the solar and internal heat gains that is beneficial to the building (by lowering the amount of heat required from the emission system) based on the ratio between heat gains and losses. This approach is mathematically stable and returns plausible results over a wide range of gain-loss ratios. However, with this approach, an exact evaluation of separate components or aspects of the building and/or its HVAC systems always requires the overall context (whole building + complete HVAC have to be put in); thus, making it difficult to draw generalised conclusions for separate items out of context.

The present study investigated whether this iteration can be avoided. Three alternative approaches were discussed.

Ventilation heat losses

The presently utilised approach models ventilation exactly, but is hard to comprehend – affecting both software implementation and actual application from a user standpoint. Within this study, simplifications were suggested as follows:

- Clear distinction between determination of air change rates for either free or fan-assisted ventilation by mainly editorial separation
- Introduction of overall air change rates and overall heat transfer coefficients for the entireties of ventilation heat sources and ventilation heat sinks, allowing for an easier-to-understand calculation and presentation of interim results
- Integration of an essential chapter from another part of the standard (Chapter 5 DIN V 18599-6), decreasing the need for data transfer / scattering of data between parts of the standard
- Further editorial simplifications
- Better illustration of workflow

Heat pumps

A very detailed calculation method for heat pumps – compiled with the help of the involved interest groups (BWP, BDH) – had been incorporated into the DIN V 18599:2018-09. However, in its current state, this method has been shown to both be hard to implement correctly on the software side and, in terms of actual application, to require a lot of input parameters, many of which are hard or even impossible to know at the planning stage.

The present study suggests standard values / methods where previously missing as well as measures to improve comprehensibility. The considerations include these parameters:

- Rated / design heat output
- COP of variable-speed heat pumps
- Temperature of buffer vessel
- Maximum temperature for heat pump operation
- Volume flow rates and required power for primary and secondary circuit
- Provider switch-off times

Bivalent systems

Bivalent heating systems are seen as a major component to reach the climate targets for the building sector. Bivalent heating systems capable of using both electricity and fuels for heat generation can contribute greatly to better utilisation of mostly volatile renewable energy sources and minimised use of fossil resources.

The current version of the DIN V 18599 only deals with few combinations that were seen as most common in the past – however, it doesn't provide any rules for some of the more recent bivalent systems. This often leads to questions on how to deal with these newer systems, but also to the execution of energetically and/or economically unfavourable solutions.

Within the present study, approaches were suggested for the following systems:

- Common compact hybrid heat generators (heat pump + condensing boiler in one unit)
- Combinations of discrete heat pumps with old or new boilers

- PTH with electricity from renewable sources that could not be utilised otherwise

For compact hybrid units, a method was suggested to determine the heat pump's and the boiler's portion of the generator output (energy) based on the ratio of their respective power outputs. For systems made up of discrete devices, depending on the control scheme, either the suggested approach for compact units or the existing methods described in part 5 and 8 of the standard can be used.

Miscellaneous

The study looks into whether the suggested changes, which concentrated on the detailed method described in DIN V 18599-1 to -11, would affect the simplified table-based approach described in DIN V 18599-12:

- The discussed methods to avoid the iteration present in the current standard would not affect part 12.
- The proposed changes regarding ventilation should not affect part 12 significantly. For one thing, the proposed changes, mostly only restructure the already-implemented calculation method, for another, part 12 already follows the idea of an overall/total air change rate.
- The proposed changes regarding heat pumps should, if anything, have only little effect on part 12. The suggested method for the determination of the heat pump's power output differs slightly from what is shown in the table-based approach – in case of implementation, the latter should be checked in more detail.
- The proposed methods for bivalent systems would not affect part 12 in its current version because these systems are not present there yet. However, in the medium term, implementation in the table-based method should be considered as well.

3 Einleitung

Zur energetischen Nachweisführung verweist die bisherige Energieeinsparverordnung [1] statisch auf Berechnungsnormen mit einem bestimmten Ausgabedatum. Als Berechnungsgrundlage für Wohngebäude wird die Normreihe DIN V 18599:2011-12 [2] und alternativ die deutlich ältere DIN V 4701-10:2003-08 [3] in Verbindung mit DIN V 4108-6:2003-06 [4] genannt. Die Berechnungen für Wohngebäude erfolgen bisher jedoch im Regelfall mit DIN V 4701-10:2003-08 in Verbindung mit DIN V 4108-6:2003-06. Insbesondere bei einem öffentlich-rechtlichen Nachweis ohne Förderhintergrund ist der Anteil der mit DIN V 18599 erstellten Ausweise für Wohngebäude bislang relativ gering. Als eine der Ursachen für diesen Zustand werden Schwierigkeiten beim Verständnis der Norm und bei der auf der Norm basierenden Nachweisführung genannt. Bei den seit 2003 nicht mehr aktualisierten Normen DIN V 4701-10 und DIN V 4108-6 haben sich die beiden zuständigen DIN-Normungsausschüsse für eine Zurückziehung ausgesprochen, der formale Prozess dafür ist jedoch noch nicht abgeschlossen.

Gleichzeitig wird die zeitliche Anwendbarkeit dieser veralteten Normen durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG) [5] begrenzt. Nach GEG wird die Anwendung der DIN V 4701-10 in Verbindung mit DIN V 4108-6 öffentlich-rechtlich nur noch bis zum 31. Dezember 2023 möglich sein. Spätestens nach Ablauf dieser Frist wird die DIN V 18599 die zentrale Berechnungsgrundlage für den öffentlich-rechtlichen Nachweis von Wohngebäuden entsprechend GEG und den darauf aufbauenden Regelungen für die Förderprogramme darstellen.

Ziel des Forschungsprojektes ist die Anwendbarkeit der DIN V 18599 für Wohngebäude deutlich zu verbessern. Zunächst werden dazu die Ursachen für die Schwierigkeiten beim Verständnis der Norm und bei der auf der Norm basierenden Nachweisführung analysiert. Anschließend werden darauf aufbauend Vorschläge zur Verbesserung der Anwendbarkeit der Norm für Wohngebäude erarbeitet und in den zuständigen Normenausschuss eingebracht. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf Fragestellungen gelegt, die zu einer Vereinfachung des Berechnungsablaufs führen und für die zukünftige Wärmeversorgung von Wohngebäuden von großer Bedeutung sind.

Die bisherigen Hemmnisse für die Anwendung der DIN V 18599 können verschiedenen Ursachen zugeordnet werden, wie z.B. vergleichsweise großer Umfang der Norm, mangelnde Erfahrungen, Komplexität der gemeinsamen energetischen Gebäudebewertung in den Gewerken Bauphysik, Heizung, RLT und Beleuchtung.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhaben werden vor allem Probleme analysiert und zugehörige Lösungsvorschläge erarbeitet werden, die im eigentlichen Berechnungsansatz der Norm zu verorten sind:

- 1) Iteration
- 2) Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste
- 3) Bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen
- 4) Verfahren zur Bestimmung des Deckungsanteils bei unterschiedlichen Wärmeerzeugern bei bivalenten und multivalenten Systemen

Im Rahmen des Forschungsprojektes werden Beispielberechnungen einschließlich Vergleichs mit der bisherigen Nachweisführung durchgeführt. Darüber hinaus wird diskutiert, inwieweit die vorgeschlagenen Änderungen/Vereinfachungen Auswirkungen auf den Teil 12 der DIN V 18599 haben könnten.

4 Analyse der Ursachen für die Schwierigkeiten beim Verständnis der Norm und der darauf basierten Nachweisführung

4.1 Einführende Bemerkungen

Die bisherigen Hemmnisse für die Anwendung der DIN V 18599 können verschiedenen Ursachen zugeordnet werden, wie z.B. vergleichsweise großer Umfang der Norm, mangelnde Erfahrungen, Komplexität der gemeinsamen energetischen Gebäudebewertung in den Gewerken Bauphysik, Heizung, RLT und Beleuchtung.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhaben werden vor allem Probleme analysiert und zugehörige Lösungsvorschläge erarbeitet werden, die im eigentlichen Berechnungsansatz der Norm zu verorten sind:

1) Iteration

Der iterative Ansatz zur Ermittlung der nutzbaren Anteile der solaren und inneren Wärmeeinträge ist physikalisch stabil und führt über einen sehr weiten Bereich des Wärmequellen-/senken-Verhältnisses zu plausiblen Ergebnissen. Nachteilig wirkt sich jedoch aus, dass eine Bewertung auch von Teilkomponenten des Gebäudes bzw. der Gebäudetechnik nur im Gesamtzusammenhang möglich ist. Allgemeine Aussagen zur energetischen Qualität bzw. Vergleichbarkeit sind nicht möglich. Bei der Erarbeitung der Tabellenverfahren für Wohngebäude (Teil 12) und Nichtwohngebäude (Teil 13) sind vereinfachte Ansätze zur Bestimmung des Ausnutzungsgrades eingeführt worden. Es ist zu prüfen, ob diese – ggf. nach Anpassungen - auch für das Gesamtverfahren geeignet sind.

2) Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste

Der in der Norm vorhandene Berechnungsansatz ist physikalisch exakt, jedoch kompliziert in der programmtechnischen Umsetzung und späteren Anwendung. Hier sollen Möglichkeiten zur Vereinfachung bei hinreichender Genauigkeit gesucht werden.

3) Bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen

Elektrische Wärmepumpen stellen die zentrale Technologie der „Wärmewende“ dar. Im Bemühen um eine exakte Bewertung vieler technischer Details ist im Zusammenwirken mit den beteiligten Interessenverbänden (BWP, BDH) ein Bewertungsverfahren in die DIN V 18599 implementiert worden, welches die Softwareentwicklung vor große Herausforderungen stellt und von den Nutzern die Eingabe einer Vielzahl von kleinteiligen Eingabeparametern erfordert, die häufig nur mit großem Aufwand ermittelt werden können oder im Planungsstadium gar nicht verfügbar sind. Hier muss das Verfahren deutlich vereinfacht werden.

4) Verfahren zur Bestimmung des Deckungsanteils bei unterschiedlichen Wärmeerzeugern bei bivalenten und multivalenten Systemen

Bivalente Systeme spielen für die Erreichung der Klimaziele im Gebäudebereich eine wesentliche Rolle, auch in den zukünftigen Förderprogrammen sowie Austauschverpflichtungen sind sie an zentraler Stelle zu finden. In der DIN V 18599 sind bisher aber nur in Ansätzen (Mikro-KWK) Vorgaben enthalten, wie bivalente bzw. multivalente Erzeugungsvarianten zu dimensionieren sind. Dies führt immer wieder zu Nachfragen, zum Teil aber auch zur praktischen Realisierung energetisch oder wirtschaftlich ungünstiger Konzepte. Eine geeignete Ergänzung der Norm könnte diese Probleme beseitigen.

4.2 Iteration

4.2.1 Allgemeines

DIN V 18599 ermöglicht eine Berechnung von Wohngebäuden mit sehr unterschiedlichen bauphysikalischen und anlagentechnischen Eigenschaften – vom unsanierten Bestandsbau mit veralteter Anlagentechnik bis zum hoch wärmegeprägten Effizienzhaus mit modernsten technischen Systemen. Dieser breite Anwendungsbereich führt zu sehr unterschiedlichen unregulierten Wärmeeinträgen sowie ebenso unterschiedlichen sonstigen Wärmequellen und Wärmesenken, was in der Folge zu differierenden Ausnutzungsgraden der unregulierten Wärmeeinträge führt. Die unregulierten Wärmeeinträge der Anlagentechnik und ihre Ausnutzbarkeit hängen von der bereitzustellenden Wärmemenge ab, die Wärmemenge wiederum wird von den unregulierten Wärmeeinträgen beeinflusst.

Im Berechnungsalgorithmus werden diese Abhängigkeiten durch eine iterative Vorgehensweise berücksichtigt – die Nutzenergiebilanz wird mehrfach aufgestellt.

4.2.2 Bestimmung der Nutzenergie für Heizung und Kühlung nach DIN V 18599-1 – Status quo

Die Nutzenergiebedarfe für Heizung und Kühlung (Heizwärmebedarf, Kühlbedarf) werden in einem iterativen Verfahren bestimmt. Da zur Bestimmung der Nutzenergie allen Wärmequellen alle Wärmesenken gegenübergestellt werden müssen, sind diese zunächst vollständig zu berechnen. Die Höhe der Wärmequellen und Wärmesenken hängt u. a. von baulichen Gegebenheiten und von der Nutzung ab. Die meisten Bilanzanteile können einmalig ohne Iteration ermittelt werden (z. B. innere Wärmequellen aus Personen oder solare Wärmequellen). Die anlagentechnisch bedingten Wärmequellen und Wärmesenken (z. B. Wärmeeinträge aus Heizungsverteilungen) sind jedoch von der Höhe der Nutzenergie selbst abhängig. Da die Nutzenergie aber erst das Ziel der Gegenüberstellung von Wärmequellen und Wärmesenken ist, erfolgt eine Iteration.

Wärmequellen und Wärmesenken beschreiben Energiezuflüsse und Energieabflüsse, die nicht direkt über das Heiz- und Kühlsystem zum Zwecke der Temperaturregelung dem Raum zugeführt werden.

Die Wärme-/Kälteeinträge werden in vier Kategorien zusammengefasst:

- 1) Es werden Transmissionswärmeströme über opake und transparente Bauteilflächen bilanziert.
- 2) Es werden Lüftungswärmeströme bilanziert, die sich durch geöffnete Fenster, den Betrieb von Lüftungsanlagen und Fugenlüftung (Infiltration) ergeben.
- 3) Unter den solaren Wärmequellen/Wärmesenken sind Energiemengen zu verstehen, die über opake oder transparente Bauteile im Gebäude bzw. in der beheizten Gebäudezone eintreffen.
- 4) Zu den inneren Wärmequellen/ senken zählen alle Wärme-/Kälteeinträge, die innerhalb des Gebäudes bzw. der Gebäudezone entstehen. Zu nennen sind für Betrachtung von Wohngebäuden die Wärmeabgaben aus der Beleuchtung, von Personen und elektrischen Geräten. Darüber hinaus trägt auch die Anlagentechnik selbst zu den inneren Wärmesenken/Wärmequellen bei. Hier sind Energiemengen zu nennen, die aus dem Heizsystem, dem Kühlsystem, dem raumlufttechnischen System und dem Trinkwarmwassersystem über Verteilungen, Speicher usw. abgegeben werden.

Die Lösung der Bilanzgleichung erfolgt iterativ. Ein Teil der inneren Wärmequellen aus der Anlagentechnik kann erst berechnet werden, wenn die Anlagenauslastung bekannt ist. Diese ergibt sich erst in der Abfolge der Bilanz, wenn die notwendige, dem Gebäude bzw. der Gebäudezone zuzuführende Nutzwärme für Heizung und Kühlung bekannt ist. Die Nutzwärme ist wiederum ein Ergebnis der Gegenüberstellung von Wärmequellen und -senken für das Gebäude bzw. die Gebäudezone.

Im ersten Schritt erfolgt für die Wohnnutzung die Zusammenstellung der folgenden Wärmequellen und -senken:

- Transmission: Q_T

- Lüftung: $Q_{V,inf}$, $Q_{V,win}$, $Q_{V,mech}$
- passive solare Wärmequellen: $Q_{S,trans}$, $Q_{S,op}$
- innere Wärmequellen (ohne Anlagentechnik): Q_i

Anhand dieser Bilanzanteile wird die dem Gebäude zuzuführende Nutzenergie zunächst ohne die inneren Wärmequellen und -senken aus Heizung/Kühlung/Lüftung/Trinkwarmwasser überschlägig ermittelt. Eine überschlägige Anlagenauslastung ergibt sich und die restlichen, anlagentechnisch bedingten inneren Wärmequellen/senken werden ebenfalls ermittelt:

- innere Wärmequellen aus dem Trinkwarmwassersystem: $Q_{i,w}$
- innere Wärmequellen/-senken aus der Wohnungslüftung: $Q_{i,rv}$
- innere Wärmequellen aus dem Heizungssystem: $Q_{i,h}$
- innere Wärmequellen aus dem Kühlsystem und der Wohnungskühlung: $Q_{i,c}$, $Q_{i,rc}$

Die Ermittlung der Wärmequellen/-senken der Transmission sowie der solaren Wärmequellen ist in DIN V 18599-2 festgelegt. Die Wärmequellen/-senken der Lüftung werden ebenfalls in DIN V 18599-2 behandelt. DIN V 18599-2 bis DIN V 18599-10 geben jeweils Hinweise zur Bilanzierung der inneren Wärmequellen/-senken.

Der Ablauf der Nutzenergie-Bilanzierung umfasst in Kurzform dargestellt folgende Schritte.

- 1) Erste überschlägige Bilanzierung des Nutzwärmebedarfs der Zone nach DIN V 18599-2 unter Berücksichtigung der bereits bekannten Wärmequellen/-senken.
- 2) Vorläufige Aufteilung der bilanzierten Nutzenergie auf die Versorgungssysteme (Wohnungslüftung und Wohnungskühlung nach DIN V 18599-6, Heizsystem nach DIN V 18599-5).
- 3) Ermittlung der Wärmequellen durch die Heizung in der Zone (Verteilung, Speicherung, gegebenenfalls Erzeugung in der Zone) nach DIN V 18599-5 anhand des überschlägigen Nutzwärmebedarfs.
- 4) Ermittlung der Wärmequellen durch die Trinkwarmwasserbereitung (Verteilung, Speicherung, gegebenenfalls Erzeugung in der Zone) nach DIN V 18599-8.
- 5) Bilanzierung des Nutzwärmebedarfs der Zone nach DIN V 18599-2. Die Iteration mit den Schritten 1) bis 4) ist so lange zu wiederholen, bis zwei aufeinander folgende Ergebnisse für den Nutzwärmebedarf sich um nicht mehr als 0,1 % voneinander unterscheiden, jedoch höchstens 10 Mal. Die sich ergebende Abweichung zwischen den letzten beiden Iterationsschritten muss bei der Berechnung angegeben werden.

4.2.3 Problembeschreibung

Der iterative Berechnungsansatz ist damit mit einer Reihe von Nachteilen verbunden, wie z.B.:

- Eine energetische Bewertung von Einzelkomponenten bzw. Teilsystemen wird erschwert, da die energetischen Eigenschaften nur im Gesamtsystem erkennbar werden.
- Es entsteht zusätzlicher Abstimmungsbedarf für Planer und Ausführende, Potenziale zur energetischen und wirtschaftlichen Optimierung werden nur teilweise erschlossen.
- Die Ergebnisse der Berechnungsschritte können alternieren, unabhängig von der Anzahl der Iterationsschritte wird keine Konvergenz erreicht. In der Praxis tritt dieser Effekt meist nur in einigen Monaten auf. Es wird kein korrektes Berechnungsergebnis erreicht, der Softwareanwender erhält eine Fehlermeldung, die er ohne Detailkenntnisse des Verfahrens kaum bewerten kann.
- Ein Heizwärmebedarf kann nur mit zusätzlichen Angaben ausgegeben werden, da er in jedem Iterationsschritt einen anderen Wert annimmt.

4.2.4 Lösungsansätze

Im Zuge der weiteren Projektbearbeitung werden unterschiedliche Ansätze zur Vorgehensweise beim Verzicht auf eine Iteration untersucht. Hierbei kommen Möglichkeiten in Betracht, die in bereits vorhandenen Berechnungsansätzen angewendet werden. Dies sind der Teil 12 der DIN V 18599 (erscheint voraussichtlich Herbst 2020) sowie die DIN V 4701-10. Die Ansätze werden analysiert, gegenübergestellt und sowohl hinsichtlich der Genauigkeit des Berechnungsergebnisses als auch der Anwendbarkeit (und damit der potenziellen Akzeptanz der Anwender) bewertet.

Die verschiedenen Ansätze können wie folgt kurz beschrieben werden:

- a) Der Ausnutzungsgrad für Wärmeeinträge der Anlagentechnik wird in Abhängigkeit vom Quellen-/Senkenverhältnis des Baukörpers sowie von Parametern der anlagentechnischen Komponenten, z. B. Aufstellort Wärmeerzeuger oder Lage der Rohrleitungen bestimmt; siehe Tabelle 1 mit beispielhafter Darstellung der Anteile nutzbarer Wärme von Heizungsanlagen aus dem Vorschlag zu Teil 12 der DIN V 18599

⇒ Vorgehen gem. Teil 12 der DIN V 18599

Tabelle 1: Bestimmung des Anteils nutzbarer Wärme von Heizungsanlagen

Anteil nutzbarer Wärme von Heizungsanlagen										
Prozessbereich	Verteilung		Speicherung		Erzeugung		Auslegungstemperaturen			
Lage	Verteilungen im unbeheizten Bereich	Verteilungen im beheizten Bereich	im unbeheizten Bereich	im beheizten Bereich	im unbeheizten Bereich	im beheizten Bereich	90/70°C	70/55°C	55/45°C	35/28°C
f_{A-h}	x		x		x		0,039	0,028	0,020	0,008
		x	x		x		0,078	0,055	0,038	0,015
		x		x		x	0,123	0,099	0,082	0,057
		x	x			x	0,118	0,095	0,077	0,053

- b) Der Ausnutzungsgrad für Wärmeeinträge der Anlagentechnik wird in Abhängigkeit vom Quellen-/Senkenverhältnis des Baukörpers bestimmt
- Einführen eines nur vom Wärmequellen/Wärmesenken-Verhältnis gem. Bilanzierung ohne Iteration abhängigen Ausnutzungsgrades der unregelmäßigen Wärmeeinträge
 - Es besteht die Möglichkeit der Ergänzung von tabellierten bzw. grafischen Lösungen für typische anlagentechnische Varianten zum bisherigen Bewertungsansatz (ähnlich wie Beiblatt 1 zu DIN V 4701-10) als Ergänzung zur bisherigen Struktur der Normenreihe DIN V 18599
 - ⇒ Vorgehen gem. DIN V 4701-10 mit modifiziertem Ansatz
- c) Der Ausnutzungsgrad für Wärmeeinträge der Anlagentechnik wird pauschal festgelegt
- Unabhängig vom Wärmequellen/Wärmesenken-Verhältnis des Baukörpers
 - ⇒ Vorgehen gem. DIN V 4701-10

4.3 Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste

4.3.1 Allgemeines

Der Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste wird in Teil 2 der DIN V 18599:2018 beschrieben. Die Lüftungswärmesenken und -quellen setzen sich dabei aus folgenden Anteilen zusammen

- Luftwechsel durch Infiltration,
- Luftwechsel durch Fensterlüftung,

- Luftwechsel durch mechanische Lüftung,
- Luftwechsel durch Lüftung in unbeheizten oder ungekühlten Gebäudezonen,
- Luftwechsel zwischen Zonen.

Der in der Norm vorhandene Berechnungsansatz ist physikalisch exakt, jedoch kompliziert in der programmtechnischen Umsetzung und späteren Anwendung. In den nachfolgenden Abschnitten wird der Status quo für die einzelnen Luftwechselanteile zunächst aufgezeigt und mit einem Abschnitt zur Beschreibung der Ursachen für Schwierigkeiten beim Verständnis der Norm abgeschlossen/vervollständigt.

Die Lüftungswärmesenken und die Lüftungswärmequellen werden im Allgemeinen wie folgt für die Gebäudezonen nach Teil 2 berechnet:

$$\begin{aligned}
 Q_{V,sink} &= Q_{V,inf,sink} + Q_{V,win,sink} + Q_{V,mech,sink} + Q_{V,z,sink} \\
 &= H_{V,inf} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t + H_{V,win} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t + H_{V,mech} \cdot (\theta_i - \theta_{V,mech}) \cdot t + H_{V,z} \cdot (\theta_i - \theta_z) \cdot t \\
 &= n_{inf} \cdot V \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t + n_{win} \cdot V \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t + n_{mech} \cdot V \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a \cdot (\theta_i - \theta_{V,mech}) \cdot t + \dot{V}_{z,d} \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a \cdot (\theta_i - \theta_z) \cdot t \\
 &= t \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a \cdot \left[V \cdot \left[(\theta_i - \theta_e) \cdot (n_{inf} + n_{win}) + n_{mech} \cdot (\theta_i - \theta_{V,mech}) \right] \right] + \dot{V}_{z,d} \cdot (\theta_i - \theta_z)
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{V,source} &= Q_{V,inf,source} + Q_{V,win,source} + Q_{V,mech,source} + Q_{V,z,source} \\
 &= H_{V,inf} \cdot (\theta_e - \theta_i) \cdot t + H_{V,win} \cdot (\theta_e - \theta_i) \cdot t + H_{V,mech} \cdot (\theta_{V,mech} - \theta_i) \cdot t + H_{V,z} \cdot (\theta_z - \theta_i) \cdot t \\
 &= n_{inf} \cdot V \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a \cdot (\theta_e - \theta_i) \cdot t + n_{win} \cdot V \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a \cdot (\theta_e - \theta_i) \cdot t + n_{mech} \cdot V \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a \cdot (\theta_{V,mech} - \theta_i) \cdot t + \dot{V}_{z,d} \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a \cdot (\theta_z - \theta_i) \cdot t \\
 &= t \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a \cdot \left[V \cdot \left[(\theta_e - \theta_i) \cdot (n_{inf} + n_{win}) + n_{mech} \cdot (\theta_{V,mech} - \theta_i) \right] \right] + \dot{V}_{z,d} \cdot (\theta_z - \theta_i)
 \end{aligned} \tag{2}$$

Für den Gesamtluftwechsel einer Gebäudezone ist folgende Darstellung möglich:

$$n_{ges} = n_{inf} + n_{win} + n_{V,mech} + n_z \tag{3}$$

Dabei ist

$Q_{V,sink}$	die Lüftungswärmesenken
$Q_{V,inf,sink}$	die Wärmesenke durch Infiltration
$Q_{V,win,sink}$	die Wärmesenke infolge von Lüftung durch Fenster und Türen
$Q_{V,mech,sink}$	der Kälteeintrag durch mechanische Lüftung
$Q_{V,z,sink}$	die Wärmesenke infolge von Luftwechsel zwischen Zonen
$H_{V,inf}$	der Wärmetransferkoeffizient für Infiltration
θ_i	die Bilanz-Innentemperatur der Gebäudezone, $\theta_{i,h}$ nach 6.1.2 für die Heizwärmebilanz bzw. $\theta_{i,c}$ nach 6.1.3 für die Kühlbilanz
θ_e	die durchschnittliche monatliche Außentemperatur
t	die Dauer des Berechnungszeitraumes ($t = 24h$)
$H_{V,win}$	der Wärmetransferkoeffizient für Fensterlüftung
$H_{V,mech}$	der Wärmetransferkoeffizient für die Zuluft der Lüftungsanlage

$\theta_{V,\text{mech}}$	die Zulufttemperatur der mechanischen Lüftung
$H_{V,z}$	der Wärmetransferkoeffizient für den Luftaustausch
θ_z	die durchschnittliche Temperatur (Bilanz-Innentemperatur) in der Zone, aus der die Luft eintritt
n_{inf}	der Tagesmittelwert des Infiltrationsluftwechsels
V	das Nettoraumvolumen
$c_{p,a}$	die spezifische Wärmekapazität von Luft
ρ_a	die Dichte von Luft
n_{win}	der mittlere tägliche Fensterluftwechsel
n_{mech}	der über den Tag gemittelte Luftwechsel durch die mechanische Lüftungsanlage
$\dot{V}_{z,d}$	der eintretende Volumenstrom der benachbarten Zone im Mittel über den Tag
$Q_{V,\text{source}}$	die Lüftungswärmesenken
$Q_{V,\text{inf,source}}$	die Wärmequelle durch Infiltration
$Q_{V,\text{win,source}}$	die Wärmequelle infolge von Lüftung durch Fenster und Türen
$Q_{V,\text{mech,source}}$	der Wärmeeintrag durch mechanische Lüftung
$Q_{V,z,\text{source}}$	die Wärmequelle infolge von Luftwechsel zwischen Zonen
n_z	der über den Tag gemittelte Luftwechsel aus/in benachbarte Zonen

Die Gleichungsnummern und Abschnittsverweise in den folgenden Unterabschnitten beziehen sich auf die Gleichungsnummern und die Abschnitte in Teil 2 der DIN V 18599:2018-09.

4.3.2 Berechnung der Lüftungswärmeverluste nach DIN V 18599-2 – Status quo

4.3.2.1 Infiltration

Der Infiltrationsluftvolumenstrom wird unter Berücksichtigung der Gebäudedichtheit, des Windschutzkoeffizienten, des Faktors zur Berücksichtigung von Außenluftdurchlässen und des Faktors zur Bewertung der durch die mechanische Lüftungsanlage vermehrten oder verminderten Infiltration bestimmt.

Für die Gebäudedichtheit sind Standardwerte direkt als n_{50} -Werte (Luftwechsel bei 50Pa Differenzdruck) oder indirekt über die hüllflächenbezogene Größe q_{50} angegeben. Die Gebäudedichtheit wird dabei anhand von weiteren Kategorisierungen unterschieden.

Abbildung 1 zeigt schematisch den Berechnungsalgorithmus zur Bestimmung des Infiltrationsluftvolumenstroms.

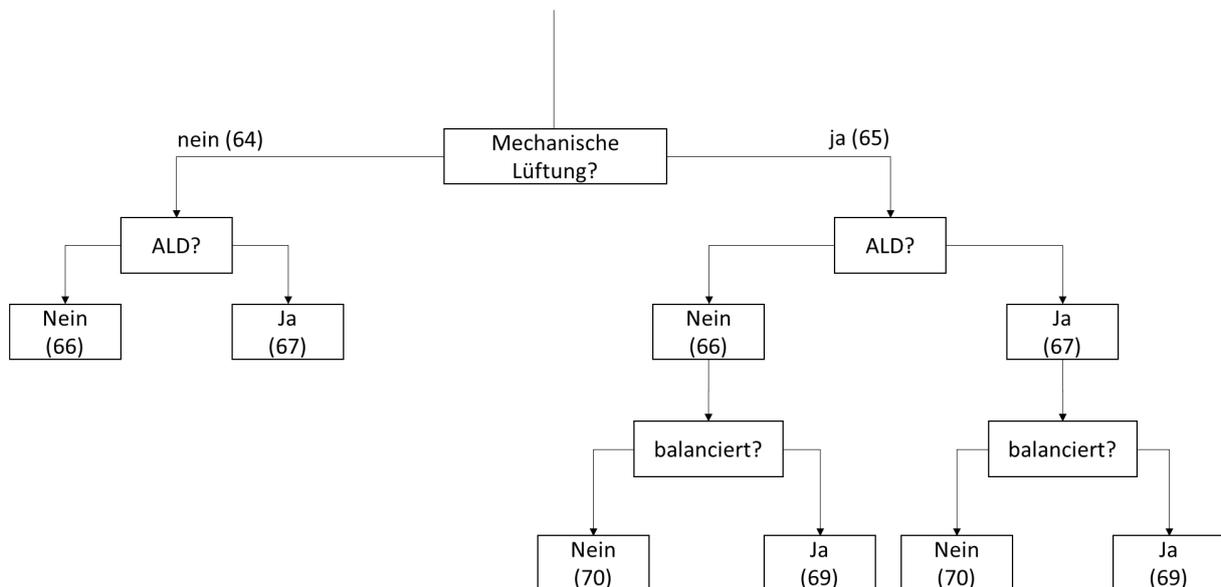


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Berechnungsvorgangs für die Bestimmung des Infiltrationsluftwechsels

Die in Abbildung 1 in Bezug genommenen Gleichungen sind:

$$(64): n_{inf} = n_{50} \cdot e \cdot f_{ATD}$$

$$(65): n_{inf} = n_{50} \cdot e \cdot f_{ATD} \cdot \left(1 + (f_e - 1) \cdot \frac{t_{v,mech}}{24h}\right)$$

$$(66): f_{ATD} = 1$$

$$(67): f_{ATD} = \min\left(16; \frac{n_{50} + 1,5h^{-1}}{n_{50}}\right)$$

$$(69): f_e = 1$$

$$(70): f_e = \frac{1}{1 + \frac{f}{e} \cdot \left(\frac{n_{ETA-PSUP}}{n_{50} \cdot f_{ATD}}\right)^2}$$

Dabei ist

n_{inf} der Infiltrationsluftwechsel

n_{50} der Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz

- nach erfolgter Dichtheitsprüfung: gemessener Wert,
- ohne erfolgte bzw. bei geplanter, aber noch ausstehender Dichtheitsprüfung: Standardwerte, vorgegeben nach Tabelle 7 bzw. nach Gleichung (64) in Verbindung mit Tabelle 7 berechneter Wert;

e der Volumenstromkoeffizient, als Standardwert gilt: $e = 0,07$ (entspricht Abschirmungs-koeffizient nach DIN EN ISO 13789 bei gemäßigter Abschirmung, mehr als eine Fassade dem Wind ausgesetzt);

f_{ATD} ein Faktor zur Berücksichtigung von Außenluftdurchlässen (en: air transfer device, ATD) nach Gleichung (66) bzw. (67)

f_e ein Faktor zur Bewertung der durch die mechanische Lüftungsanlage vermehrten oder verminderten Infiltration nach den Gleichungen (69) bis (70);

- $t_{v,mech}$ die tägliche Betriebsdauer der Lüftungsanlage (siehe DIN V 18599-10);
- f der Koeffizient zur Windexposition, als Standardwert gilt: $f = 15$ (entspricht Abschirmungskoeffizienten nach DIN EN ISO 13789 bei gemäßigter Abschirmung, mehr als eine Fassade dem Wind ausgesetzt);
- n_{ETA} die Summe über die Abluftwechsel der mechanischen Lüftung $n_{mech,ETA}$ nach Gleichung (97) und der aus benachbarten Zonen abgesaugten Luft $n_{z,ETA}$ nach Gleichung (110).
- n_{SUP} die Summe über die Zuluftwechsel der mechanischen Lüftung $n_{mech,SUP}$ nach den Gleichungen (95) oder (96) und der aus benachbarten Zonen überströmenden Luft $n_{z,SUP}$ nach Gleichung (108);

4.3.2.2 Fensterlüftung

Für die Bestimmung des Luftwechsels durch Fensterlüftung werden drei Fälle unterschieden:

- Freie Lüftung /ohne mechanische Lüftungsanlage bzw. Zeitraum bei ausgeschalteter mechanischer Lüftungsanlage,
- Mechanische Lüftungsanlage, die während der gesamten Nutzungszeit im Betrieb ist,
- Mechanische Lüftungsanlage, die während der Nutzungszeit nicht immer im Betrieb ist.

Neben der Unterscheidung der drei Fälle erfolgt die Berechnung des Fensterluftwechsels in Abhängigkeit von:

- Mindest-Fensterluftwechsel bei Gebäudezonen mit Öffnungen zur Außenluft von $0,1h^{-1}$ (z.B. offenbaren Fenster oder ALD),
- Nutzungsbedingter Mindest-Außenluftwechsel (in Abhängigkeit der Zonenklassifizierung, Teil 10),
- Mittlere tägliche Infiltrationsluftwechsel,
- Tägliche Nutzungsdauer der Zone, Teil 10,
- Tägliche Betriebsdauer der Lüftungsanlage, Teil 10,
- Zusätzlicher Fensterluftwechsel einer mechanischen Lüftungsanlage,
- Saisonale Änderung des Fensterlüftungsverhalten in Wohngebäuden.

Abbildung 2 zeigt schematisch den Berechnungsalgorithmus zur Bestimmung des Fensterluftwechsels.

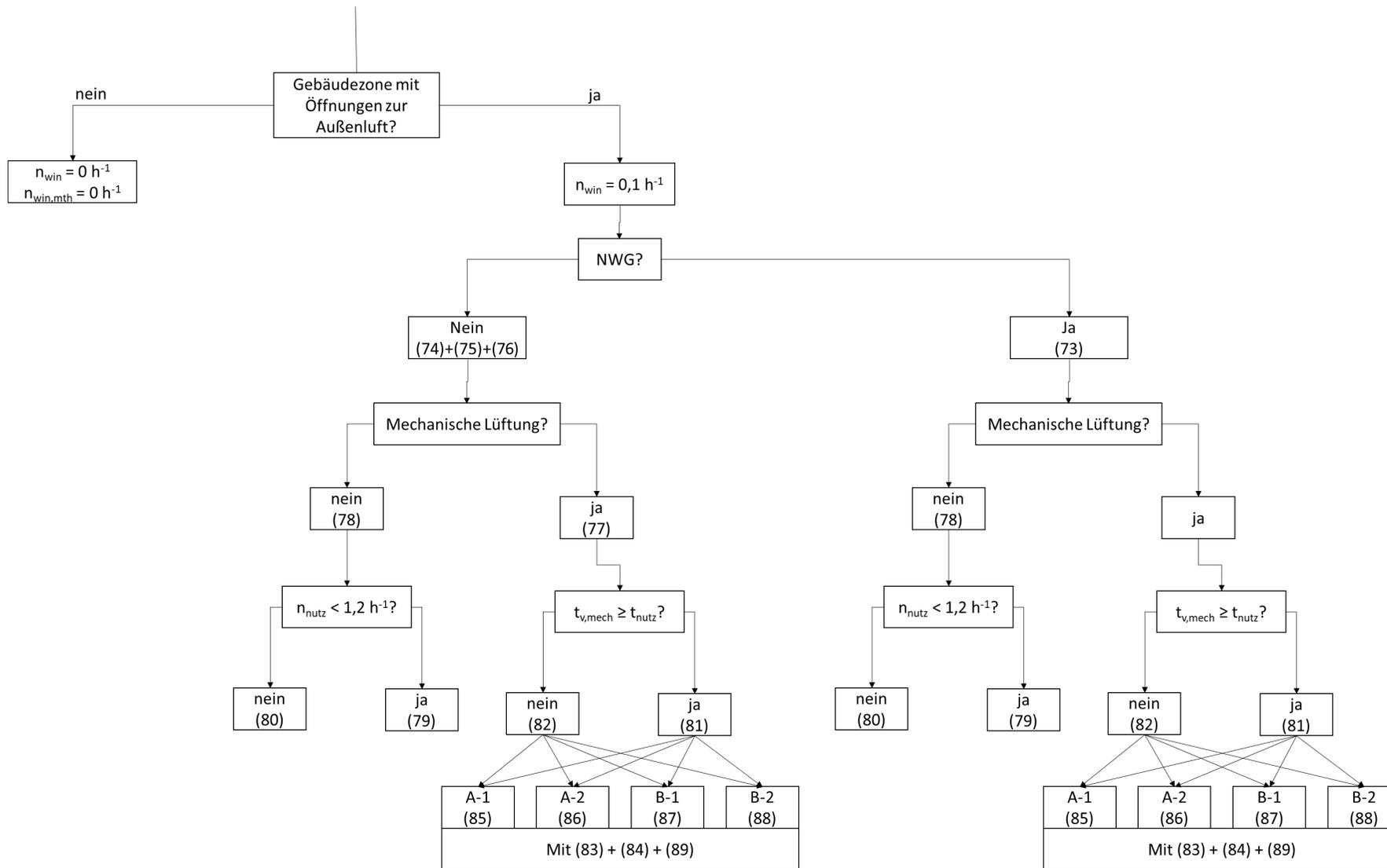


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Berechnungsvorgangs für die Bestimmung des Fensterluftwechsels

Die in Abbildung 2 in Bezug genommenen Gleichungen sind:

$$(73): H_{V,win} = n_{win} V c_{p,a} \rho_a$$

$$(74): H_{V,win,mth} = n_{win,mth} V c_{p,a} \rho_a$$

$$(75): n_{win,mth} = n_{win} f_{win,seasonal}$$

$$(76): f_{win,seasonal} = 0,04 \theta_e + 0,8$$

$$(77): n_{win,min,mth} = n_{win,min} f_{win,seasonal}$$

$$(78): n_{win} = n_{win,min} + \Delta n_{win} \frac{t_{nutz}}{24 h}$$

$$(79): \Delta n_{win} = \max [0; (n_{nutz} - (n_{nutz} - 0,2 h^{-1})) / h^{-1} \cdot n_{inf} - 0,1 h^{-1}]$$

$$(80): \Delta n_{win} = \max [0; n_{nutz} - n_{inf} - 0,1 h^{-1}]$$

$$(81): n_{win} = n_{win,min} + \Delta n_{win,mech} \frac{t_{V,mech}}{24 h}$$

$$(82): n_{win} = n_{win,min} + \Delta n_{win} \frac{t_{nutz} - t_{V,mech}}{24 h} + \Delta n_{win,mech} \frac{t_{V,mech}}{24 h}$$

$$(83): \Delta n_{win,mech,0} = \max [0; (n_{nutz} - (n_{nutz} - 0,2 h^{-1})) / h^{-1} \cdot n_{inf,0} \cdot f_e - 0,1 h^{-1}]$$

$$(84): \Delta n_{win,mech,0} = \max [0; n_{nutz} - n_{inf,0} \cdot f_e - 0,1 h^{-1}]$$

$$(85): \Delta n_{win,mech} = 0 h^{-1}$$

$$(86): \Delta n_{win,mech} = n_{ETA} - n_{SUP} - n_{inf,0}$$

$$(87): \Delta n_{win,mech} = \Delta n_{win,mech,0} - n_{SUP}$$

$$(88): \Delta n_{win,mech} = n_{ETA} - n_{SUP} - n_{inf,0}$$

$$(89): n_{nutz} = \frac{\dot{V}_{A,ANGF}}{V}$$

Dabei ist

$H_{V,win}$	der Wärmetransferkoeffizient für Fensterlüftung nach Gleichung (73)
n_{win}	der mittlere tägliche Fensterluftwechsel nach den Gleichungen (78), (81) oder (82)
V	das Nettoraumvolumen
$c_{p,a}$	die spezifische Wärmekapazität von Luft
ρ_a	die Dichte von Luft
$H_{V,win,mth}$	der Wärmetransferkoeffizient für Fensterlüftung unter Berücksichtigung einer saisonalen Änderung des Luftwechsels
$n_{win,mth}$	der mittlere tägliche Fensterluftwechsel mit saisonaler Anpassung nach der Gleichung (75)
$f_{win,seasonal}$	der Faktor zur saisonalen Anpassung (en: seasonal) des Fensterluftwechsels nach der Gleichung (76)

θ_e	die durchschnittliche monatliche Außentemperatur
$n_{win,min,mth}$	der monatliche Mindestwert Fensterluftwechsel
$n_{win,min}$	der Mindestwert Fensterluftwechsel
Δn_{win}	der zusätzliche Fensterluftwechsel während der Nutzungszeit, ohne Betrieb einer mechanischen Lüftungsanlage nach den Gleichungen (79) und (80);
t_{nutz}	die tägliche Nutzungsdauer nach DIN V 18599-10
n_{nutz}	der nutzungsbedingte Mindestluftwechsel nach Gleichung (89)
n_{inf}	der Infiltrationsluftwechsel nach Gleichung (64)
$\Delta n_{win,mech}$	der zusätzliche Fensterluftwechsel während der Betriebszeit einer mechanischen Lüftungsanlage nach den Gleichungen (85) bis (88);
$t_{V,mech}$	die tägliche Betriebsdauer der Lüftungsanlage nach DIN V 18599-10.
$\Delta n_{win,mech,0}$	der zusätzlich nutzungsbedingt notwendige Fensterluftwechsel
$n_{inf,0}$	der mittlere tägliche Infiltrationsluftwechsel nach Gleichung (64)
f_e	ein Faktor zur Bewertung der durch die mechanische Lüftungsanlage vermehrten oder verminderten Infiltration nach den Gleichungen (69) bis (70);
$\Delta n_{win,mech}$	der notwendige zusätzliche Fensterluftwechsel
n_{ETA}	die Summe über die Abluftwechsel der mechanischen Lüftung $n_{mech,ETA}$ nach Gleichung (97) und der aus benachbarten Zonen abgesaugten Luft $n_{z,ETA}$ (siehe Gleichung (110));
n_{SUP}	die Summe über die Zuluftwechsel der mechanischen Lüftung $n_{mech,SUP}$ nach Gleichung (95) oder (96) und der aus benachbarten Zonen überströmenden Luft $n_{z,SUP}$ (siehe Gleichung (108));
\dot{V}_A	der flächenbezogene Mindestaußenluftvolumenstrom nach DIN V 18599-10, in $m^3/(h \cdot m^2)$; bei Einsatz einer bedarfsabhängigen Luftvolumenstromregelung nach DIN V 18599-7 ist $\dot{V}_A = \dot{V}_{dc}$ zu setzen.
A_{NGF}	die Nettogrundfläche der Gebäudezone

4.3.2.3 Mechanische Lüftung

Der Luftwechsel durch mechanische Lüftung wird in Abhängigkeit des Lüftungsanlagentyps bestimmt. Es werden folgende Lüftungstypen unterschieden:

- Zu-/Abluftanlage,
- Abluftanlage,
- Zuluftanlage.

Neben der Bestimmung des mittleren Anlagenluftwechsels wird sowohl der Zuluft-Luftwechsel als auch der Abluft-Luftwechsel der mechanischen Lüftung ermittelt. Über die Bestimmung der Zulufttemperatur lässt sich dann die Wärmeein- und -austräge bilanzieren.

Abbildung 3 zeigt schematisch den Berechnungsalgorithmus zur Bestimmung des Luftwechsels durch mechanische Lüftung.

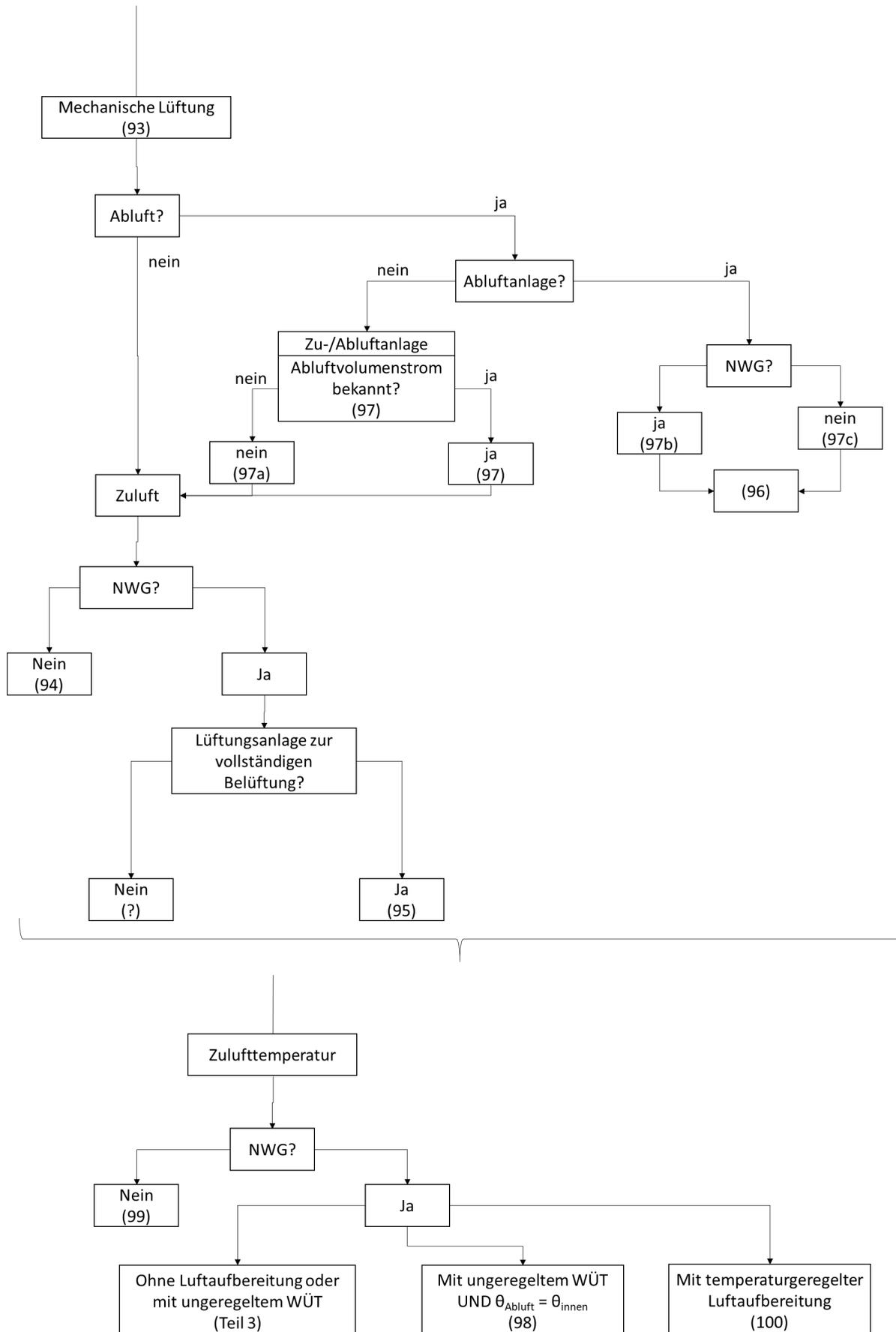


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Berechnungsvorgangs für die Bestimmung des Luftwechsels durch mechanische Lüftung

Die in Abbildung 3 in Bezug genommenen Gleichungen sind:

$$(93): n_{\text{mech}} = n_{\text{mech,SUP}} \frac{t_{\text{V,mech}}}{24 \text{ h}}$$

$$(94): n_{\text{mech,SUP}} = n_{\text{mech}}$$

$$(95): n_{\text{mech,SUP}} = \frac{\dot{V}_{\text{mech,b}}}{V}$$

$$(96): n_{\text{mech,SUP}} = 0$$

$$(97): n_{\text{mech,ETA}} = \frac{\dot{V}_{\text{ETA}}}{V}$$

$$(97a): n_{\text{mech,ETA}} = n_{\text{mech,SUP}}$$

$$(97b): n_{\text{mech,ETA}} = n_{\text{nutz}}$$

$$(97c): n_{\text{mech,ETA}} = n_{\text{mech}}$$

$$(98): \theta_{\text{V,mech}} = \theta_e + \eta_t \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

$$(99): \theta_{\text{V,mech}} = \theta_{\text{V,mech,mth}}$$

$$(100): \theta_{\text{V,mech}} = \theta_{\text{V,mech,mth}}$$

Dabei ist

n_{mech}	der über den Tag gemittelte Luftwechsel durch die mechanische Lüftungsanlage nach Gleichung (93)
$n_{\text{mech,SUP}}$	der Luftwechsel der Zuluft während der Betriebszeit der Anlage nach Gleichung (95) und (93)
$t_{\text{V,mech}}$	die tägliche Betriebsdauer der Lüftungsanlage nach Vorgabe in DIN V 18599-10
$\dot{V}_{\text{mech,b}}$	der maximale Wert aus dem Bilanzvolumenstrom nach DIN V 18599-3 und dem anlagentechnisch bedingten Mindestvolumenstrom (Planungsgröße, Standardwerte, siehe auch Anhang E)
V	das Nettoraumvolumen
$n_{\text{mech,ETA}}$	der Abluft-Luftwechsel der mechanischen Lüftung
\dot{V}_{ETA}	der Abluftvolumenstrom von raumluftechnischen Anlagen
n_{nutz}	der nutzungsbedingte Mindestluftwechsel nach Gleichung (89)
$\theta_{\text{V,mech}}$	die Zulufttemperatur der mechanischen Lüftung
θ_e	die mittlere monatliche Außentemperatur
η_t	der Gesamt-Temperaturänderungsgrad der Wärmerückgewinnung (entspricht $\eta_{t,\text{unit}}$ nach DIN V 18599-6 bzw. $\eta_{t,\text{component}}$ nach DIN V 18599-7)
θ_i	die Bilanz-Innentemperatur der Gebäudezone, $\theta_{i,h}$ nach 6.1.2 für die Heizwärmebilanz bzw. $\theta_{i,c}$ nach 6.1.3 für die Kühlbilanz,
$\theta_{\text{V,mech,mth}}$	die mittlere Zulufttemperatur für raumluftechnische Anlagen nach DIN V 18599-3 bzw. nach DIN V 18599-7 oder für Wohnungslüftungsanlagen nach DIN V 18599-6

4.3.2.4 Lüftung in unbeheizten oder ungekühlten Gebäudezonen

Der Luftwechsel zwischen unbeheizten oder ungekühlten Gebäudezonen und beheizten oder gekühlten Gebäudezonen kann ebenfalls bilanziert werden. In der Regel wird dieser Luftwechsel allerdings vernachlässigt. Der Luftwechsel einer thermisch unkonditionierten Gebäudezone nach außen wird mit $0,6 \text{ h}^{-1}$ angenommen.

4.3.2.5 Luftwechsel zwischen Zonen

Der Luftwechsel zwischen einzelnen Zonen wird in Abhängigkeit der Lüftungstechnischen Randbedingungen ermittelt. Dabei wird der Zuluft-Luftwechsel aus benachbarten Gebäudezonen sowie der Abluft-Luftwechsel in benachbarte Zonen berechnet.

Abbildung 4 zeigt schematisch den Berechnungsalgorithmus zur Bestimmung des Luftwechsels zwischen Zonen.

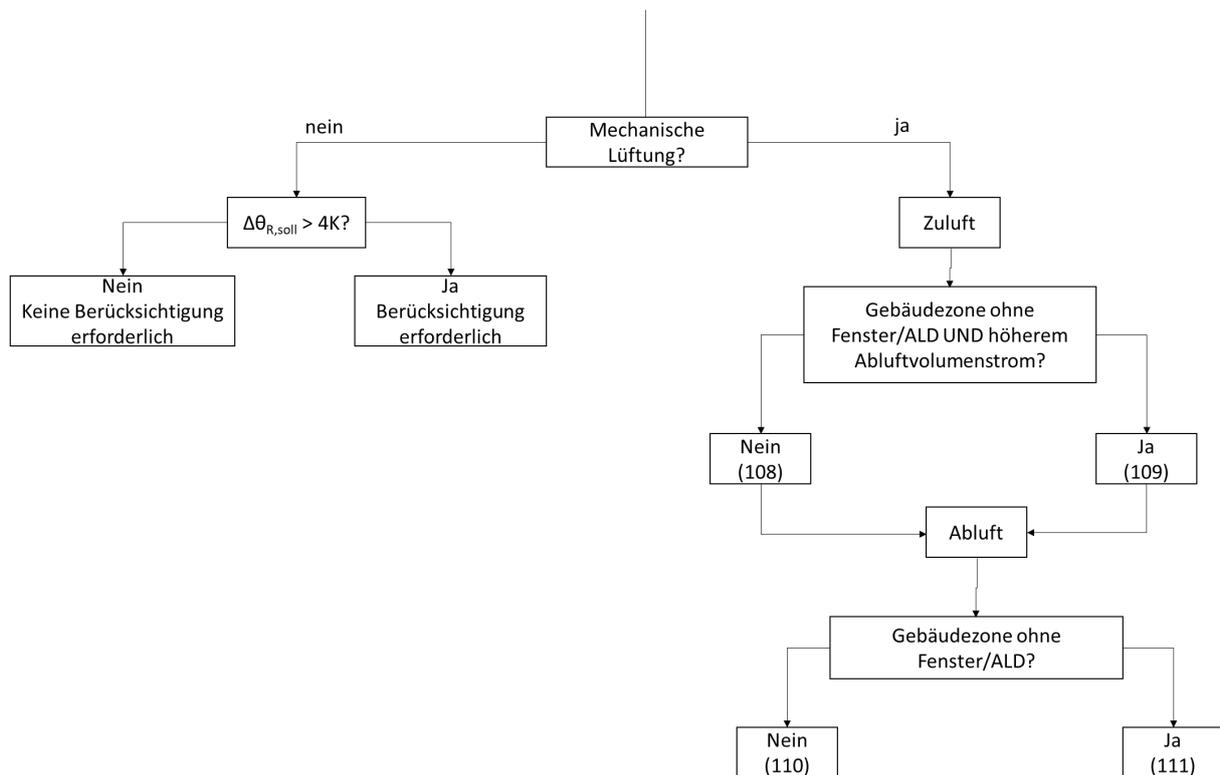


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Berechnungsvorgangs für die Bestimmung des Luftwechsels zwischen Zonen

Die in Abbildung 4 in Bezug genommenen Gleichungen sind:

$$(108): n_{z,SUP} = \frac{\dot{V}_z}{V}$$

$$(109): n_{z,SUP} = n_{mech,ETA} - n_{mech,SUP}$$

$$(110): n_{z,ETA} = \frac{\dot{V}_z}{V}$$

$$(111): n_{z,ETA} = \frac{\dot{V}_z}{V_i} = \frac{(n_{mech,ETA,j} - n_{mech,SUP,j}) \cdot V_j}{V_i}$$

Dabei ist

$n_{z,SUP}$ der Zuluft-Luftwechsel in benachbarte Gebäudezonen

\dot{V}_z	der Luftvolumenstrom aus einer angrenzenden Zone während der Betriebszeit der mechanischen Lüftungsanlage
V	das Nettoraumvolumen der betrachteten Gebäudezone
$n_{\text{mech,ETA}}$	der Abluft-Luftwechsel durch die mechanische Lüftungsanlage in der betrachteten Gebäudezone
$n_{\text{mech,SUP}}$	der Zuluft-Luftwechsel durch die mechanische Lüftungsanlage in der betrachteten Gebäudezone
$n_{z,ETA}$	der Abluft-Luftwechsel in benachbarte Zonen
V_i	das Nettoraumvolumen der benachbarten Gebäudezone
$n_{\text{mech,ETA,j}}$	der Abluft-Luftwechsel durch die mechanische Lüftungsanlage in der benachbarten Gebäudezone
$n_{\text{mech,SUP,j}}$	der Zuluft-Luftwechsel durch die mechanische Lüftungsanlage in der benachbarten Gebäudezone
V_j	das Nettoraumvolumen der betrachteten Gebäudezone

4.3.3 Problembeschreibung

Die Bestimmung der Lüftungswärmesenken und -quellen kann zu einigen Schwierigkeiten beim Verständnis und bei der Durchführung der Berechnung an sich führen. Folgende Punkte können beispielhaft dafür benannt werden:

- Iteration bei Ermittlung der Heizmonate (Die Betriebsweise der Lüftungsanlage im Heizperiodenbetrieb kann in Kombination mit einer Wärmerückgewinnung zu einer Iteration bei der Bestimmung der Heizmonate führen.)
- monatliche Betrachtung vs. jährliche Betrachtung des Mindestwertes des Fensterluftwechsels (der Mindestwert des Fensterluftwechsels variiert abhängig von der monatlichen mittleren Außenlufttemperatur bei Wohngebäuden, bei Nichtwohngebäuden wird von einem konstanten Mindestwert über das Jahr ausgegangen)
- Gebäudezonen \neq Lüftungsbereiche (die Gebäudezone muss nicht zwingend den Lüftungsbereichen entsprechen, Gebäudezone kann aus mehreren Lüftungsbereichen bestehen)
- Mittlerer täglicher Anlagenluftwechsel als Zwischengröße zur Berechnung der Lüftungswärmesenken und -quellen zur mechanischen Lüftung (auch als Kenngröße für Teillüftung)
- Bilanzgrenzen nicht eindeutig (Nettogrundfläche der Gebäudezone in Verbindung mit Nettoraumvolumen)
- Verwendete Begriffe sind nicht eindeutig definiert (z.B. „vollständige mechanische Lüftung“)
- Nicht alle Formeln mit Gleichungsnummern versehen. Viele Informationen sind im Fließtext enthalten.

4.3.4 Lösungsansätze

Mögliche Ansätze zur Vereinfachung der Ermittlung der Lüftungswärmeverluste sind, z.B.:

- Getrennte Beschreibung für Ermittlung der Lüftungswärmeverluste für Nichtwohngebäude und Wohngebäude
- Ermittlung eines Gesamt-Anlagenluftwechsels und daraus ein Gesamt-Wärmetransferkoeffizient für die Lüftung
- Vereinfachung der Ermittlung der Lüftungswärmeverluste durch redaktionelle Überarbeitung (Begriffsdefinition, alle Gleichungen mit Gleichungsnummern, ...)

4.4 Bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen

4.4.1 Allgemeines

Elektrische Wärmepumpen stellen die zentrale Technologie der „Wärmewende“ dar. Im Bemühen um eine exakte Bewertung vieler technischer Details wurde der Berechnungsgang für Wärmepumpen in den Teilen 5 und 8 der DIN V 18599 im Zusammenwirken mit den beteiligten Interessenverbänden (BWP, BDH) vollständig überarbeitet. Der überarbeitete Algorithmus gestattet die Bewertung drehzahl geregelter Systeme und ist kompatibel zu den internationalen Normungsaktivitäten auf diesem Gebiet.

4.4.2 Berechnung von Wärmepumpen nach DIN V 18599-5 und -8 – Status quo

Im aktuellen Berechnungsverfahren für elektrische Wärmepumpen werden folgende physikalische Faktoren berücksichtigt, die eine Auswirkung auf die Jahresarbeitszahl und die Energieaufnahme der Wärmepumpe haben:

- Art der Wärmepumpe (Luft-Wasser, Sole-Wasser, Wasser-Wasser, Direktkondensation ohne Lüftungsfunktion, teilweise Abluft-Wasser) als elektrisch angetriebene Wärmepumpen
- Systemkonfiguration (Vorrangschaltung der Trinkwassererwärmung vor der Raumheizung, Kombibetrieb mit gleichzeitiger Trinkwassererwärmung und Raumheizung)
- Betriebsweise im bivalenten Betrieb (parallel, teilparallel, alternativ)
- Laufzeiten für Raumheizung, Trinkwassererwärmung und Kombibetrieb
- Auswirkungen der Schwankung der Quellen- und Senktemperatur auf die Leistung und die Leistungszahl der Wärmepumpe
- Auswirkungen des Teillastbetriebs (taktend, regelbar) von einstufigen und mehrstufigen sowie stetig geregelten Wärmepumpen auf die Leistung und die Leistungszahl
- erforderliche Hilfsenergie zum Betrieb der Wärmepumpe, die bei Prüfstandbedingungen nicht berücksichtigt wird
- Systemverluste durch eingebaute Speicher.

Das Verfahren zur energetischen Bewertung von Wärmepumpen im Teil 5 der DIN V 18599 [7] ist auf 57 Seiten beschrieben (Haupttext und Anhang) und gliedert sich in folgende Teilschritte:

- Bewertung der Quellentemperaturen (Ermittlung von Temperaturklassen, möglichen maximalen Heizzeiten und Gradtagstunden aus den Wetterdaten);
- Minderung der Erzeugernutzwärmeabgabe der Wärmepumpe durch Betriebsweise;
- Zuordnung der Erzeugernutzwärmeabgabe zu den Temperaturklassen;
- Korrektur der Prüfpunkte (monatliche Quellen- und mittlere monatliche Senktemperatur, Auslegungsbedingungen);
- Berücksichtigung des Teillastverhaltens (Bestimmung des regelbaren Bereiches, regelbarer und taktender Teillastbereich);
- Berechnung der Laufzeiten (Berücksichtigung Trinkwassererwärmung als Kombi- oder Einzelbetrieb, EVU-Sperrzeiten, Nichtnutzungszeiten, Einsatzgrenzen);
- Berechnung der tatsächlichen Erzeugernutzwärmeabgabe, Hilfsenergie und Gesamtenergieaufnahme;
- Berechnung Erzeugernutzwärmeabgabe 2. Wärmeerzeuger;
- Bestimmung des regenerativen Energieertrages;
- Ermittlung der Arbeitszahl.

Die auf 18 Seiten beschriebene Vorgehensweise im Teil 8 der DIN V 18599 [8] beinhaltet dabei folgende Teilschritte:

- Bewertung der Quellentemperaturen (Ermittlung von monatsmittleren Quellentemperaturen);

- Korrektur der Prüfpunkte auf die Quellen- und Senkentemperatur
- Berechnung der Laufzeiten (Berücksichtigung des Kombi- und Einzelbetriebes, EVU-Sperrzeiten, Nichtnutzungszeiten und Einsatzgrenzen);
- Berechnung der tatsächlichen Erzeugernutzwärmeabgabe, des Hilfsenergieaufwandes und der Gesamtenergieaufnahme;
- Berechnung der Erzeugernutzwärmeabgabe des 2. Wärmeerzeugers;
- Bestimmung des regenerativen Energieertrages;
- Ermittlung der Arbeitszahl.

4.4.3 Problembeschreibung

Die Bewertung der zuvor ausgewiesenen physikalischen Faktoren und damit sehr vieler technischer Details hat zur Folge, dass das Bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen die Softwareentwicklung vor große Herausforderungen stellt und von den Nutzern die Eingabe einer Vielzahl von kleinteiligen Eingabeparametern erfordert, die häufig nur mit großem Aufwand ermittelt werden können oder im Planungsstadium gar nicht verfügbar sind.

Für den Nutzer können vor allem zum Teil fehlende Standardwerte ein Problem bei der vorläufigen Energiebedarfsberechnung im frühen Planungsstadium darstellen. Zu den Kennwerten, die bei der Eingabe in der Software im Bereich Heizung und Trinkwarmwasser abgefragt werden für die in der Norm keine Standardwerte vorliegen und, zählen u.a.:

- Temperatur Speicherbeladung - Einschaltung
- Temperatur Speicherbeladung – Abschaltung
- Obere Temperaturgrenze (Trinkwarmwasser) für den Betrieb der Wärmepumpe
- Volumenstrom (Primärseite)
- Volumenstrom (Sekundärseite)
- EVU-Abschaltzeiten

Diese Werte sollten den konkreten Auslegungsbedingungen bzw. den Herstellerangaben entnommen werden. Zum Teil gibt es auch Diskrepanzen zwischen dem Normtext und der Umsetzung in der üblichen Energieberatersoftware bzw. es gibt Abfragen in der Software, die nicht eindeutig sind und zu deren Verständnis ein Abgleich mit dem Normtext erforderlich ist, um Eingaben zu vermeiden, die das Berechnungsergebnis verfälschen würden. Nicht jedem Nutzer der Software liegt jedoch der vollständige Normtext der DIN V 18599 vor.

Darüber hinaus gibt es Probleme bei der Verwendung von produktspezifischen Kennwerten von elektrischen Wärmepumpen. Die Eingabe von produktspezifischen Leistungszahlen und Leistungen wird von den meisten Softwarelösungen unterstützt. Der Nutzer ist jedoch zum Teil überfordert, wie viele Kennwertdatensätze er verwenden soll und stellt bei der Eingabe oft fest, dass die Anzahl der in den jeweiligen Produktdatenblättern ausgewiesenen Datensätze begrenzt ist und für die Berechnung nicht ausreichend ist. Dazu kommt es, dass es sehr viele Prüfnormen für elektrische Wärmepumpen gibt, die häufig nicht einheitliche Prüfbedingungen haben und die Datensätze je nach Hersteller abweichen können.

4.4.4 Lösungsansätze

Im Zuge der weiteren Projektbearbeitung werden Vorschläge für aktuell fehlende Standardwerte, Zuordnungs- und Berechnungsregeln im Teil 5 und 8 bei der energetischen Bewertung von elektrischen Wärmepumpen erarbeitet.

Darüber hinaus wird geprüft, ob es Möglichkeiten für Vereinfachungen im aktuellen Bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen gibt und ob eine Zuordnung des gesamten Berechnungsansatzes zu einem Normteil

angestrebt werden soll. Die elektrischen Wärmepumpen werden aktuell in den Teilen 5, 6 und 8 der DIN V 18599 behandelt.

4.5 Verfahren zur Bestimmung des Deckungsanteils bei unterschiedlichen Wärmeerzeugern bei bivalenten und multivalenten Systemen

4.5.1 Allgemeines

Bivalente Systeme spielen für die Erreichung der Klimaziele im Gebäudebereich eine wesentliche Rolle, auch in den zukünftigen Förderprogrammen sowie Austauschverpflichtungen sind sie an zentraler Stelle zu finden. Bivalente Systeme, die sowohl elektrischen Strom als auch gasförmige oder flüssige Energieträger zur Wärmebereitstellung nutzen, leisten einen wesentlichen Beitrag zur besseren Ausnutzung der in wesentlichen Teilen volatilen Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen und zum sparsamen Umgang mit fossilen Brennstoffen.

In der DIN V 18599 sind bisher nur für spezielle – in der Vergangenheit übliche - Kombinationen Vorgaben enthalten, wie bivalente bzw. multivalente Erzeugungsvarianten zu berechnen und im Standardfall zu dimensionieren sind. Dies führt immer wieder zu Nachfragen, zum Teil aber auch zur praktischen Realisierung energetisch oder wirtschaftlich ungünstiger Konzepte. Eine geeignete Ergänzung der Norm könnte diese Probleme beseitigen.

4.5.2 Bestimmung des Deckungsanteils nach DIN V 18599-5, -8 und -9 – Status quo

Bivalente Systeme zur Versorgung von Wohngebäuden sind in DIN V 18599 bisher an unterschiedlichen Stellen wie folgt berücksichtigt:

Tabelle 2: Bisher in DIN V 18599 berücksichtigte bivalente Erzeugungsvarianten

Gewerk	Erster Wärmeerzeuger	Zweiter Wärmeerzeuger	Behandlung in DIN V 18599:2018
Trinkwassererwärmung (TWE)	Solarthermie	beliebig	Teil 8
Heizung / TWE	Solarthermie	beliebig	Teil 5 / Teil 8
Heizung	Wärmepumpe	E-Heizstab	Teil 5
Heizung/TWE	Wärmepumpe	E-Heizstab	Teil 5 / Teil 8
Heizung/TWE	Gas-Wärmepumpe	Brennwertkessel	Teil 5 / Teil 8
Heizung/TWE	Mikro-KWK (Stirling, BHKW)	Kessel	Teil 9
Heizung/TWE	Brennstoffzelle	Kessel	Teil 9
Heizung	Abluft-Wärmepumpe	beliebig	Teil 6, zweiter Erzeuger in Teil 5
Heizung/TWE	Abluft-Wärmepumpe	beliebig	Teil 6, zweiter Erzeuger in Teil 5 / Teil 8
Heizung	Stückholzkessel		
Heizung	Kaminofen, ohne Anschluss an Warmwasserheizung	beliebig	Teil 5
Heizung/TWE	Kaminofen mit Anschluss an Warmwasserheizung	beliebig	Teil 8
TWE	Wohnungsstation mit Fern-/Nahwärme	E-Heizstab	Teil 8

Die technischen Eigenschaften der ersten Wärmeerzeuger unterscheiden sich dabei deutlich:

- Bei einer Solarthermieanlage ist die bereitstellbare Wärmeleistung naturgemäß stark abhängig von der aktuellen Solarstrahlung und der Umgebungstemperatur, aber auch von den für die Trinkwassererwärmung

bzw. Heizung gerade erforderlichen Temperaturen. Erforderliche Gebäudeheizleistung und Leistung der Solarthermieanlage verlaufen im jahreszeitlichen Verlauf gegenläufig, zusätzlich sind auch die tageszeitlichen Verläufe unterschiedlich.

- Bei Wärmepumpen spielen die Quellen- und Senktemperaturen eine maßgebliche Rolle für die aktuelle Heizleistung, aber auch die technischen Eigenschaften der Wärmepumpe selbst sind wesentlich. Bei Luft als Wärmequelle sinkt die Heizleistung der Wärmepumpe mit abnehmender Außentemperatur, gleichzeitig erfordert das Gebäude eine größere Heizleistung.
- Die Heizleistung von Brennstoffzellen ist grundsätzlich unabhängig von Witterungsparametern wie Außentemperatur oder Solarstrahlung, allerdings haben die Eigenschaften des Stacks gravierenden Einfluss. Zum Teil können Brennstoffzellenstacks nur eine gewisse Anzahl von Stunden betrieben werden und müssen anschließend in einen Regenerationsbetrieb gehen, andere Brennstoffzellenstacks müssen durchgängig laufen, wenn eine vorzeitige Alterung vermieden werden soll. Dazu kommt, dass die thermische Leistung der Brennstoffzellen in den aktuell marktverfügbaren Brennstoffzellenheizgeräten im Regelfall vergleichsweise gering ist.
- Mikro-KWK mit Stirling- oder Ottomotoren werden aus wirtschaftlichen Gründen i.d.R. so konzipiert, dass das BHKW auf möglichst hohe Laufzeiten kommt.
- Zusätzliche Auswirkungen kann der Nutzer haben, z.B. bei handbeschickten Feuerstätten (Kaminöfen) oder durch frei wählbare Regelungseinstellungen, nach denen die Priorisierung der unterschiedlichen Wärmeerzeuger erfolgt.

Die DIN V 18599 versucht, die unterschiedlichen Verhältnisse im Zusammenwirken des jeweils ersten Wärmeerzeugers mit dem Spitzenlasterzeuger abzubilden. Die Berechnungsansätze sind daher für alle in der Tabelle 2 genannten bivalenten Erzeugungsvarianten unterschiedlich und dementsprechend auch an unterschiedlichen Stellen der Norm verankert.

4.5.3 Problembeschreibung

In der bisherigen Norm fehlen einfache Berechnungsansätze für bivalente Kombinationen, die bei der Umstellung auf eine klimaverträglichere Wärmeerzeugung erforderlich sind:

1. Marktübliche Hybrid-Kompaktgeräte, die eine Luft-Wasser-WP und einen Gas-Brennwertkessel in einem Gerät beinhalten und mit unterschiedlichen Regelungsstrategien (z.B. primärenergetisch optimiert oder heizkostenoptimiert) betrieben werden können.
2. Kombinationen aus (ggf. nachträglich installierten) Luft-Wasser-Wärmepumpen mit entweder bereits vorhandenen Kesseln oder neu installierten (Brennwert-)Kesseln. Hier fehlen insbesondere einfache Berechnungsvorgaben, wie der Deckungsanteil bei bekannter Leistung des ersten Erzeugers oder einer bekannten Bivalenztemperatur bestimmt werden kann sowie entsprechende Standardwerte, die eine überschlägige Berechnung auch in einem frühen Planungsstadium ohne Kenntnis der konkreten Produkte ermöglichen.
3. Gas-/Öl-Brennwertkessel mit Power-to-Heat-Lösungen (elektrischer Heizstab zur TWE und/oder Heizung), die in Abhängigkeit von der Situation, die sonst abgeregelten erneuerbaren Stromüberschüsse zur Wärmeerzeugung einsetzen. Hierbei erfolgt die elektrische Wärmeerzeugung im Informationsverbund mit der EE-Stromerzeugung: Elektrisch geheizt wird nur dann, wenn Strom aus erneuerbaren Energien verfügbar ist, welcher andernfalls abgeregelt werden müsste (→ bisher Ausfallarbeit).

4.5.4 Lösungsansätze

Die Lösungsansätze beziehen sich auf die im vorherigen Gliederungspunkt identifizierten drei Problempunkte.

- Marktübliche Hybrid-Kompaktgeräte, die eine Luft-Wasser-WP und einen Gas-Brennwertkessel in einem Gerät beinhalten und mit unterschiedlichen Regelungsstrategien (z.B. primärenergetisch optimiert oder heizkostenoptimiert) betrieben werden können.
 - Analyse der marktverfügbaren Geräte (Leistungen, Regelungsmöglichkeiten)
 - Bestimmung der Deckungsanteile für typische Anwendungsfälle und Regelungsstrategien
 - Erarbeitung einer Tabelle für Deckungsanteile
 - Erarbeitung von Standardwerten für den Deckungsanteil der Wärmepumpe bei nicht genau bekannten Produkteigenschaften
- Kombinationen aus (ggf. nachträglich installierten) Luft-Wasser-Wärmepumpen mit entweder bereits vorhandenen Kesseln oder neu installierten (Brennwert-)Kesseln. Hier fehlen insbesondere einfache Berechnungsvorgaben, wie der Deckungsanteil bei bekannter Leistung des ersten Erzeugers oder einer bekannten Bivalenztemperatur bestimmt werden kann sowie entsprechende Standardwerte, die eine überschlägige Berechnung auch in einem frühen Planungsstadium ohne Kenntnis der konkreten Produkte ermöglicht.
 - Analyse typischer Einsatzfälle
 - Bestimmung der Deckungsanteile für typische Anwendungsfälle
 - Erarbeitung einer Tabelle für Deckungsanteile in Abhängigkeit von der Leistung und den technischen Eigenschaften des ersten Wärmeerzeugers
 - Erarbeitung von Standardwerten
- Gas-/Öl-Brennwertkessel mit Power-to-Heat Lösungen (elektrischer Heizstab zur TWE und/oder Heizung)
 - Analyse realisierbarer Anwendungsfälle
 - Bestimmung der Deckungsanteile für typische Anwendungsfälle
 - Erarbeitung einer Tabelle für Deckungsanteile in Abhängigkeit von der Leistung und den technischen Eigenschaften des ersten Wärmeerzeugers
 - Erarbeitung von Standardwerten
 - Erarbeitung technischer Mindestanforderungen, die eingehalten werden müssen, um eine Anrechenbarkeit der Power-to-Heat-Lösung zu erreichen.

5 Erarbeitung von Vorschlägen zur Verbesserung der Anwendbarkeit

5.1 Iteration

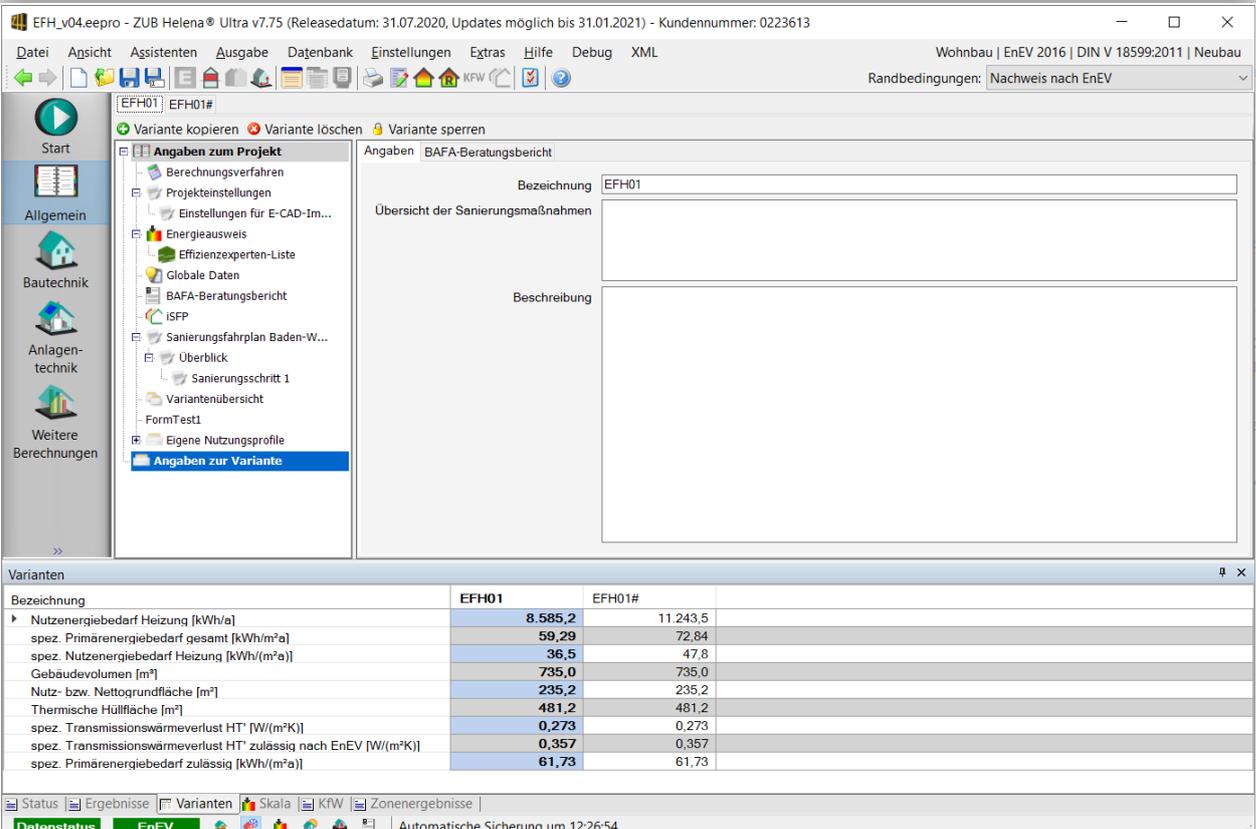
Im Folgenden werden die Ergebnisse verschiedener Berechnungen für ein Einfamilienhaus dargestellt (Kürzel 'EFH01'). Die Berechnungen dienen der **Quantifizierung** der unregelmäßigen Wärmeeinträge der Anlagen-Komponenten und weiterer Einflüsse, welche sich auf die Bilanz des Wärmebedarfs auswirken. Die Ergebnisse dieser Quantifizierung finden im Weiteren Verwendung bei der Untersuchung und Diskussion verschiedener **Ansätze**, mit welchen der Verzicht auf die Iteration kompensiert werden könnte, und die Auswirkungen dieser **Kompensation**.

Im Text dieses Abschnitts werden zunächst die für die Berechnung herangezogenen **Methoden und Werkzeuge**, sowie die gewählten **Randbedingungen** vorgestellt, d.h. Definition der Datengruppen, Parameter und Varianten. Anschließend dient eine **Übersicht** der untersuchten Berechnungsfälle dazu, deren Herleitung und Festlegung nachvollziehen zu können, diese ist in Form einer **Variantenmatrix** dargestellt.

5.1.1 Methoden und Werkzeuge

5.1.1.1 Berechnungswerkzeug

Für die Berechnungen wird das Programm ZUB Helena Ultra in der Version v7.75 verwendet (Datum Release 31.7.2020). In dieser Version ist das Berechnungsverfahren nach EnEV 2016 umgesetzt, die Neuerungen zum Gebäudeenergiegesetz GEG sind dabei nicht berücksichtigt. Mit Vorlage einer neuen Programm-Version Anfang 2021 erfolgte von Seiten der Software der Übergang zur GEG-Version, die Berechnungen wurden daraufhin angepasst und aktualisiert. Die durch den Versionswechsel bedingten Änderungen haben jedoch nur eingeschränkte Auswirkungen auf die vorliegenden Berechnungsergebnisse.



The screenshot shows the 'Varianten' (Variants) management view in the ZUB Helena Ultra software. The main workspace displays a table with the following data:

Bezeichnung	EFH01	EFH01#
Nutzenergiebedarf Heizung [kWh/a]	8.585,2	11.243,5
spez. Primärenergiebedarf gesamt [kWh/m²a]	59,29	72,84
spez. Nutzenergiebedarf Heizung [kWh/(m²a)]	36,5	47,8
Gebäudevolumen [m³]	735,0	735,0
Nutz- bzw. Nettogrundfläche [m²]	235,2	235,2
Thermische Hüllfläche [m²]	481,2	481,2
spez. Transmissionswärmeverlust HT* [W/(m²K)]	0,273	0,273
spez. Transmissionswärmeverlust HT* zulässig nach EnEV [W/(m²K)]	0,357	0,357
spez. Primärenergiebedarf zulässig [kWh/(m²a)]	61,73	61,73

Abbildung 5: Screenshot Programm ZUB Helena - Ansicht Variantenverwaltung

5.1.1.2 Festlegungen zu Parametern und Varianten

Für die Variationsrechnungen erfolgt die **Auswahl und Definition** von relevanten Parametern und Randbedingungen. Die **Relevanz** ergibt sich aus der Einschätzung der zu erwartenden Auswirkungen auf die Quantifizierung der Einflüsse, d.h. die Auswahl schließt nur die Parameter/Varianten ein, welche überhaupt einen nennenswerten Einfluss auf die angestrebten Ergebnisse erwarten lassen.

Begrifflich wird hier zwischen **Parametern** und **Varianten** unterschieden. Parameter sind die einzelnen Stellschrauben, über welche in die Berechnung eingegriffen wird, z.B. die Gebäudeschwere. Bei den Varianten werden dann verschiedene Werte für die einzelnen Parameter eingesetzt, z.B. die Angabe "mittel" für die Gebäudeschwere, also die Randbedingungen variiert.

Für die **Auswahl** der **zu variierenden Parameter** wurden folgende Bereiche identifiziert:

- Gebäude:
Baukörper (geometrische Größen) und Nutzung
- Fensterflächenanteil:
bezogen auf die Fläche des umgebenden Bauteils und unterschiedlich für die Fassaden Nord, Ost, Süd, West sowie Dachflächen
- (Gebäude-)Schwere:
in Form von Kategorien und damit pauschaler Werte für $C_{\text{wirk}}/A_{\text{NGF}}$ [Wh/(m²K)]
- (Gebäude-)Hülle:
Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) für die einzelnen Bauteile, Gesamtenergiedurchlassgrad der Fenster, Wärmebrückenkorrekturwert ΔU_{WB}
- System-Konfiguration der Anlagentechnik:
Zusammenstellung einiger Eingabegrößen, welche die Konfiguration des Systems wiedergibt, u.a. Vor-/Rücklauftemperaturen, Art der Systeme und Verteilnetze, Netzwerk-Typen, Warmwasser-Zirkulation, U-Werte der Rohrdämmungen und Rohrleitungslängen (unterschiedlich für Verteil-, Strang-/Steig- und Anbinde-/Stichleitungen)
- System-Umgebung der Anlagentechnik:
Umgebungs-Bedingungen (Temperatur) und Fallunterscheidung, ob mit oder ohne Verrechnung der Wärmeeinträge bilanziert werden soll, unterschiedlich für die einzelnen Komponenten und Rohre der Heizung und des Warmwasser-Systems

Auf die Untersuchung der folgenden Bereiche wurde **verzichtet**, da keine wesentlichen oder neuen Erkenntnisse für die hier betrachtete Untersuchung zu erwarten sind

- Sonnenschutz (Verschattung und Steuerung):
Die Abbildung der Bandbreite für die berechenbaren Wärmeeinträge (Grenzbetrachtung für Senkung und Erhöhung) erfolgt bereits durch Variation der Fensterflächenanteile, eine überlagerte Variation, welche die gleichen Berechnungswerte beeinflusst, ist nicht notwendig.
- Lüftungsart und Luftdichtheit:
Auch hier kann die Abbildung der Bandbreite für die berechenbaren Wärmesenken bereits durch Variation der U-Werte abgebildet werden, eine überlagerte Variation, welche die gleichen Berechnungswerte beeinflusst, ist nicht notwendig.
- Art der Wärmeübergabe:
Die energetischen Unterschiede zwischen z.B. Fußbodenheizung und Radiatoren oder unterschiedlicher Güte der Regelung hat keinen relevanten Einfluss auf die vorliegenden Betrachtungen.

- Art der Wärmespeicherung und -Erzeugung:
Es wird nur eine Grundvariante des Anlagensystems betrachtet, welche einen Brennwertkessel (kombinierter Betrieb für Heizung und Warmwasser), einen Pufferspeicher und einen Warmwasserspeicher enthält. Zusammen mit der thermischen Solaranlage (Warmwasser) und einer Abluftanlage stellt die Anlage das Referenzsystem gemäß GEG dar.
Die Unterscheidung, ob ein Speicher oder Erzeuger Wärmeeinträge (z.B. in Form von Abstrahlverlusten eines Kessels) an die Umgebung abgibt, kann durch die Platzierung innerhalb der Zone an- oder abgeschaltet werden. Eine weitere Variation, z.B. die Wärmeerzeugung über einen Fernwärmeanschluss, bei dem keine Wärmeeinträge auftreten, ist daher nicht notwendig, da sie durch das Grundsystem mit unterschiedlichen Platzierungen abgebildet werden kann.
- Art der Lüftungsanlage:
Eine Variation der Konfiguration der Lüftungsanlagen ist nicht vorgesehen.

Die detaillierte Festlegung der Parameter und Varianten ist in Abschnitt 5.1.2 enthalten.

5.1.1.3 Kombination der Parameter (Variantenmatrix)

Es wird der Begriff **Datengruppe** eingeführt, welcher beschreibt, dass bei der Festlegung von Parametern und Varianten **verschiedene einzelne** Parameter in einen **übergeordneten** Parameter gruppiert werden. Bei den Variationsrechnungen werden dann nur (wenige) übergeordnete Parameter (Datengruppen) variiert, nicht mehr die vielen Einzelgrößen. **Beispiel** hierfür ist die Qualität der Gebäudehülle, für die verschiedene Kategorien je nach Güte definiert werden, die dann einen Parametersatz mit den U-Werten der unterschiedlichen Bauteile enthalten.

Empfehlung zum besseren Verständnis der Variantenbildung im Folgenden: **zuerst** den Abschnitt 5.1.2 mit den Definitionen der Datengruppen, Parameter und Varianten **lesen**.

In Abschnitt 5.1.1.2 wurden bei den Festlegungen zu Parametern sechs Bereiche identifiziert, welche für die Auswahl relevanter Parameter vorgesehen sind. Werden die Parameter/Datengruppen Baukörper und Fensterflächenanteil zusammen genommen zu einem Parameter Gebäude, so bleiben in der Summe **fünf Freiheitsgrade**, auf der die Variantenbildung durch unterschiedliche **Kombinationen** aufbauen kann. Diese sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Die gewählten Kombinationen stellen dann jeweils einen **Berechnungsfall** (im Berechnungsprogramm eine Variante) dar, welcher im Anschluss - zusammen mit den anderen Berechnungsfällen - ausgewertet wird.

Tabelle 3: Freiheitsgrade für die Kombination der Parameter

Nr.	Parameter/Datengruppe	Beschreibung
1	Gebäude	Baukörper, Fensterflächenanteil, Nutzung
2	Schwere	Gebäudeschwere oder Bauweise
3	Hülle	Qualität der Gebäudehülle, Kennwerte Bauteile
4	SystemKonfig	Konfiguration der Systeme Heizung und Warmwasser
5	SystemUmgeb	Umgebungsbedingungen der Einzelkomponenten Anlage und Art der Verrechnung der Wärmeeinträge

In Tabelle 4 ist die Definition der Berechnungsfälle dargestellt, durch welche in Form einer Variantenmatrix festgelegt wird welche Berechnungsfälle mit welchen Kombinationen von Parametern/Datengruppen gebildet werden, d.h.

- für verschiedene Berechnungsfälle (das Kürzel dient als Bezeichner), welche **zeilenweise** aufgeführt sind,
- werden die fünf Freiheitsgrade (Parameter/Datengruppen), welche **spaltenweise** vorliegen,

unterschiedlich kombiniert. Die letzte Spalte enthält die **Beschreibung** zum Berechnungsfall (fett dargestellt).

Die in der Tabelle dargestellten Varianten bilden den Rahmen ab, in dem die erwarteten Einflüsse und damit Ergebnisse erwartet werden, d.h. ausgehend von einer **mittleren Ausführung** (EFH01) gibt es die **Grenzfälle** in

Richtung **sehr schlechter Ausführung** (Qualität) mit geringen geregelten Einträgen (EFH02) und **sehr guter Ausführung** mit hohen geregelten Einträgen (EFH03) zunächst in leichter Bauweise und nochmal jeweils in schwerer Bauweise (EFH04 und EFH05).

Die einzelnen Berechnungsfälle werden zeilenweise in Zweiergruppen definiert, jeweils mit dem gleichen Kürzel

- einmal für den Fall **mit Verrechnung** der Wärmeeinträge in der Bilanz und
- anschließend für den Fall **ohne** Verrechnung, gekennzeichnet mit '#'.

In der Tabelle ist mit **blauer** Schrift markiert, wenn die Varianten sich jeweils nicht von Berechnungsfall davor unterscheiden oder wenn es sich um den Vergleichsfall ohne Einträge handelt.

Tabelle 4: Variantenmatrix

Kürzel	Gebäude [Gebäude]	Schwere [Schwere]	Hülle [Hülle]	SystemKonfig [SystemKonfig]	SystemUmgeb [SystemUmgeb]	Beschreibung
EFH01	EFH_FWmittel	mittel	GEG2020	GEG2020	innerhalb Zone	Referenzfall (default)
EFH01#	EFH_FWmittel	mittel	GEG2020	GEG2020	beheizt20	dto. ohne Einträge
EFH02	EFH_FWgering	leicht	schlecht	schlecht	innerhalb Zone	leicht, Quellen klein, Senken groß, Einträge groß
EFH02#	EFH_FWgering	leicht	schlecht	schlecht	unbeheizt13	dto. ohne Einträge
EFH03	EFH_FWhoch	leicht	gut	gut	innerhalb Zone	leicht, Quellen groß, Senken klein, Einträge klein
EFH03#	EFH_FWhoch	leicht	gut	gut	beheizt20	dto. ohne Einträge
EFH04	EFH_FWgering	schwer	schlecht	schlecht	innerhalb Zone	schwer, Quellen klein, Senken groß, Einträge groß
EFH04#	EFH_FWgering	schwer	schlecht	schlecht	unbeheizt13	dto. ohne Einträge
EFH05	EFH_FWhoch	schwer	gut	gut	innerhalb Zone	schwer, Quellen groß, Senken klein, Einträge klein
EFH05#	EFH_FWhoch	schwer	gut	gut	beheizt20	dto. ohne Einträge

5.1.1.4 Entwicklung eines Werkzeugs für die Auswertung der Variantenrechnungen

Für die Durchführung der Berechnungen sowie die Auswertung der Ergebnisse wird das Programm ZUB **Helena** Ultra in **Kombination** mit einer dafür entwickelten Microsoft **Excel**-Anwendung verwendet.

Das Programm ZUB Helena enthält als Gleichungslöser für die Algorithmen der DIN V 18599 einen **Rechenkern**, welcher in den meisten in Deutschland vertriebenen Endanwender-Programmen "verbaut" ist. Der vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickelte Rechenkern enthält das Datenmodell und verarbeitet die Algorithmen. Er stellt **Schnittstellen** bereit, durch welche die Daten des Gebäudemodells sowie die Berechnungsergebnisse in Form von XML-Dateien exportiert werden können. Die vom Ingenieurbüro Hauser entwickelte **Excel-Anwendung** ermöglicht den Import und die Auswertung der XML-Datei und damit die Verarbeitung der zahlreichen Daten ohne die Schnittstelle "Mensch". Dies ermöglicht - neben der Zeitersparnis bei der Datenübertragung - eine Verbesserung der **Qualitätssicherung**, d.h. die Vermeidung von Übertragungsfehlern und eine darüber hinaus gehende Plausibilitätsprüfung des Datenmodells auf Konsistenz mit den Anforderungen an die gewählten Berechnungsfälle.

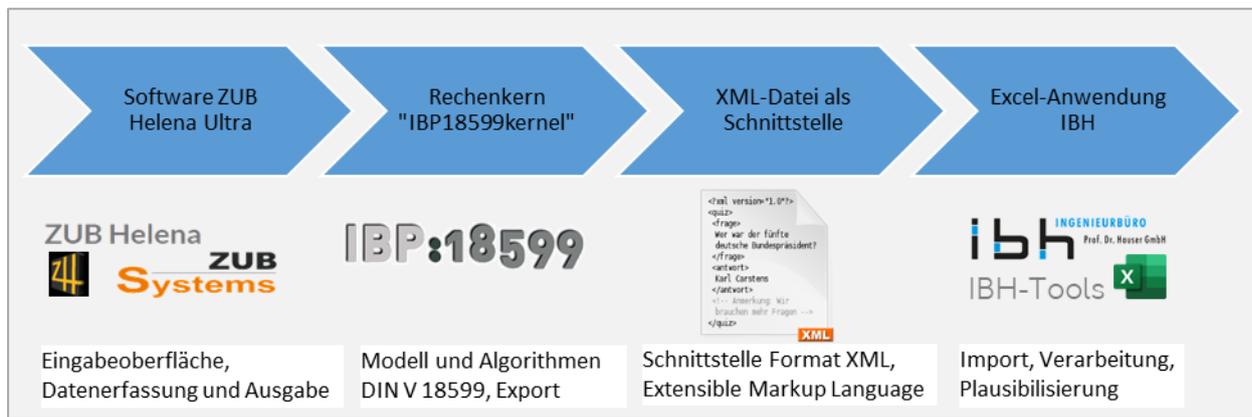


Abbildung 6: Zusammenwirken des Programms ZUB Helena mit der IBH-Excel-Anwendung mittels Rechenkern und Schnittstelle

Umsetzung der in der Variantenmatrix konfigurierten Berechnungsfälle

In der Variantenmatrix in Tabelle 4 sind für die Berechnungsfälle - repräsentiert durch den Bezeichner bzw. das Kürzel, z.B. "EFH01" - jeweils die fünf Parameter Gebäude, Schwere, Hülle, SystemKonfig und SystemUmgeb definiert, zusätzlich ein Freitext, welcher Erläuterungen enthält. Diese Matrix wird in die Excel-Datei zur **Berechnungssteuerung** überführt, dabei werden die Zeilen und Spalten transponiert, siehe nachstehender Screenshot in Abbildung 7.

Für die Berechnungsfälle sind jeweils **drei Spalten** vorgesehen, d.h.

- eine Spalte "**Variant**" zur Festlegung des Berechnungsfalls (Konfiguration) indem die fünf Parameter gesetzt werden,
- eine Spalte "**Helena**" (in grauer Schrift), welche die Daten des XML-Imports enthält (inkl. Zeitstempel des letzten Imports in Zeile 5) sowie
- eine Spalte "**Check**", in der mit Hilfe der im XML-Import enthaltenen Daten des Berechnungsmodells geprüft wird, ob die für den Berechnungsfall erforderliche Konfiguration der einzelnen Parameter in der Helena-Datei korrekt umgesetzt wurde.

Das Ergebnis der **Prüfung** ist in Zeile 7 wiedergegeben. Der **Import** erfolgt über die Schaltfläche oben ("ParseXML and Paste").

Die **weiteren Zeilen** ab Zeile 13 enthalten die Darstellung und Auswertung der Daten (im Screenshot ausgeblendet) für drei Bereiche, d.h.

- Ergebnisse - Jahreswerte
Gebäude (KPI) und Bilanzanteile
- ParameterCheck
aller über die Variantenbildung betroffener Einzel-Parameter
- Ergebnisse - Monatswerte
für die Auswertung der monatlichen Größen, welche auf einem anderen Blatt in Diagramm-Form erfolgt

Die beiden im Screenshot dargestellten Berechnungsfälle EFH01 und EFH01# unterscheiden sich nur durch den letzten Parameter **SystemUmgeb**, der bei EFH01 mit "innerhalb Zone" und bei EFH# mit "beheizt(20)" angegeben ist.

	C	D	E	F	G	H	I	J
1		ParseXML and Paste						
3	Einheit		Variant	Helena	Check	Variant	Helena	Check
4	[str]	VarName	EFH01	EFH01		EFH01#	EFH01#	
5	[date]	LastReadXML		29.11.2020 14:03:03			29.11.2020 11:19:12	
5	[str]	Freitext	Referenzfall (default)			dto. ohne Einträge		
7		ParameterCh	Check = ok			Check = ok		
8	[enum]	Gebäude	EFH_FWmittel			EFH_FWmittel		
9	[enum]	Schwere	mittel	mittel		mittel	mittel	
10	[enum]	Hülle	GEG2020			GEG2020		
11	[enum]	SystemKonfi	GEG2020			GEG2020		
12	[enum]	SystemUmge	innerhalb Zo			beheizt(20)		
13	Ergebnisse - Jahreswerte							
14	ParameterCheck							
15	Ergebnisse - Monatswerte							
20								
21								

Abbildung 7: Screenshot Excel-Anwendung - Berechnungssteuerung - Umsetzung Variantenmatrix

In Abbildung 8 sind die Zeilen dargestellt, welche die Ergebnisse für die **Jahreswerte** enthalten. Diese umfassen die Anzahl der **Iterationen** (Zeile 15) und das Ergebnis des ersten Iterationsschritts für den Heizwärmebedarf $Q_{h,b}$. Ebenfalls enthalten sind die KPI (Key Performance Indicator) des Gebäudes, d.h. der Primärenergiebedarf Q_p und der spezifische Transmissionswärmeverlust H_T' jeweils für das berechnete Gebäude ("exist") und für das Referenzgebäude ("max").

Für die Untersuchung maßgeblich sind die **Bilanzanteile** für den **Heizwärmebedarf**, d.h. die Wärmesenken (Transmission, Lüftung, Solar), die Wärmequellen (solar transparent und opak, intern (p), Anlagentechnik (w, h) und der Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne (eta). Darüber hinaus werden die verfügbaren **Wärmeeinträge** der einzelnen **Komponenten** der Anlagentechnik erfasst, d.h. für die Systeme Heizung (h) und Warmwasser (w) die Prozesse Erzeugung (g), Speicherung (s), Verteilung (d) und Übergabe (ce).

	C	D	E	F	G	H	I	J
1		ParseXML and Paste						
3	Einheit		Variant	Helena	Check	Variant	Helena	Check
4	[str]	VarName	EFH01	EFH01		EFH01#	EFH01#	
5	[date]	LastReadXML		29.11.2020 14:50:06			29.11.2020 14:50:11	
5	[str]	Freitext	Referenzfall (default)			dto. ohne Einträge		
7		ParameterCh	Check = ok			Check = ok		
8	[enum]	Gebäude	EFH_FWmittel			EFH_FWmittel		
9	[enum]	Schwere	mittel	mittel		mittel	mittel	
10	[enum]	Hülle	GEG2020			GEG2020		
11	[enum]	SystemKonfi	GEG2020			GEG2020		
12	[enum]	SystemUmge	innerhalb Zo			beheizt(20)		
13	Ergebnisse - Jahreswerte							
14	Ergebnisse - Gebäude							
15	-	Numiterations		5			2	
16	[kWh/a]	Qhb_step1		11.243,6			11.243,6	
17	[kWh/a]	Qpexist		13.944,5			17.131,7	
18	[kWh/a]	Qpmax		14.520,0			14.520,0	
19	[W/(m²K)]	HTexist		0,273			0,273	
20	[W/(m²K)]	HTmax		0,400			0,400	
21	Ergebnisse - Bilanz							
22	[kWh/a]	QTSink		11.270,3			11.270,3	
23	[kWh/a]	QVSink		7.205,5			7.205,5	
24	[kWh/a]	QSSink		77,7			77,7	
25	[kWh/a]	QSSource_tr		7.453,5			7.453,5	
26	[kWh/a]	QSSource_op		292,0			292,0	
27	[kWh/a]	QISource_p		3.147,8			3.147,8	
28	[kWh/a]	QISource_w		2.149,9			0	
29	[kWh/a]	QISource_h		1.673,8			0	
30	-	eta		0,723			0,756	
31	[kWh/a]	Qhb		8.585,2			11.243,5	
32	Ergebnisse - Wärmeeinträge Anlage							
33	[kWh/a]	QIw_g		310,3			292,5	
34	[kWh/a]	QIw_s		318,4			309,1	
35	[kWh/a]	QIw_d		1.521,5			1.452,6	
36	[kWh/a]	QIw		2.150,2			2.054,2	

Abbildung 8: Screenshot Excel-Anwendung - Berechnungssteuerung - Ergebnisse Jahreswerte

Für die **Plausibilisierung** der Parameter (ParameterCheck) wurde in Abbildung 9 links ein Fehler in die Helena-Datei „eingebaut“, d.h. die Fensterfläche wurde in der Außenwand im Norden nicht korrekt angegeben, es ergibt sich ein Fensterflächenanteil von 0,1 statt der durch die Vorgabe der Konfiguration geforderte Wert von 0,15 (siehe Zeile 56). In Zeile 7 wird darauf hingewiesen, dass es in diesem Fall Fehler gibt ("3 x Obacht" statt "Check = ok").

Der Bereich in der Abbildung **rechts** zeigt die Einzel-Parameter, welche die beiden dargestellten Berechnungsfälle unterscheidet, d.h. die Lage/Aufstellung der Komponenten der Anlagentechnik. Hier wurde ebenfalls ein Fehler in das Helena-Modell eingebaut, d.h. für den Warmwasser-Speicher wurde für die Aufstellung nicht "beheizt(20)" angegeben, wie gefordert (Zelle H72), sondern "unbeheizt(13)", hier liegt also ein Fehler vor ("1 x Obacht").

Einheit	VarName	Variant	Helena	Check	Variant	Helena	Check
[str]	VarName	EFH01	EFH01		EFH01#	EFH01#	
[date]	LastReadXML		29.11.2020 15:09:31			29.11.2020 14:50:11	
[str]	Freitext	Referenzfall (default)			dto. ohne Einträge		
	ParameterCheck	3 x Obacht			Check = ok		
[enum]	Gebäude	EFH_FWmittel			EFH_FWmittel		
[enum]	Schwere	mittel	mittel		mittel	mittel	
[enum]	Hülle	GEG2020			GEG2020		
[enum]	SystemKonfig	GEG2020			GEG2020		
[enum]	SystemUmge	innerhalb Zone			beheizt(20)		
[enum]	UserProfile	w01_Resider	w01_Resider		w01_Resider	w01_Resider	
[m²]	ANGF	191,6444444	191,64444		191,6444444	191,64444	
[m²]	Ve	735	735		735	735	
[m²]	V	558,6	558,6		558,6	558,6	
[m²]	AN	235,2	235,2		235,2	235,2	
[m²]	A	481,2	481,2		481,2	481,2	
[m²]	AWand	113,5	113,5	Obacht	113,5	113,5	
[m²]	ADach	118	118		118	118	
[m²]	ABoden	208,2	208,2		208,2	208,2	
[m²]	ATür	2,1	2,1		2,1	2,1	
[m²]	AInnen	0	0		0	0	
[m²]	AFenster	39,4	37,4	Obacht	39,4	39,4	
[m²]	fwNord	0,15	0,1	Obacht	0,15	0,15	
[m²]	fwOst	0,2	0,2		0,2	0,2	
[m²]	fwSüd	0,2	0,2		0,2	0,2	
[W/(m²K)]	UFenster	0,95	0,95		0,95	0,95	
[m²K]	gFenster	0,5	0,5		0,5	0,5	
[W/(m²K)]	deltaUwb	0,03	0,03		0,03	0,03	
[enum]	hg_Ambi	innerhalb Zo	innerhalb Zo		beheizt(20)	beheizt(20)	
[enum]	hs_Ambi	innerhalb Zo	innerhalb Zo		beheizt(20)	beheizt(20)	
[enum]	wg_Ambi	innerhalb Zo	innerhalb Zo		beheizt(20)	beheizt(20)	
[enum]	ws_Ambi	innerhalb Zo	innerhalb Zo		beheizt(20)	unbeheizt(13) Obacht	
[enum]	hd_Ambi_V	innerhalb Zo	innerhalb Zo		beheizt(20)	beheizt(20)	
[enum]	hd_Ambi_S	innerhalb Zo	innerhalb Zo		beheizt(20)	beheizt(20)	
[enum]	hd_Ambi_A	innerhalb Zo	innerhalb Zo		beheizt(20)	beheizt(20)	
[enum]	wd_Ambi_V	innerhalb Zo	innerhalb Zo		beheizt(20)	beheizt(20)	
[enum]	wd_Ambi_S	innerhalb Zo	innerhalb Zo		beheizt(20)	beheizt(20)	
[enum]	wd_Ambi_St	innerhalb Zo	innerhalb Zo		beheizt(20)	beheizt(20)	
[°C]	hg_thetaVA	55	55		55	55	
[°C]	hg_thetaRA	45	45		45	45	
[enum]	hd_System	Zweirohnetz	Zweirohnetz		Zweirohnetz	Zweirohnetz	
[enum]	hd_Network	Typ II Etagen	Typ II Etagen		Typ II Etagen	Typ II Etagen	
[enum]	wd_Distrib	zentral	zentral		zentral	zentral	

Abbildung 9: Screenshot Excel-Anwendung - Berechnungssteuerung - ParameterCheck

Die Auswertung der **Monatswerte** und die **Gegenüberstellung** der Berechnungsfälle mit und ohne Verrechnung der Wärmeeinträge der Anlagentechnik ist in Abbildung 10 beispielhaft dargestellt. Im oberen Bereich des Blattes werden die relevanten Berechnungsvarianten ausgewählt, dort werden auch die wesentlichen Kennwerte (Parameter) der Varianten aufgeführt. In den **Diagrammen** sind die Monatswerte dargestellt, im Screenshot für den Heizwärmebedarf links und den Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne rechts.

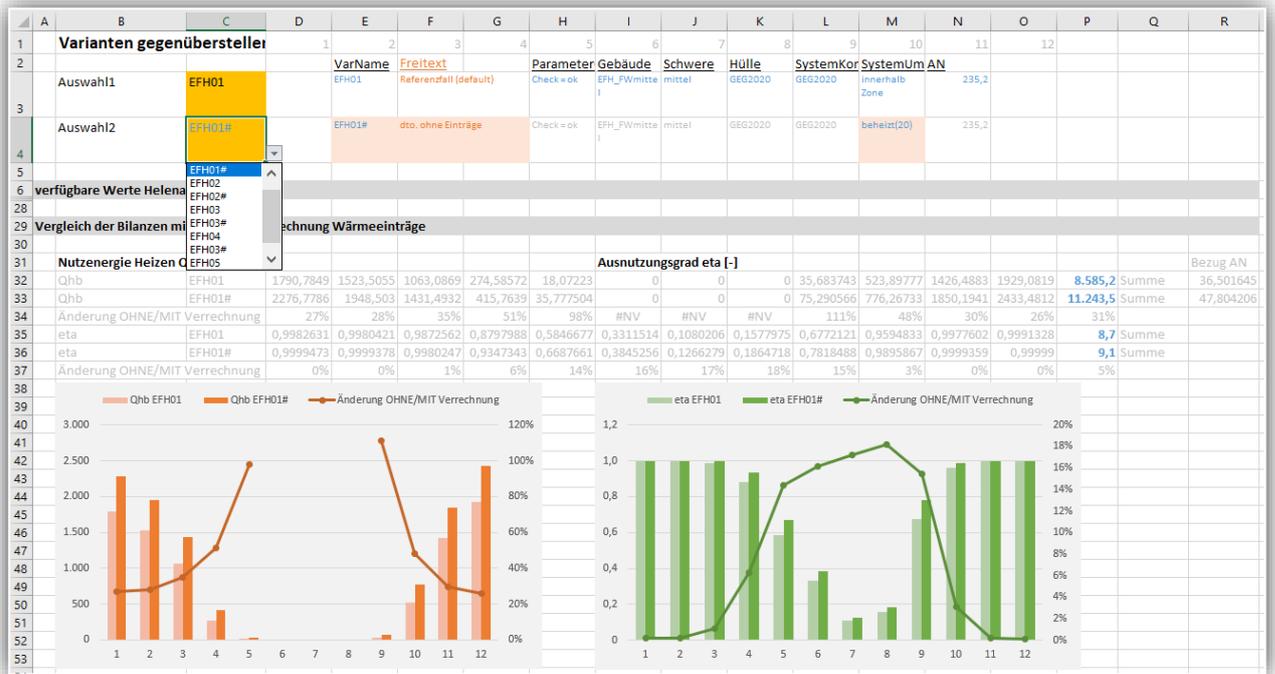


Abbildung 10: Screenshot Excel-Anwendung - Auswertung Monatswerte und Gegenüberstellung Varianten

Bei einer weitere Form der Auswertung kommt das Programm 'e!Sankey' zum Einsatz, mit dem **Energieflüsse** in Form von Sankey-Diagrammen dargestellt werden können. Die Software verfügt über eine Schnittstelle zu Microsoft Excel ("Live Link").

In Abbildung 11 ist die komplette **Bilanz** des Gebäudes für den Berechnungsfall EFH01 dargestellt, d.h. von der **Primärenergie** links bis zur **Nutzenergie** rechts, wobei die Zahlenwerte der Energien bezogen auf die Nutzfläche A_N angegeben sind.

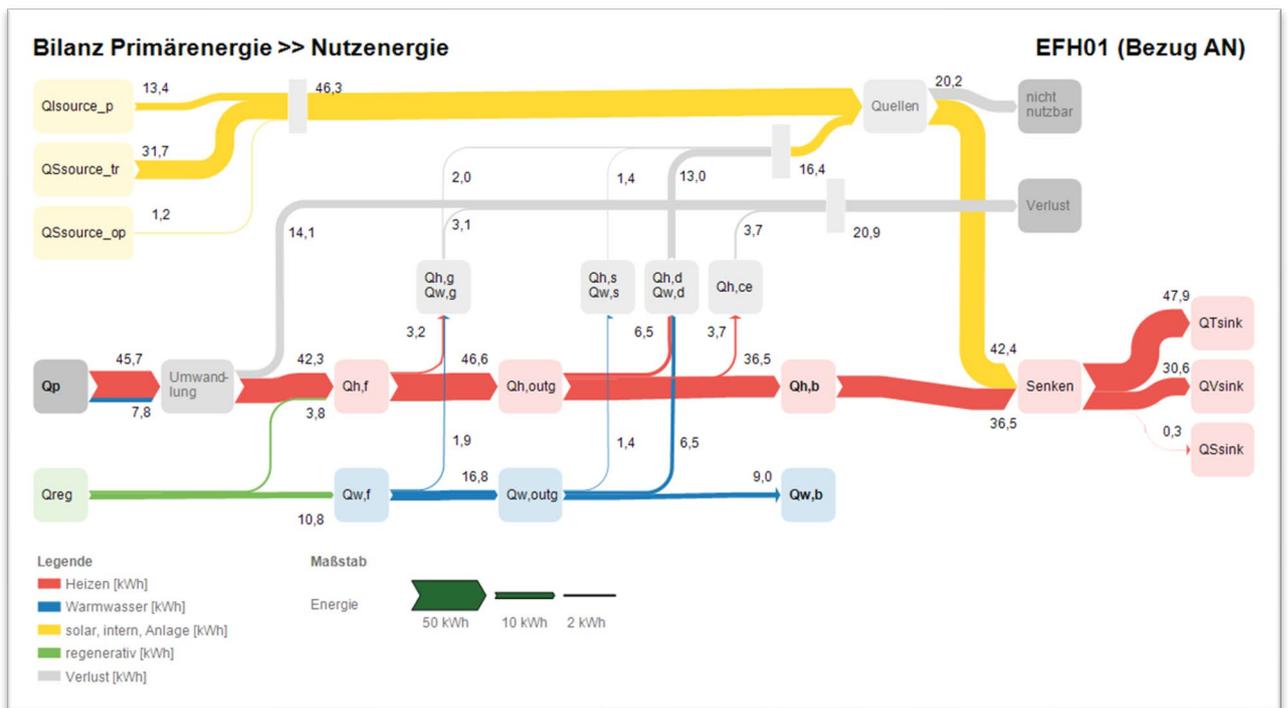


Abbildung 11: Screenshot e!Sankey - Energiefluss EFH01

Im Gegensatz zu dem Berechnungsfall mit Verrechnung der Wärmeeinträge der Anlagentechnik, ist in Abbildung 12 der Fall EFH01# dargestellt, bei dem **keine Verrechnung** erfolgt.

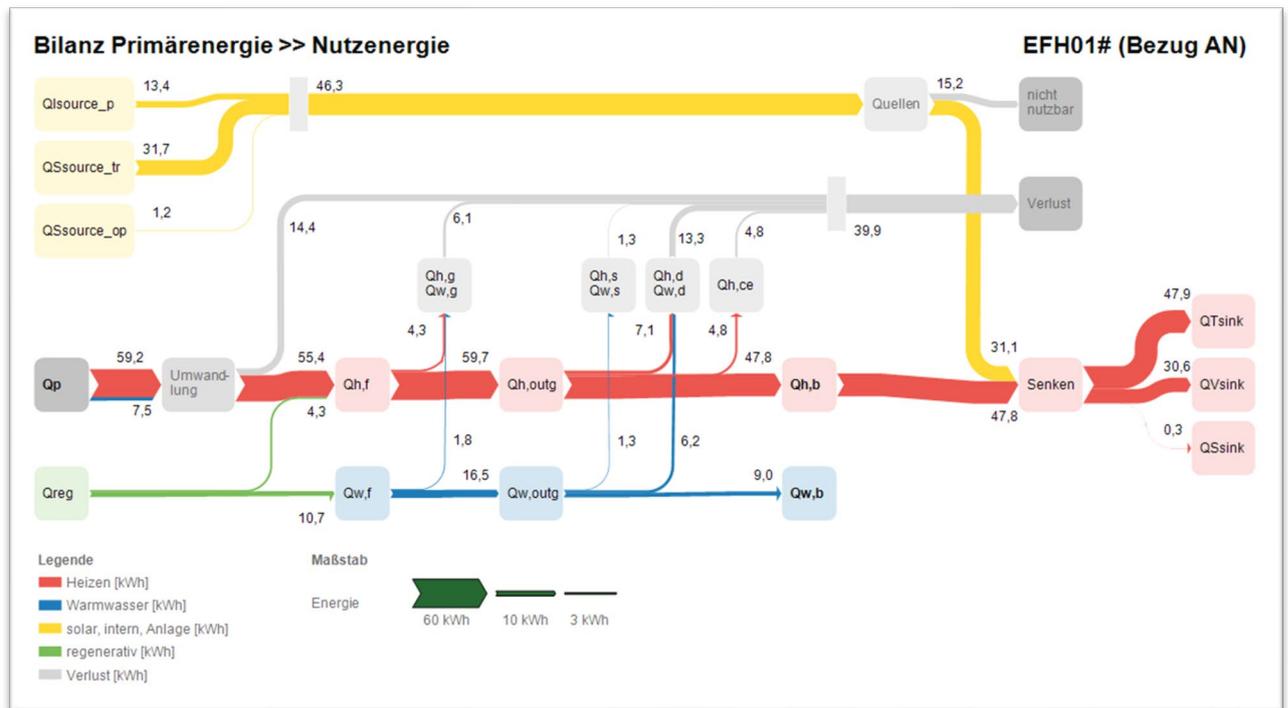


Abbildung 12: Screenshot e!Sankey - Energiefluss EFH01#

5.1.2 Randbedingungen für die Berechnungen

Eine **Übersicht** über die verwendeten **Datengruppen** (Parameter, blau) und **Aufzählungen** (grün) sowie deren **Zusammenhänge** (Verweise in eckigen Klammern) ist in Abbildung 13 wiedergegeben. Die Darstellung orientiert sich an den Klassendiagrammen der Unified Modelling Language UML.

Datengruppen für Variantenmatrix

<table border="1"> <tr><th colspan="2">Gebäude</th></tr> <tr><td>Baukörper</td><td>[Geometrie]</td></tr> <tr><td>Fensterflächenanteil</td><td>[Fensterfläche]</td></tr> <tr><td>Nutzung</td><td>[enum]</td></tr> </table>	Gebäude		Baukörper	[Geometrie]	Fensterflächenanteil	[Fensterfläche]	Nutzung	[enum]	<table border="1"> <tr><th colspan="2">Geometrie</th></tr> <tr><td>Ve</td><td>[m³]</td></tr> <tr><td>AN</td><td>[m²]</td></tr> <tr><td>ANGF</td><td>[m²]</td></tr> <tr><td>AWand</td><td>[m²]</td></tr> <tr><td>ADach</td><td>[m²]</td></tr> <tr><td>ABoden</td><td>[m²]</td></tr> <tr><td>ATür</td><td>[m²]</td></tr> <tr><td>Alnnen</td><td>[m²]</td></tr> </table>	Geometrie		Ve	[m³]	AN	[m²]	ANGF	[m²]	AWand	[m²]	ADach	[m²]	ABoden	[m²]	ATür	[m²]	Alnnen	[m²]	<table border="1"> <tr><th colspan="2">Hülle</th></tr> <tr><td>UWand</td><td>[W/(m²K)]</td></tr> <tr><td>UDach</td><td>[W/(m²K)]</td></tr> <tr><td>UBoden</td><td>[W/(m²K)]</td></tr> <tr><td>UTür</td><td>[W/(m²K)]</td></tr> <tr><td>UInnen</td><td>[W/(m²K)]</td></tr> <tr><td>UFenster</td><td>[W/(m²K)]</td></tr> <tr><td>gFenster</td><td>[-]</td></tr> <tr><td>deltaUwb</td><td>[W/(m²K)]</td></tr> </table>	Hülle		UWand	[W/(m²K)]	UDach	[W/(m²K)]	UBoden	[W/(m²K)]	UTür	[W/(m²K)]	UInnen	[W/(m²K)]	UFenster	[W/(m²K)]	gFenster	[-]	deltaUwb	[W/(m²K)]	<table border="1"> <tr><th colspan="2">SystemKonfig</th></tr> <tr><td>hgThetaV</td><td>[°C]</td></tr> <tr><td>hgThetaR</td><td>[°C]</td></tr> <tr><td>hdSystem</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>hdNetz</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>wdVerteil</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>wdSystem</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>wdZirkul</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>wdNetz</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>dDämm</td><td>[Rohrdämmung]</td></tr> </table>	SystemKonfig		hgThetaV	[°C]	hgThetaR	[°C]	hdSystem	[enum]	hdNetz	[enum]	wdVerteil	[enum]	wdSystem	[enum]	wdZirkul	[enum]	wdNetz	[enum]	dDämm	[Rohrdämmung]	<table border="1"> <tr><th colspan="2">SystemUmgeb</th></tr> <tr><td>hgUmgeb</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>hsUmgeb</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>wgUmgeb</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>wsUmgeb</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>hdUmgebV</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>hdUmgebS</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>hdUmgebA</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>wdUmgebV</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>wdUmgebS</td><td>[enum]</td></tr> <tr><td>wdUmgebSt</td><td>[enum]</td></tr> </table>	SystemUmgeb		hgUmgeb	[enum]	hsUmgeb	[enum]	wgUmgeb	[enum]	wsUmgeb	[enum]	hdUmgebV	[enum]	hdUmgebS	[enum]	hdUmgebA	[enum]	wdUmgebV	[enum]	wdUmgebS	[enum]	wdUmgebSt	[enum]
Gebäude																																																																																										
Baukörper	[Geometrie]																																																																																									
Fensterflächenanteil	[Fensterfläche]																																																																																									
Nutzung	[enum]																																																																																									
Geometrie																																																																																										
Ve	[m³]																																																																																									
AN	[m²]																																																																																									
ANGF	[m²]																																																																																									
AWand	[m²]																																																																																									
ADach	[m²]																																																																																									
ABoden	[m²]																																																																																									
ATür	[m²]																																																																																									
Alnnen	[m²]																																																																																									
Hülle																																																																																										
UWand	[W/(m²K)]																																																																																									
UDach	[W/(m²K)]																																																																																									
UBoden	[W/(m²K)]																																																																																									
UTür	[W/(m²K)]																																																																																									
UInnen	[W/(m²K)]																																																																																									
UFenster	[W/(m²K)]																																																																																									
gFenster	[-]																																																																																									
deltaUwb	[W/(m²K)]																																																																																									
SystemKonfig																																																																																										
hgThetaV	[°C]																																																																																									
hgThetaR	[°C]																																																																																									
hdSystem	[enum]																																																																																									
hdNetz	[enum]																																																																																									
wdVerteil	[enum]																																																																																									
wdSystem	[enum]																																																																																									
wdZirkul	[enum]																																																																																									
wdNetz	[enum]																																																																																									
dDämm	[Rohrdämmung]																																																																																									
SystemUmgeb																																																																																										
hgUmgeb	[enum]																																																																																									
hsUmgeb	[enum]																																																																																									
wgUmgeb	[enum]																																																																																									
wsUmgeb	[enum]																																																																																									
hdUmgebV	[enum]																																																																																									
hdUmgebS	[enum]																																																																																									
hdUmgebA	[enum]																																																																																									
wdUmgebV	[enum]																																																																																									
wdUmgebS	[enum]																																																																																									
wdUmgebSt	[enum]																																																																																									

weitere Datengruppen

<table border="1"> <tr><th colspan="2">Fensterfläche</th></tr> <tr><td>fWNord</td><td>[-]</td></tr> <tr><td>fWOst</td><td>[-]</td></tr> <tr><td>fWSüd</td><td>[-]</td></tr> <tr><td>fWWest</td><td>[-]</td></tr> <tr><td>fWDach</td><td>[-]</td></tr> </table>	Fensterfläche		fWNord	[-]	fWOst	[-]	fWSüd	[-]	fWWest	[-]	fWDach	[-]	<table border="1"> <tr><th colspan="2">Rohrdämmung</th></tr> <tr><td>UV</td><td>[W/(m²K)]</td></tr> <tr><td>US</td><td>[W/(m²K)]</td></tr> <tr><td>UAST</td><td>[W/(m²K)]</td></tr> </table>	Rohrdämmung		UV	[W/(m²K)]	US	[W/(m²K)]	UAST	[W/(m²K)]
Fensterfläche																					
fWNord	[-]																				
fWOst	[-]																				
fWSüd	[-]																				
fWWest	[-]																				
fWDach	[-]																				
Rohrdämmung																					
UV	[W/(m²K)]																				
US	[W/(m²K)]																				
UAST	[W/(m²K)]																				

Aufzählungen (Enumerations)

<table border="1"> <tr><th colspan="2">Nutzung</th></tr> <tr><td>w01_ResidentialBuilding_EFH</td><td></td></tr> <tr><td>w02_ResidentialBuilding_MFH</td><td></td></tr> </table>	Nutzung		w01_ResidentialBuilding_EFH		w02_ResidentialBuilding_MFH		<table border="1"> <tr><th colspan="2">hdSystem</th></tr> <tr><td>Einrohrnetz</td><td></td></tr> <tr><td>Zweirohrnetz</td><td></td></tr> </table>	hdSystem		Einrohrnetz		Zweirohrnetz		<table border="1"> <tr><th colspan="2">wdVerteil</th></tr> <tr><td>zentral</td><td></td></tr> <tr><td>dezentral</td><td></td></tr> </table>	wdVerteil		zentral		dezentral		<table border="1"> <tr><th colspan="2">wdZirkul</th></tr> <tr><td>mit Zirkulation</td><td></td></tr> <tr><td>ohne Zirkulation</td><td></td></tr> <tr><td>Rohrbegleitheizung</td><td></td></tr> </table>	wdZirkul		mit Zirkulation		ohne Zirkulation		Rohrbegleitheizung		<table border="1"> <tr><th colspan="2">Umgebung</th></tr> <tr><td>beheizt</td><td></td></tr> <tr><td>unbeheizt</td><td></td></tr> <tr><td>innerhalb</td><td></td></tr> </table>	Umgebung		beheizt		unbeheizt		innerhalb	
Nutzung																																						
w01_ResidentialBuilding_EFH																																						
w02_ResidentialBuilding_MFH																																						
hdSystem																																						
Einrohrnetz																																						
Zweirohrnetz																																						
wdVerteil																																						
zentral																																						
dezentral																																						
wdZirkul																																						
mit Zirkulation																																						
ohne Zirkulation																																						
Rohrbegleitheizung																																						
Umgebung																																						
beheizt																																						
unbeheizt																																						
innerhalb																																						
	<table border="1"> <tr><th colspan="2">hdNetz</th></tr> <tr><td>Typ I Etagenring</td><td></td></tr> <tr><td>Typ II Etagenverteiler</td><td></td></tr> <tr><td>Typ III Steigstrang</td><td></td></tr> <tr><td>Typ IV Strahlungs-/Lufthzg.</td><td></td></tr> <tr><td>Typ I Etagenring</td><td></td></tr> </table>	hdNetz		Typ I Etagenring		Typ II Etagenverteiler		Typ III Steigstrang		Typ IV Strahlungs-/Lufthzg.		Typ I Etagenring		<table border="1"> <tr><th colspan="2">wdSystem</th></tr> <tr><td>Speicher</td><td></td></tr> <tr><td>Durchflusssystem</td><td></td></tr> </table>	wdSystem		Speicher		Durchflusssystem		<table border="1"> <tr><th colspan="2">wdNetz</th></tr> <tr><td>Typ I Steigstrang</td><td></td></tr> <tr><td>Typ II Ebenen</td><td></td></tr> </table>	wdNetz		Typ I Steigstrang		Typ II Ebenen												
hdNetz																																						
Typ I Etagenring																																						
Typ II Etagenverteiler																																						
Typ III Steigstrang																																						
Typ IV Strahlungs-/Lufthzg.																																						
Typ I Etagenring																																						
wdSystem																																						
Speicher																																						
Durchflusssystem																																						
wdNetz																																						
Typ I Steigstrang																																						
Typ II Ebenen																																						

Abbildung 13: Übersicht Datengruppen und Aufzählungen

5.1.2.1 Modellgebäude

In Tabelle 5 ist ein Auszug aus der Datenbank für die Datengruppe **Geometrie** dargestellt. Der Datensatz umfasst die Parameter Volumen (Außenmaß), Nutz- und Nettogrundflächen sowie die Summe der Hüllflächen je Bauteil-Kategorie (brutto, ohne Fenster).

Die Verteilung auf verschiedene **Orientierungen** und auf unterschiedliche **Einbausituationen** beim oberen und unteren Gebäudeabschluss sind nicht dargestellt.

Die **Fensterflächen** sind ebenfalls nicht aufgeführt, da sie über die Variation des Fensterflächenanteils im Rahmen der Variantenbildung jeweils neu bestimmt werden.

Die **fett** dargestellte Zeile stellt den Referenzfall (Default) dar. Die **kursiv** dargestellten Zeilen dienen als Platzhalter, hier können weitere Gebäude-Geometrien definiert werden, z.B. für Mehrfamilienhäuser (MFH) oder Nichtwohngebäude (NiWo).

Tabelle 5: Datengruppe Geometrie - Parameter, Kategorien und Varianten

Kürzel	Ve [m³]	AN [m²]	ANGF [m²]	AWand [m²]	ADach [m²]	ABoden [m²]	ATür [m²]	Alnnen [m²]
EFH	735	235,2	191,6	84,7	118	208,2	2,1	0
<i>MFH</i>	<i>1565,24</i>	<i>500,9</i>	<i>408,1</i>	<i>...</i>				
<i>NiWo</i>	<i>...</i>							

5.1.2.2 Parameter Gebäude

In Tabelle 6 sind für die Datengruppe **Gebäude**

- die bzw. Teile der **Parameter** (in Spalten) und

- die **Kategorien** (in Zeilen) dargestellt.

Die **Varianten** - also die Daten, welche den Parametern je nach Kategorie/Güte zugewiesen werden können - ergeben sich aus Kombination der entsprechenden Zeilen und Spalten.

Die **Kürzel** werden für die Berechnungssteuerung und im Rahmen der Dokumentation verwendet und stellen eindeutige Bezeichnungen dar.

Bei Baukörper, Fensterflächenanteil und Nutzung gibt es **Verweise** auf eine andere Datengruppe in eckigen Klammern, welche im Weiteren als Datengruppe definiert und beschrieben werden. Die Angabe der Nutzfläche A_N erfolgt informativ.

Die **kursiv** dargestellten Zeilen dienen wieder als Platzhalter für die Aufnahme der Daten für weitere Gebäudetypen. Die **fett** dargestellte Zeile stellt den Referenzfall (Default) dar.

Tabelle 6: Datengruppe Gebäude - Parameter, Kategorien und Varianten

Kürzel	Baukörper [Geometrie]	Fensterflächenanteil [Fensterfläche]	Nutzung [enum]	A_N [m ²]
EFH_FWgering	EFH	gering	w01_ResidentialBuilding_EFH	235,2
EFH_FWmittel	EFH	mittel	w01_ResidentialBuilding_EFH	235,2
EFH_FWhoch	EFH	hoch	w01_ResidentialBuilding_EFH	235,2
<i>MFH_FWmittel</i>	<i>MFH</i>	<i>mittel</i>	<i>w02_ResidentialBuilding_MFH</i>	<i>500,9</i>
<i>NiWo_FW...</i>	<i>NiWo</i>	<i>...</i>		

Für die **Nutzung** wurde eine Aufzählung (enum, engl. enumeration) definiert, bei welcher die Codes aus dem Rechenkern "IBP18599kernel" übernommen wurden (Export Schnittstelle ZUB Helena). Dort steht "w01_ResidentialBuilding_EFH" für das Nutzungsprofil EFH und "w02_ResidentialBuilding_MFH" für das MFH gemäß DIN V 18599-10. Die weiteren Nutzungsprofile für Nichtwohngebäude sind nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen.

Die Datengruppe **Fensterfläche** enthält als Parameter die Fensterflächenanteile für die Fassaden Nord, Ost, Süd, West sowie der Dachflächen, jeweils bezogen auf das umgebende Bauteil, für verschiedene Kategorien unterschiedlicher Bauart. Bei den vorliegenden Untersuchungen wird der Fensterflächenanteil der Dachflächen mit 0 angenommen.

Tabelle 7: Datengruppe Fensterfläche - Parameter, Kategorien und Varianten

Kürzel	fwNord [-]	fwOst [-]	fwSüd [-]	fwWest [-]	fwDach [-]
gering	0,1	0,15	0,3	0,15	0
mittel	0,15	0,2	0,4	0,2	0
hoch	0,3	0,35	0,7	0,35	0

Die Datengruppe **Schwere** enthält nur einen Parameter, d.h. $C_{\text{wirk}}/A_{\text{NGF}}$ für verschiedene Kategorien unterschiedlicher Bauweise.

Tabelle 8: Datengruppe Schwere - Parameter, Kategorien und Varianten

Kürzel	C_{wirk}/A_{NGF} [Wh/(m²K)]
leicht	50
mittel	90
schwer	130

Die Datengruppe **Hülle** enthält als Parameter die U-Werte der Bauteile - unterschiedlich für Wand (Außenwände), Dach (außen oder oberste Geschossdecke), Boden (unterer Gebäudeabschluss), Tür (Außentür), Innenbauteile und Fenster - sowie den g-Wert der Fenster und den Wärmebrückenkorrekturwert (ΔU_{wb}), für verschiedene Kategorien unterschiedlicher Güte.

Die Kategorie 'GEG2020' orientiert sich an den Anforderungen des aktuellen GEG, die Kategorien 'schlecht' und 'gut' repräsentieren die Bandbreite der Niveaus, welche in der vorliegenden Untersuchung relevant sind.

Tabelle 9: Datengruppe Hülle - Parameter, Kategorien und Varianten

Kürzel	UWand [W/(m²K)]	UDach [W/(m²K)]	UBoden [W/(m²K)]	UTür [W/(m²K)]	UInnen [W/(m²K)]	UFenster [W/(m²K)]	gFenster [-]	deltaUwb [W/(m²K)]
schlecht	1,5	1	1	3	3	3	0,8	0,1
GEG2020	0,2	0,18	0,3	1,8	0,5	0,95	0,5	0,03
gut	0,1	0,1	0,12	0,9	0,16	0,74	0,5	0

5.1.2.3 Parameter Anlagentechnik

Die Datengruppe **SystemKonfig** enthält die Parameter, welche die Güte der Konfiguration der Anlagentechnik in verschiedenen Kategorien zusammenfasst, d.h.

- für die Erzeugung (hg) die Systemtemperaturen (Auslegung) für Vorlauf und Rücklauf
- bei der Verteilung Heizung (hd) die Systemart und der Netztyp
- bei der Verteilung Warmwasser (wd) die Verteilart, die Systemart, die Art der Zirkulation und der Netztyp
- für beide Verteilungen (d) die Güte der Rohrdämmung als Verweis auf eine weitere Datengruppe

Die mit **blauer** Schrift markierten Spalten werden nicht variiert. Aus den Netztypen und der Art der Zirkulation ergeben sich die **Längen** der Rohrleitungen (gem. Verfahren DIN V 18599). Die mit **[enum]** gekennzeichneten Parameter greifen auf Auszählungen (engl. enumeration) zurück, welche in Tabelle 13 definiert sind.

Tabelle 10: Datengruppe SystemKonfig - Parameter, Kategorien und Varianten

Kürzel	hgThetaV [°C]	hgThetaR [°C]	hdSystem [enum]	hdNetz [enum]	wdVerteil [enum]	wdSystem [enum]	wdZirkul [enum]	wdNetz [enum]	dDämm [Rohrdämmung]
schlecht	90	70	Zweirohr-netz	Typ II Etagen-verteiler	zentral	Speicher	mit Zirkulation	Typ I Steigstang	unge-dämmt
GEG2020	55	45	Zweirohr-netz	Typ II Etagen-verteiler	zentral	Speicher	mit Zirkulation	Typ I Steigstang	nach 1995
gut	35	28	Zweirohr-netz	Typ II Etagen-verteiler	zentral	Speicher	ohne Zirkulation	Typ I Steigstang	ambitioniert

Durch die Datengruppe **SystemUmgeb** werden die Parameter gesetzt, welche die Art der Umgebung (und damit die Randbedingung Temperatur) sowie die Art der Verrechnung der Wärmeeinträge (Standardrandbedingungen beheizt/unbeheizt ohne Verrechnung oder innerhalb Zone mit Verrechnung) festgelegt.

Die einzelnen Parameter betreffen beim Heizsystem (h) die Erzeugung (g) und Speicherung (s) sowie die Rohrabschnitte (V, S, A) beim Warmwassersystem (w) ebenfalls Erzeugung (g) und Speicherung (s) sowie die Rohrabschnitte (V, S, St).

Die Kategorie "innerhalbOhneGS" dient als Platzhalter (kursiv), z.B. als Beispiel für ein Fernwärmesystem, bei dem keine Wärmeeinträge durch Erzeugung und Speicherung auftreten (können), aber die Verteilsysteme innerhalb der Zone verortet sind/sein können.

Tabelle 11: Datengruppe SystemUmgeb - Parameter, Kategorien und Varianten

Kürzel	hgUmgeb [enum]	hsUmgeb [enum]	wgUmgeb [enum]	wsUmgeb [enum]	hdUmgeb V [enum]	hdUmgeb S [enum]	hdUmgeb A [enum]	wdUmgeb V [enum]	wdUmgeb S [enum]	wdUmgeb St [enum]
beheizt20	beheizt	beheizt	beheizt	beheizt	beheizt	beheizt	beheizt	beheizt	beheizt	beheizt
unbeheizt13	unbeheizt	unbeheizt	unbeheizt	unbeheizt	unbeheizt	beheizt	beheizt	unbeheizt	beheizt	beheizt
innerhalb Zone	innerhalb	innerhalb	innerhalb	innerhalb	innerhalb	innerhalb	innerhalb	innerhalb	innerhalb	innerhalb
<i>innerhalbOhneGS</i>	<i>beheizt</i>	<i>beheizt</i>	<i>beheizt</i>	<i>beheizt</i>	<i>innerhalb</i>	<i>innerhalb</i>	<i>innerhalb</i>	<i>innerhalb</i>	<i>innerhalb</i>	<i>innerhalb</i>
<i>gemischt</i>	<i>unbeheizt</i>	<i>unbeheizt</i>	<i>unbeheizt</i>	<i>unbeheizt</i>	<i>unbeheizt</i>	<i>beheizt</i>	<i>beheizt</i>	<i>unbeheizt</i>	<i>beheizt</i>	<i>beheizt</i>
...										

In der Datengruppe **Rohrdämmung** werden die Parameter gesetzt, durch welche die Art der Dämmung (und damit die U-Werte für die einzelnen Rohrabschnitte) festgelegt wird. Die U-Werte gelten für Heizungs- und Warmwassersysteme und sind unterschiedlich für Verteil- (V), Steig- (S) und Anbinde-/Steigleitungen (ASt). Für die Kategorien nach Baualter werden dabei die Annahmen aus DIN V 18599-5 übernommen.

Tabelle 12: Datengruppe Rohrdämmung - Parameter, Kategorien und Varianten

Kürzel	UV [W/(m²K)]	US [W/(m²K)]	UASt [W/(m²K)]
ungedämmt	1	1	1
bis 1980	0,4	0,4	0,4
1980 bis 1995	0,2	0,3	0,4
nach 1995	0,2	0,255	0,255
ambitioniert	0,15	0,2	0,2

Die verwendeten **Aufzählungen** (engl. enumeration) lehnen sich an die in DIN V 18599-5/-8 verwendeten Begriffe an. Für die vorliegenden Untersuchungen werden nicht alle Elemente verwendet oder variiert, sind aber - zum Verständnis des Kontextes - vollständig angegeben, mit Ausnahme des Netztyps beim Warmwassersystem, welches sich nur auf zentrale Verteilung bezieht. Dezentrale Systeme werden bei der Betrachtung ausgeschlossen. Für die Konfiguration der Systeme gem. DIN V 18599-5/-8 sind noch weitere Kennwerte denkbar, wurden jedoch ebenfalls bereits ausgeschlossen.

Tabelle 13: Aufzählungen "enum"

	hdSystem	hdNetz	wdVerteil	wdSystem	wdZirkul	wdNetz	Umgebung
1	Einrohrnetz	Typ I Etagenring	zentral	Speicher	mit Zirkulation	Typ I Steigstrang	beheizt
2	Zweirohrnetz	Typ II Etagenverteiler	dezentral	Durchflusssystem	ohne Zirkulation	Typ II Ebenen	unbeheizt
3		Typ III Steigstrang			Rohrbegleitheizung		innerhalb
4		Typ IV Strahlungs-/Luftzdg.					
5		Typ I Etagenring					

5.1.3 Quantifizierung der unregulierten Wärmeeinträge der Anlagen-Komponenten

Im Folgenden werden die Ergebnisse verschiedener Berechnungen für ein Einfamilienhaus dargestellt (Kürzel 'EFH01').

Kurzbeschreibung Beispiel 'EFH01': freistehendes Einfamilienhaus zweigeschossig, aus dem Pool der Modellgebäude-Typologie [9], $A_N = 235 \text{ m}^2$, Fensterflächenanteil und Gebäudeschwere mittel, Qualität der Gebäudehülle und System Konfiguration gem. GEG2020 (Referenzfall), Umgebung für alle Anlagenkomponenten innerhalb Zone bzw. beheizt.

Für den Fall "**OHNE Verrechnung**" der Wärmeeinträge (mit '#' gekennzeichnet) werden für die entsprechenden Komponenten der Anlagentechnik (Heizung, Trinkwarmwasser) bei der Konfiguration für die "Umgebung" Standard-Randbedingungen angesetzt. Demgegenüber sind beim **Vergleichsfall** (ohne '#') für die Umgebungen der Komponenten die zu bilanzierenden Zonen angegeben, was zu einer Verrechnung der Wärmeeinträge im Rahmen der Bilanz führt (durch das iterative Verfahren).

5.1.3.1 Hintergrundinfo: Festlegung Umgebung der Anlagenkomponenten (Umsetzung Rechenkern "IBP18599kernel")

In Abbildung 14 ist ein Screenshot dargestellt, welcher den Auswahldialog der Software ZUB Helena zur Konfiguration der **Umgebung** wiedergibt. In diesem Fall eines Rohrabschnittes (von drei) der Heizungs-Verteilung, bei den Rohrabschnitten der Trinkwasser-Verteilung sowie bei den Aufstell-Orten der Erzeuger und Speicher gibt es analoge Abfragen.

Die Auswahl-Möglichkeiten haben im Einzelnen folgende Konsequenzen für die Berechnung

- Standardrandbedingungen beheizt
Dabei wird als Umgebungstemperatur **pauschal** 20 °C angesetzt für die Temperaturdifferenz zwischen Rohr (oder Komponente allgemein) und Umgebung. Eine Verrechnung der Wärmeeinträge erfolgt **nicht**.
- Standardrandbedingungen unbeheizt
Wie beim Fall beheizt, **pauschaler** Wert für die Temperatur ist 13 °C .
- innerhalb Zone
 - ⇒ Zone ist beheizt
Die Umgebungstemperatur wird durch die **berechnete** Bilanzinnentemperatur der Zone festgelegt. Es erfolgt eine Verrechnung der Wärmeeinträge im Rahmen der **iterativen** Bilanz für diese Zone.
 - ⇒ Zone ist unbeheizt
Die Umgebungstemperatur wird durch die **berechnete** Innentemperatur der angrenzenden unbeheizten Zone festgelegt. Die Wärmeeinträge werden bei der Berechnung der Temperatur berücksichtigt, welche auf dem Ansatz der **DIN EN ISO 13789** beruht.
- in allen versorgten Zonen (nur bei mehrzoniger Berechnung von Nichtwohngebäuden)
Die Umgebungstemperatur wird durch den Mittelwert der berechneten Bilanzinnentemperaturen aller Zonen des Versorgungsbereichs festgelegt. Es erfolgt eine Verrechnung der Wärmeeinträge im Rahmen der iterativen Bilanz für die Zonen des Versorgungsbereichs (anteilig).
- benutzerdefiniert
Im Rahmen der Energieberatung (nicht für Nachweise) können Werte vom Nutzer eingegeben und in Ansatz gebracht werden. Eine Verrechnung der Wärmeeinträge erfolgt nicht.

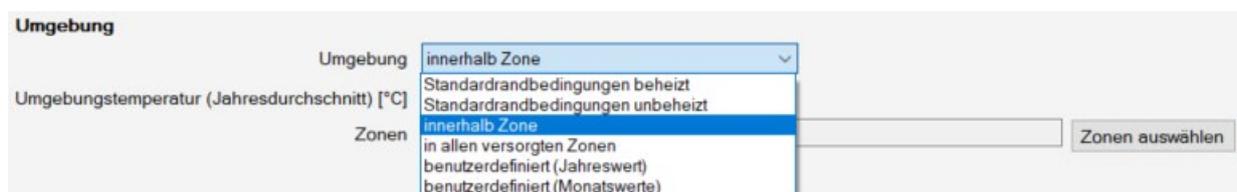


Abbildung 14: Screenshot ZUB Helena - Auswahl Umgebung

5.1.3.2 Nutzenergie Heizen (Heizwärmebedarf) - mit und ohne Verrechnung Wärmeeinträge

Für das Einfamilienhaus (EFH01) ergibt sich im Fall **mit Verrechnung der Wärmeeinträge** für den Heizwärmebedarf eine Jahressumme von 8.585 kWh/a. Für den Fall **ohne Verrechnung** (EFH01#) liegt die Nutzenergie Heizen mit 11.244 kWh/a um **31 % höher**. Bezogen auf die Nutzfläche A_N liegen die Werte bei 36,5 bzw. 47,8 kWh/(m²a).

In Abbildung 15 sind die **Monatswerte** mit Bezug auf die Ordinate links dargestellt. Die **Änderung** des Falls ohne Verrechnung gegenüber dem Wert mit Verrechnung ist über die rechte Ordinate für die Monate der Heizperiode aufgetragen. Die Werte liegen um +27 % (Januar) bis +111 % (September) höher als im Vergleichsfall. Die hohen prozentualen Abweichungen beziehen sich allerdings auf geringe Absolutwerte in der Übergangsjahreszeit.

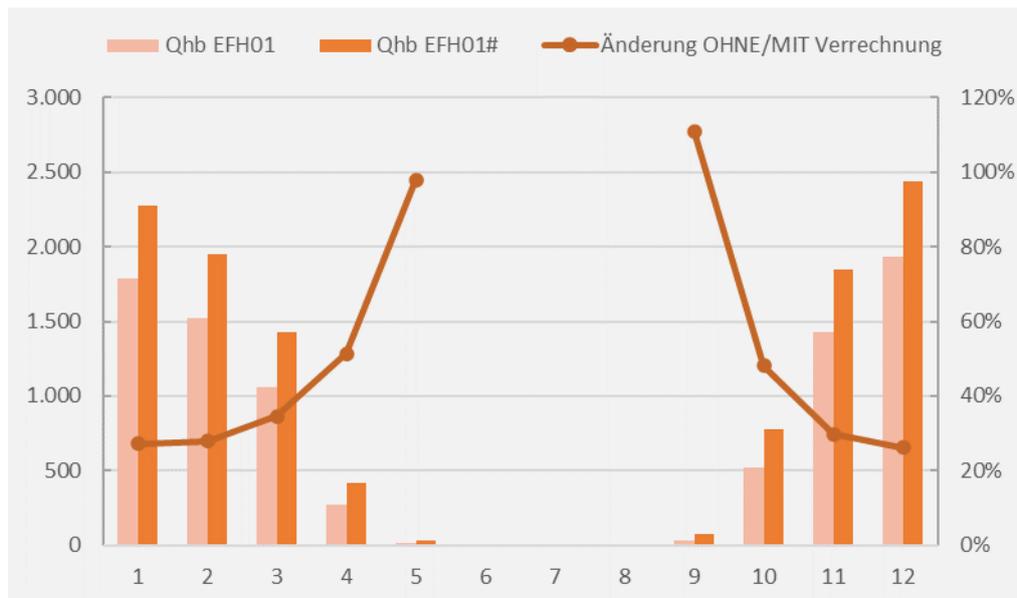


Abbildung 15: Nutzenergie Heizen Qhb [kWh] - Vergleich mit und ohne (#) Verrechnung Wärmeeinträge - EFH01 und EFH01#

5.1.3.3 Ausnutzungsgrad Wärmequellen - mit und ohne Verrechnung Wärmeeinträge

Die Reduktion der Wärmeeinträge hat direkte Auswirkungen auf den resultierenden Ausnutzungsgrad der Wärmequellen. In Abbildung 16 sind die Werte für den monatlichen Ausnutzungsgrad dargestellt. Die Linie stellt wieder die Änderung des Falls ohne Verrechnung gegenüber dem Vergleichsfall dar, prozentual aufgetragen auf der rechten Ordinate. Das **Maximum** der Änderung stellt sich im September mit +18 % ein. Die hohen prozentualen Abweichungen beziehen sich allerdings auf vergleichsweise niedrige Absolutwerte der Ausnutzungsgrade in den Übergangs- bzw. Sommermonaten.

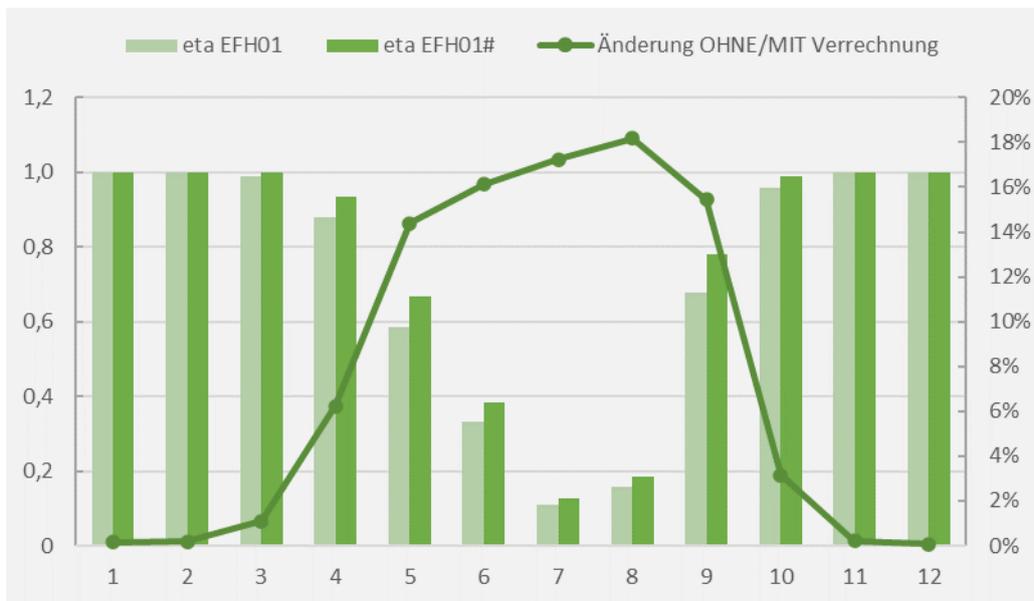


Abbildung 16: Ausnutzungsgrad eta [-] - Vergleich mit und ohne (#) Verrechnung Wärmeeinträge - EFH01 und EFH01#

Der Ausnutzungsgrad der Wärmequellen ergibt sich aus dem Verhältnis der Wärmequellen und den Wärmesenken (gamma) und der Zeitkonstante (tau) des Gebäudes, welche linear proportional zur Gebäudeschwere (C_{wirk}) ist. Im folgenden Beispiel handelt es sich um eine mittelschwere Bauweise. Das **Verhältnis Quellen/Senken** ist in Abbildung 17 aufgetragen, wieder für beide Fälle, es zeigt sich eine Tendenz, die dem Kehrwert des Ausnutzungsgrads folgt.

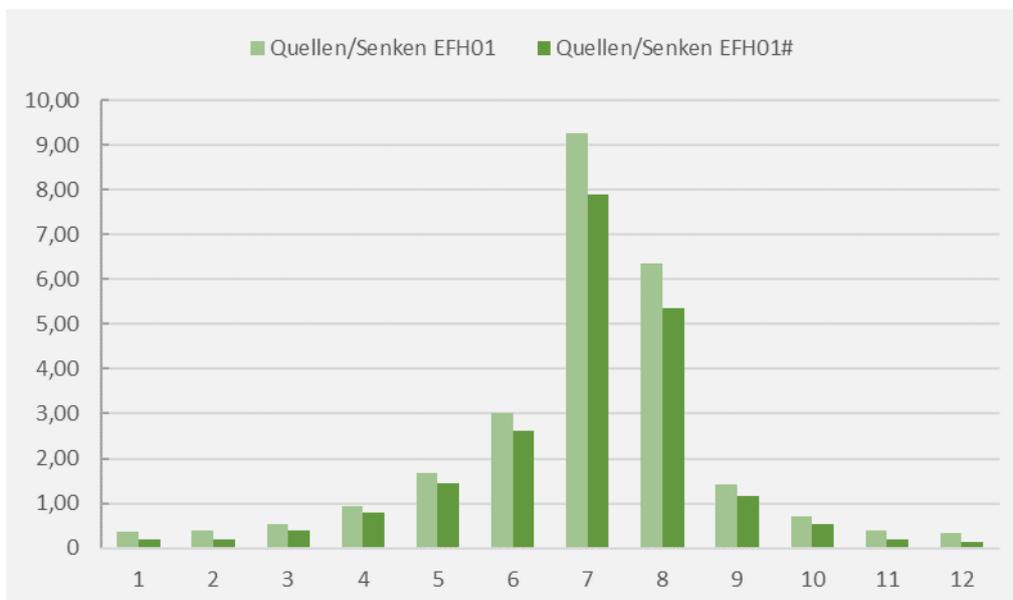


Abbildung 17: Verhältnis Quellen/Senken [-] - Vergleich mit und ohne (#) Verrechnung Wärmeeinträge - EFH01 und EFH01#

Für den **Ausnutzungsgrad eta** wird **aus der Änderung ein Faktor** bestimmt, welcher das Verhältnis wiedergibt, d.h. wieder der Fall ohne bezogen auf den Fall mit Verrechnung der Wärmeeinträge. Der sich ergebende Faktor ist in Abbildung 18 aufgetragen, das Maximum liegt bei 1,18 im September.

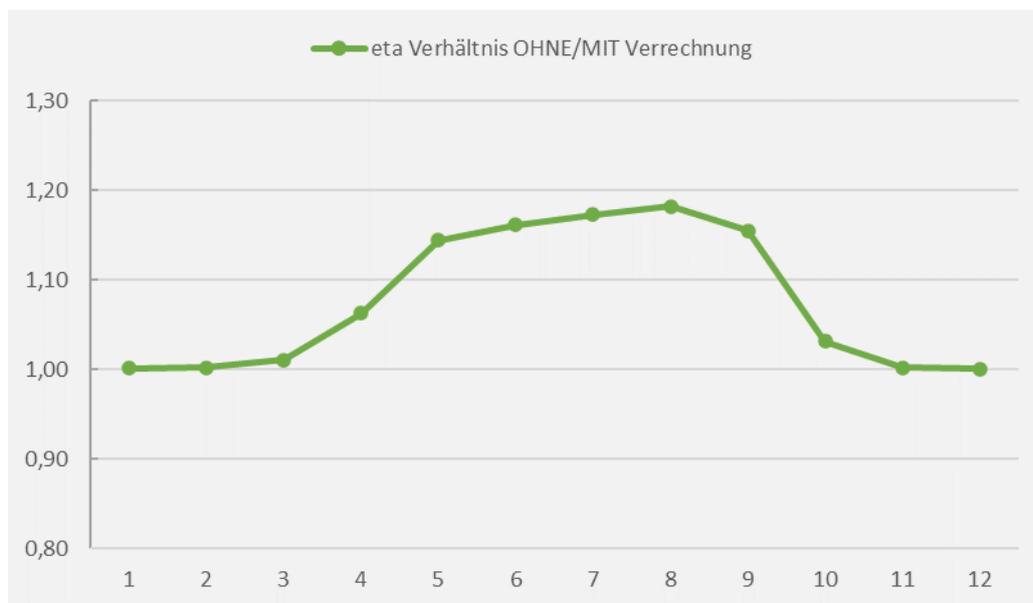


Abbildung 18: Faktor eta Verhältnis mit und ohne (#) Verrechnung Wärmeeinträge - EFH01 und EFH01#

5.1.3.4 Auswertung einzelner Bilanzen

Bei den **Wärmesenken** gibt es keine Unterschiede zwischen den Fällen mit und ohne Verrechnung der Wärmeeinträge. Für das vorliegende Beispiel nehmen die Transmissionswärmesenken ca. 60 % und die Lüftungwärmesenken ca. 40 % ein. Die solaren Wärmesenken liegen unter 0,5 %, siehe Abbildung 19.

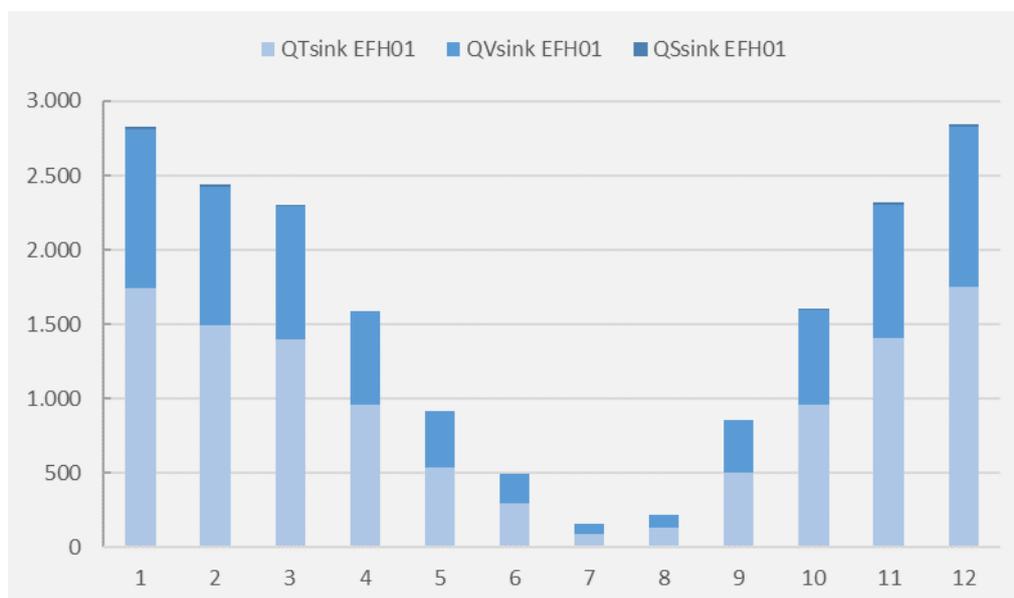


Abbildung 19: Bilanzanteile Wärmesenken - EFH01 und EFH01#

In Abbildung 20 sind die einzelnen **Anteile der Wärmequellen** dargestellt für den Fall mit Verrechnung der Wärmeeinträge. Der resultierende Ausnutzungsgrad ist als Linie und bezogen auf die rechte Ordinate aufgetragen.

Die Anteile der solaren Wärmequellen über **transparente** Bauteile an der Summe der Wärmequellen liegen über das Jahr zwischen 16 und 65 %, bei den **opaken** Bauteilen sind es maximal 5 %.

Die geregelten **internen** Wärmeeinträge ('_p' für Personen) sind als Absolutwerte im Jahresgang konstant und liegen anteilmäßig im Mittel bei 21 %.

Die **ungeregelten Wärmeeinträge durch Anlagentechnik**, welche über die Iteration in der Bilanz verrechnet werden, haben für das **Warmwassersystem** ('_w') keinen ausgeprägten Jahresgang, da der Bedarf monatlich konstant ist (Anteil zwischen 10 und 18 %), beim **Heizungssystem** ('_h') ergeben sich für die Sommermonate keine Wärmequellen, im Winter ergibt sich ein maximaler Anteil von 37 %.

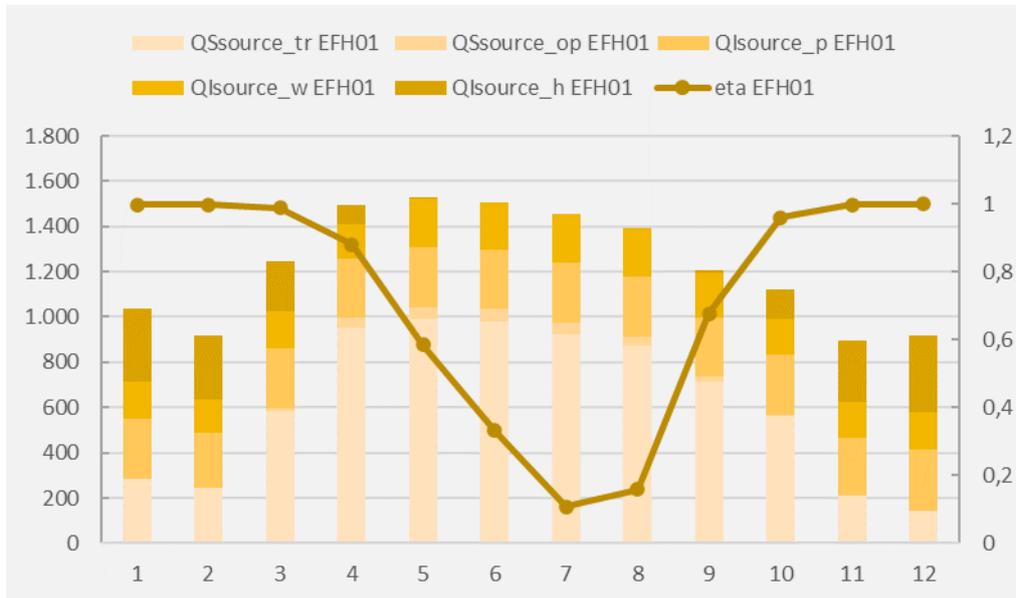


Abbildung 20: Bilanzanteile Wärmequellen - mit Verrechnung Wärmeeinträge - EFH01 und EFH01#

5.1.3.5 Ungeregelte Wärmeeinträge je Prozessbereich

Die Anteile der o.g. unregelmäßigen Wärmequellen für die beiden technischen Gewerke Heizung und Trinkwassererwärmung sind jeweils für die vier Prozessbereiche in Abbildung 21 prozentual dargestellt.

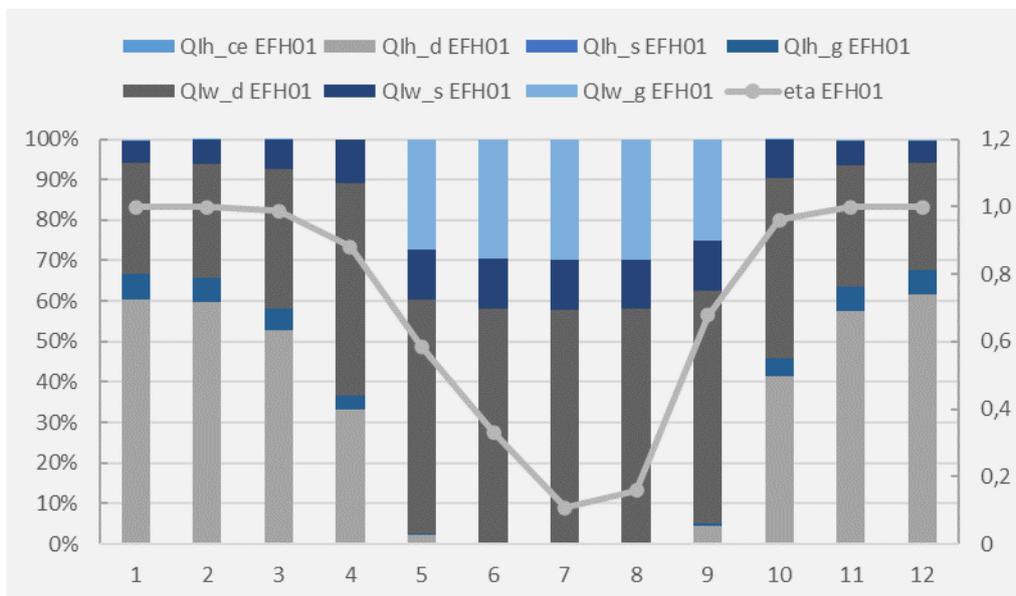


Abbildung 21: Anteile unregelmäßiger Wärmeeinträge je Prozessbereich - EFH01

5.1.4 Weitere Berechnungsgrößen zur Einschätzung der Einflüsse

5.1.4.1 Mittlere Belastung Heizungssystem

Die Belastungsgrade für die Prozessbereiche des Heizungssystems sind für die Vergleichsfälle mit und ohne Verrechnung der Wärmeeinträge in Abbildung 22 dargestellt. Zu Bestimmung der mittleren Belastung siehe auch Ausführungen zum Hintergrund in Abschnitt 5.1.5.3. Über die Schnittstelle zur Software sind folgende Berechnungsgrößen verfügbar, d.h.

- β_h nach Teil 2 der DIN V 18599, Anhang D, sowie
- $\beta_{h,d}$ und $\beta_{h,g}$ nach Teil 5 der DIN V 18599.

Die berechneten maximalen Monatswerte liegen bei EFH01 zwischen 0,37 und 0,46, bei EFH01# von 0,46 bis 0,57. Die jährlichen Mittelwerte liegen im Bereich 0,140 bis 0,189 bzw. 0,183 bis 0,237.

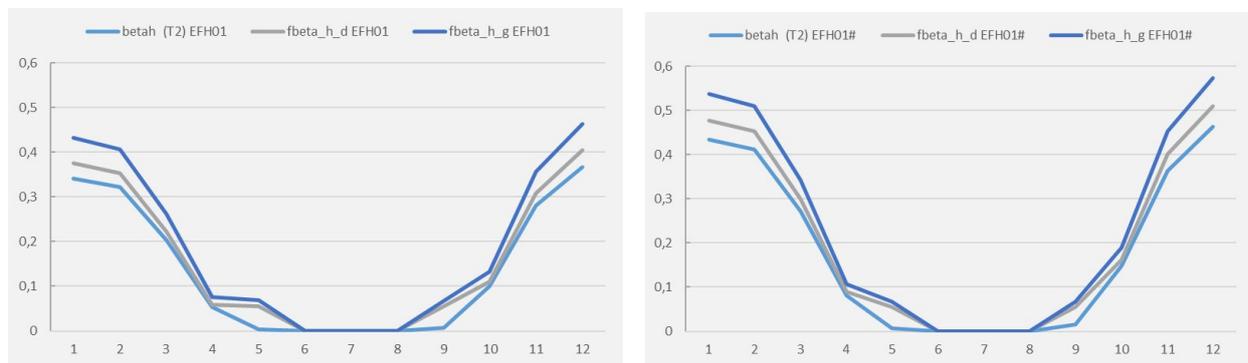


Abbildung 22: Mittlere Belastung Heizungssystem - EFH01 (links) und EFH01# (rechts)

5.1.4.2 Weitere Berechnungsfälle - Bandbreite möglicher Ergebnisse

In der **Variantenmatrix** in Abschnitt 5.1.1.3 sind verschiedene Berechnungsfälle dokumentiert, welche die zu erwartende Bandbreite möglicher Ergebnisse wiedergeben, also der Kombinationen unterschiedlicher Parameter. Die Konfiguration der Berechnungsfälle lässt sich wie folgt zusammenfassen, d.h. (die Varianten mit "#" in den folgenden Einzelauswertungen stellen jeweils den Vergleichsfall ohne Verrechnung der Wärmeeinträge der Anlagentechnik dar)

- EFH01 Referenzfall (mittlere bis gute Bedingungen)
- EFH02 leichte Bauweise, Quellen klein, Senken hoch, Einträge groß
- EFH03 leichte Bauweise, Quellen groß, Senken klein, Einträge klein
- EFH04 wie EFH02 schwere Bauweise
- EFH05 wie EFH03 schwere Bauweise

In Abbildung 23 ist für alle fünf Paare von Berechnungsfällen der **Heizwärmebedarf** aufgetragen, einmal vor dem ersten Iterationsschritt (Q_{hb_step1} , linker Balken), dann nach der letzten Iteration (Q_{hb} , rechter Balken). Für die Vergleichsfälle ohne Verrechnung der Wärmeeinträge ("#") sind die beiden Werte identisch. Die **Anzahl der Iterationen** (NumIterations) ist in Form von Punkten (o) dargestellt mit Bezug zur rechten Ordinate, die Werte für die Fälle mit Verrechnung der Einträge liegen zwischen 4 und 9, ohne Verrechnung bei 2.

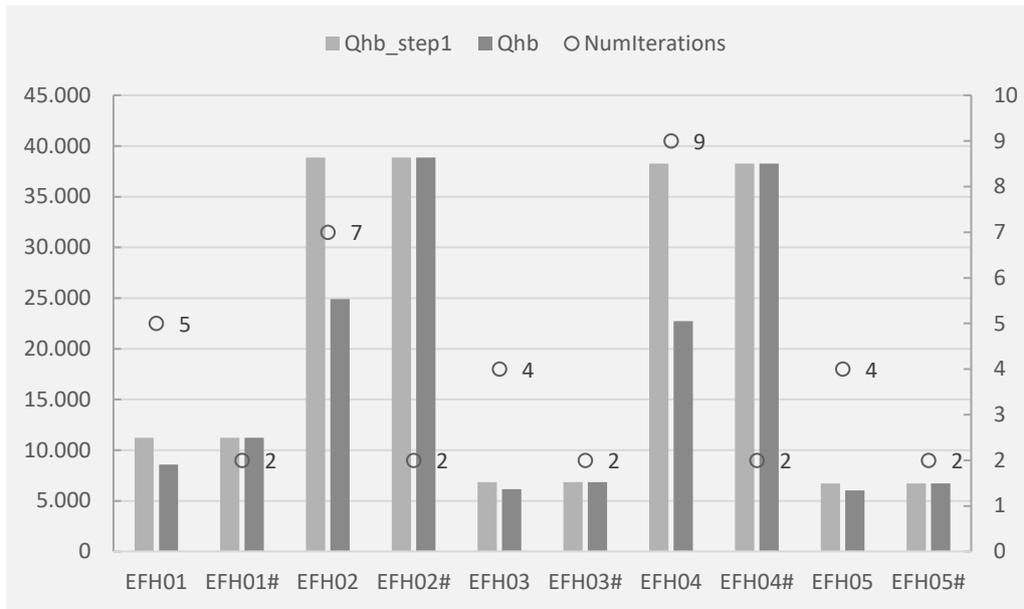


Abbildung 23: Heizwärmebedarf und Iteration - Berechnungsfälle EFH01 bis EFH05

In den folgenden Abbildungen ist der **Heizwärmebedarf** monatlich aufgetragen (entsprechend der Darstellung in Abbildung 15) für die Fälle EFH02 bis EFH05. Die Linie gibt die Differenz zwischen den beiden dargestellten Fällen wieder (ohne und mit #).

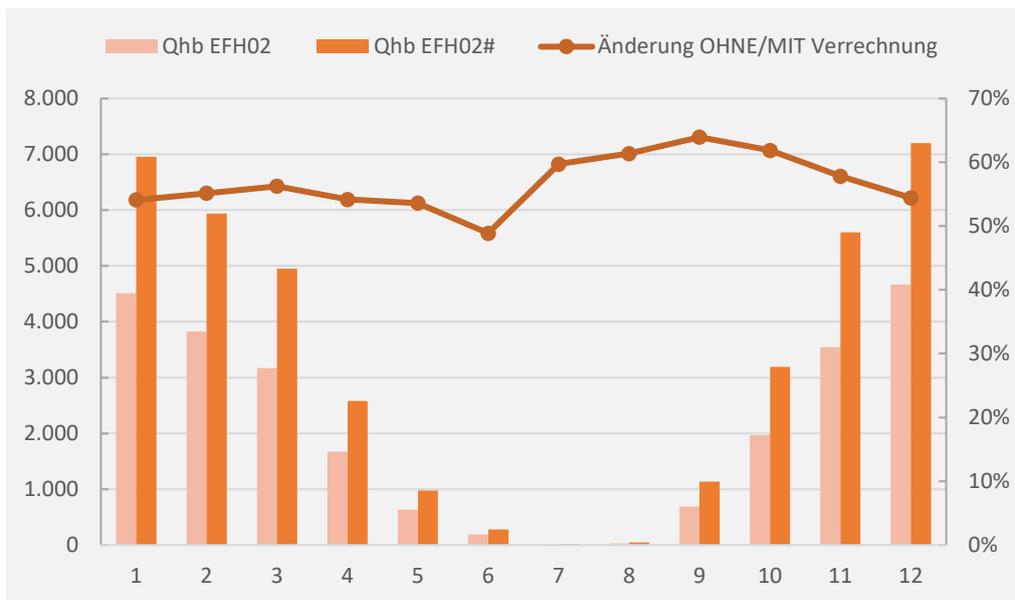


Abbildung 24: Nutzenergie Heizen Q_{hb} [kWh] - Vergleich mit und ohne (#) Verrechnung Wärmeeinträge - EFH02 und EFH02#

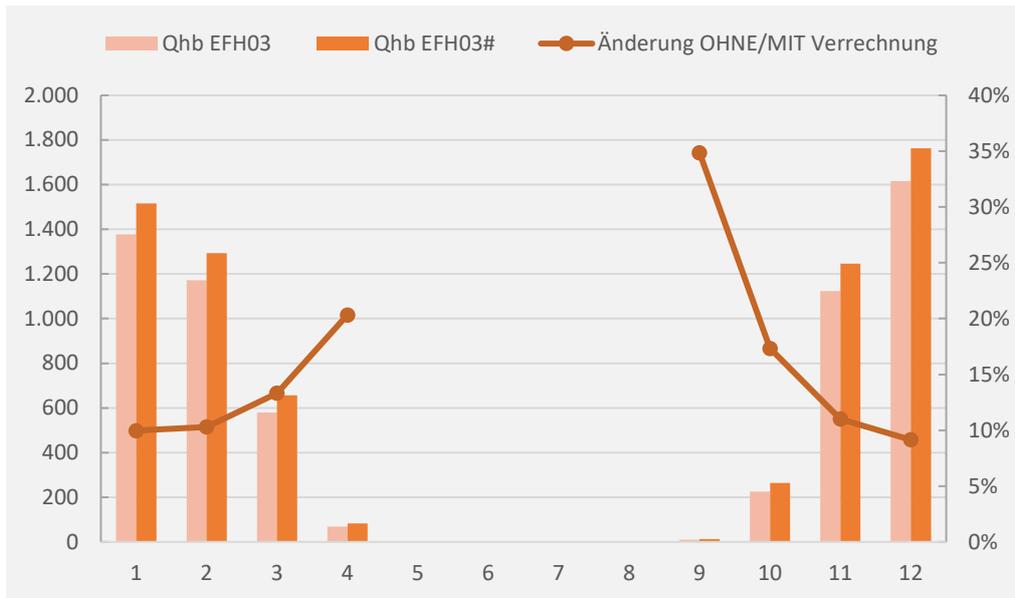


Abbildung 25: Nutzenergie Heizen Q_{hb} [kWh] - Vergleich mit und ohne (#) Verrechnung Wärmeeinträge - EFH03 und EFH03#

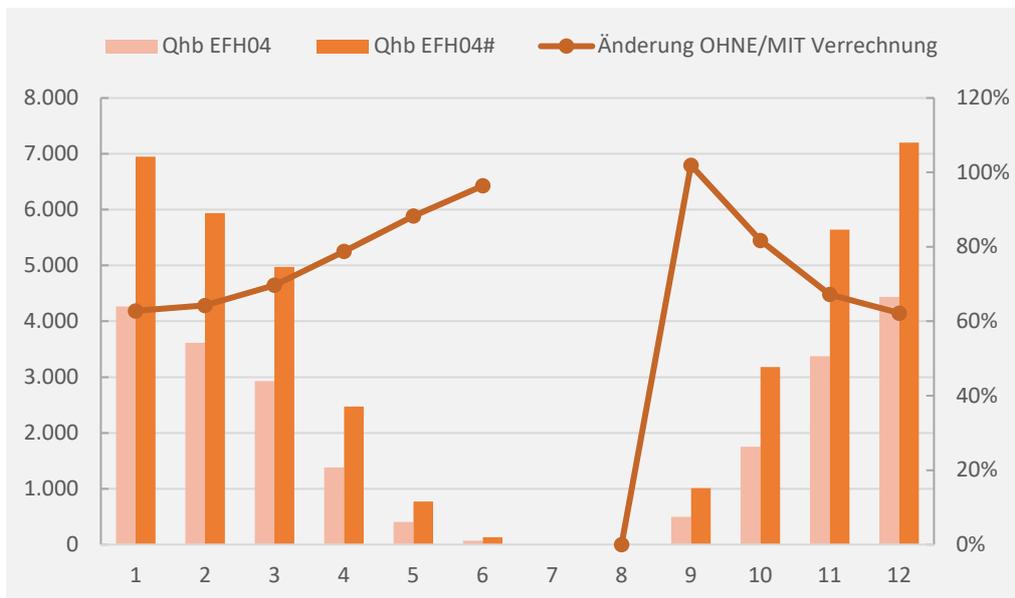


Abbildung 26: Nutzenergie Heizen Q_{hb} [kWh] - Vergleich mit und ohne (#) Verrechnung Wärmeeinträge - EFH04 und EFH04#

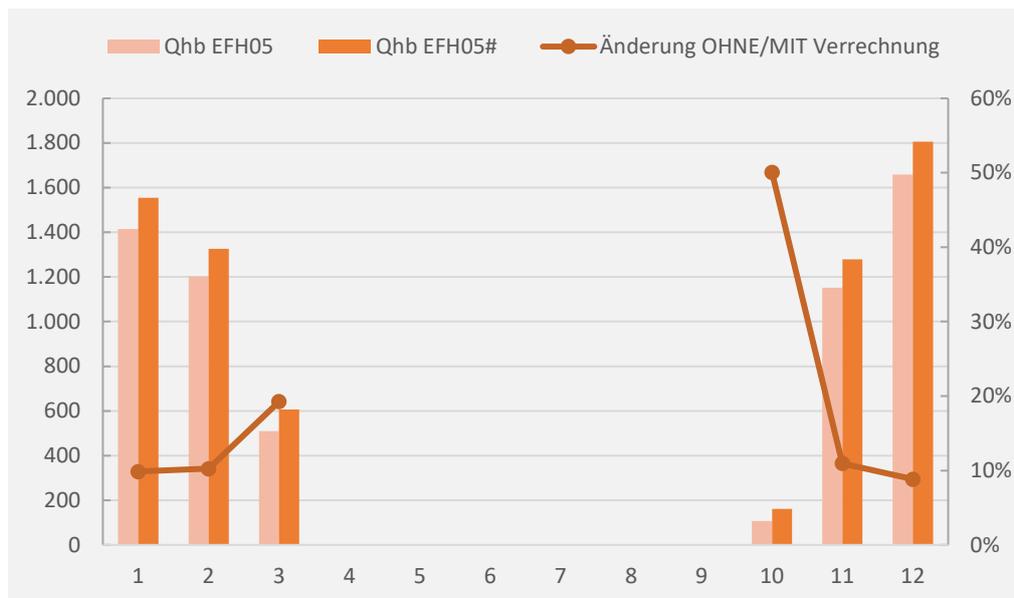


Abbildung 27: Nutzwärme Heizen Q_{hb} [kWh] - Vergleich mit und ohne (#) Verrechnung Wärmeeinträge - EFH05 und EFH05#

5.1.5 Untersuchung und Diskussion verschiedener Ansätze für die Kompensation des Iterationsverzichts

Die Auseinandersetzung mit der Quantifizierung der unregulierten Wärmeeinträge der Anlagen-Komponenten führt zu **drei verschiedenen Ansätzen** als Kompensation des Iterations-Verzichts. Diese werden im Folgenden diskutiert.

5.1.5.1 Ansatz 1: formelmäßiger Ansatz für unregulerte Wärmeeinträge

Die grundlegende Idee dieses Ansatzes beruht darauf, die Bestimmung der unregulierten Wärmeeinträge des Anlagensystems (im Wohnbau zunächst nur Trinkwarmwasser und Heizung) durch eine **Schätzfunktion** zu ersetzen, um dadurch auf die Iteration verzichten zu können. Der **weitere Berechnungsgang**, d.h. die Berechnung des Ausnutzungsgrads der Wärmequellen und die abschließende Bilanz zu Bestimmung der Nutzwärme Wärme sowie die Bestimmung der Heizzeit t_h , erfolgt wie in DIN V 18599-2 vorgesehen, jedoch wird für die unregulierten Wärmeeinträge der Anlagentechnik $Q_{I,source,h}$ die Schätzfunktion angesetzt.

Für die Schätzfunktion wird ein **Formelansatz** gesucht, welcher den Jahrgang berücksichtigt. Hier bietet sich eine Cosinus-Funktion an, in welcher die Monatsnummer enthalten ist sowie zwei Parameter, mit denen eine Skalierung möglich ist für Dämpfung und Versatz. Die folgende Gleichung stellt den Formelansatz für die Schätzfunktion dar

$$Q_{I,source,h,est} = a_0 + b_0 \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{(mth-1)}{11}\right) \quad (4)$$

mit	$Q_{I,source,h,est}$	Schätzwert (engl. estimation) für die Wärmeeinträge des Anlagensystems
	a_0	Parameter zur Skalierung des Versatzes
	b_0	Parameter zur Skalierung der Dämpfung
	mth	Monatsnummer (1 bis 12)

Die **Skalierung** der Cosinus-Funktion erfolgt über die Parameter a_0 und b_0 . Die Größenordnung beider Parameter hängt von den Eigenschaften des Gebäudes und der Konfiguration des Anlagensystems ab.

Für das bereits vorgestellte Beispielgebäude "EFH01" (in einer mittel bis guten Ausführung von Baukörper und Anlagensystem) soll beispielhaft die **Größenordnung** der Parameter hergeleitet werden. Dazu werden wieder die Fälle mit und ohne Verrechnung der Wärmeeinträge herangezogen.

- Im **Vergleichsfall** mit Verrechnung der Wärmeeinträge "EFH01" wird die Nutzenergie Wärme $Q_{h,b}$ nach dem Regelverfahren bestimmt, d.h. die Wärmeeinträge der Anlage werden berechnet.
- Im Fall ohne Verrechnung "EFH01#" wird für die Wärmeeinträge der Wert der Schätzfunktion angesetzt, wobei die Parameter a_0 und b_0 über eine **Zielwertsuche** (Excel Solver) so gewählt werden, dass die **Jahressummen der Nutzenergie Wärme** in beiden Fällen gleich sind (Rückwärtsrechnung), also das Ziel des Vergleichsfalls erreicht wird.

In Abbildung 28 sind die (über Iteration) berechneten monatlichen Werte für $Q_{I,source,h}$ aufgetragen, bezogen auf die Fläche A_N , also mit der Einheit [kWh/(m²month)]. Die zweite Reihe im Diagramm ist die Cosinus-Funktion als Ergebnis der Rückwärtsrechnung mit dem Ziel, dass beide Jahrgänge der Wärmeeinträge zur gleichen Jahressumme der Nutzenergie Wärme $Q_{h,b}$ führen. Die über die Zielwertsuche **gefunden Parameter** für diese Konfiguration von Gebäude und Anlage liegen bei $a_0=1,175$ für den Versatz und $b_0=0,659$ für die Dämpfung der Cosinus-Funktion.

In der Abbildung rechts dargestellt sind die einzelnen Monatswerte für die Wärmeeinträge aus dem Trinkwarmwassersystem (w) und dem Heizsystem (h). Die Einträge aus der Trinkwasser-Verteilung sind über das Jahr in etwa konstant. Die erhöhten Werte im Sommer sind auf die Wärmeerzeugung zurückzuführen. Erzeugerverluste für die Trinkwassererwärmung treten innerhalb der Heizperiode nur während der eigentlichen Laufzeit des Erzeugers für die Warmwasserbereitung auf, alle Erzeugerverluste außerhalb dieser Zeit werden bei der Heizung bilanziert. Außerhalb der Heizperiode läuft der Erzeuger ausschließlich im Warmwasserbetrieb, alle anfallenden Verluste (z.B. auch während des Stillstands zwischen den Phasen der Speicherladung) werden vollständig der Trinkwassererwärmung zugeordnet. Die Jahressummen liegen - bezogen auf A_N - bei 9 (Trinkwarmwasser) bzw. 7 kWh/(m²a) (Heizung).

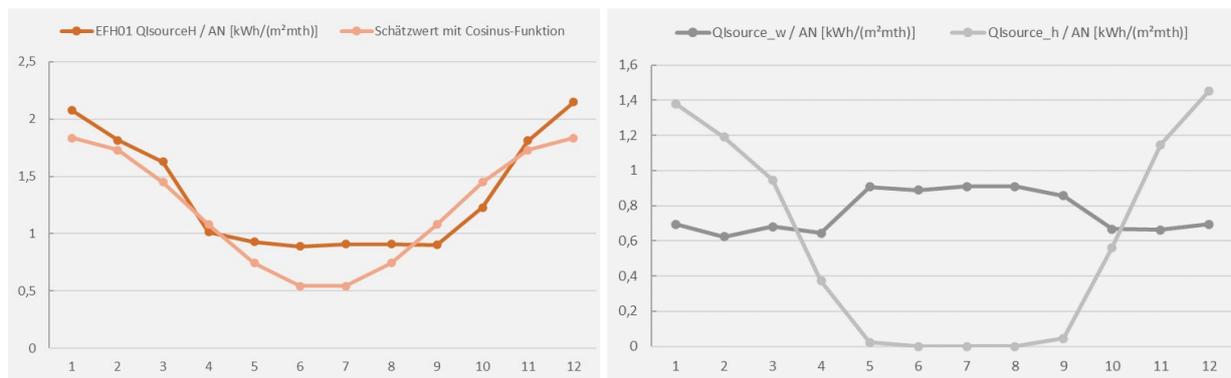


Abbildung 28: Ungeregelte Wärmeeinträge Anlagentechnik $Q_{I,source,h}$ - Berechnung und Schätzwert - EFH01.

Die Parameter in der Cosinus-Funktion hängen von der **Konfiguration** des Gebäudes und der Systeme ab. Um die Grenzen der Wertebereiche abzuschätzen, werden neben der bereits vorgestellten mittleren Ausführung (EFH01, Nutzenergie Wärme 47,8 kWh/(m²a)) zwei Konfigurationen verwendet, die als Grenzfälle nach unten und oben dienen sollen, d.h.

- EFH02 (oberes Limit) hat die gleiche Geometrie wie EFH01, jedoch mit einem sehr geringen Fensterflächenanteil. Die Gebäudehülle weist mit $H_T' = 1,07$ W/(m²K) eine schlechte Ausführung auf und das System entspricht einer Bestandsanlage (Temperaturniveau 90/70 °C, ungedämmte Rohrleitungen). Die Nutzenergie Wärme liegt bei 165,3 kWh/(m²a).
- EFH03 (unteres Limit) mit gleichem Baukörper und hohem Fensterflächenanteil. Hochgedämmte Hülle ($H_T' = 0,18$ W/(m²K)) und Niedertemperatursystem (35/28 °C, Rohrleitungsdämmung ambitioniert). In diesem Fall weist die Trinkwarmwasser-Verteilung keine Zirkulation auf (Frischwasserstation). Die Nutzenergie Wärme liegt bei 29,1 kWh/(m²a).

Die Zielwertsuche ergibt für **beide Parameter** und beide Ausführungen die in Tabelle 14 aufgelisteten Werte. Beide Gebäude sind in schwerer Bauweise ausgeführt, die Ergebnisse für die leichte Ausführung sind als EFH04 und EFH05 ebenfalls in der Tabelle enthalten. Zum Vergleich sind auch die Werte für EFH01 tabelliert.

Tabelle 14: Parameter a_0 und b_0 für die Schätzfunktion für verschiedene Ausführungen

Fall	Beschreibung der Ausführung	Parameter a_0	Parameter b_0
EFH01	mittlere bis gute Ausführung	1,175	0,659
EFH02	oberes Limit (extrem schlechte Ausführung)	6,726	5,164
EFH03	unteres Limit (extrem gute Ausführung)	0,485	0,088
EFH04	wie EFH02 aber Bauweise schwer statt leicht	6,280	5,153
EFH05	wie EFH03 aber Bauweise schwer statt leicht	0,477	0,084

In Abbildung 29 sind für beide Limits (EFH02 links, EFH03 rechts) die Jahresgänge der Wärmeeinträge (oben) sowie die Anteile für Trinkwasser und Heizung (unten) aufgetragen. Bei dem hocheffizienten System ist der Jahresgang nahezu konstant, da der Anteil Heizung gegenüber dem Trinkwarmwasser zurückfällt.

Bei der schlechten Ausführung sind die Wärmeeinträge aus dem **Heizsystem** dominant und mit 60 kWh/(m²a) mehr als doppelt so hoch, verglichen mit der **Trinkwarmwasser**-Zirkulation. Bei der hochgedämmten Ausführung ist keine Zirkulation vorgesehen aber trotzdem liegen die Wärmeeinträge des Trinkwarmwasser-Systems mit 5,2 kWh/(m²a) noch über den sehr geringen verbleibenden Einträgen des Heizungssystems von 1,4 kWh/(m²a).

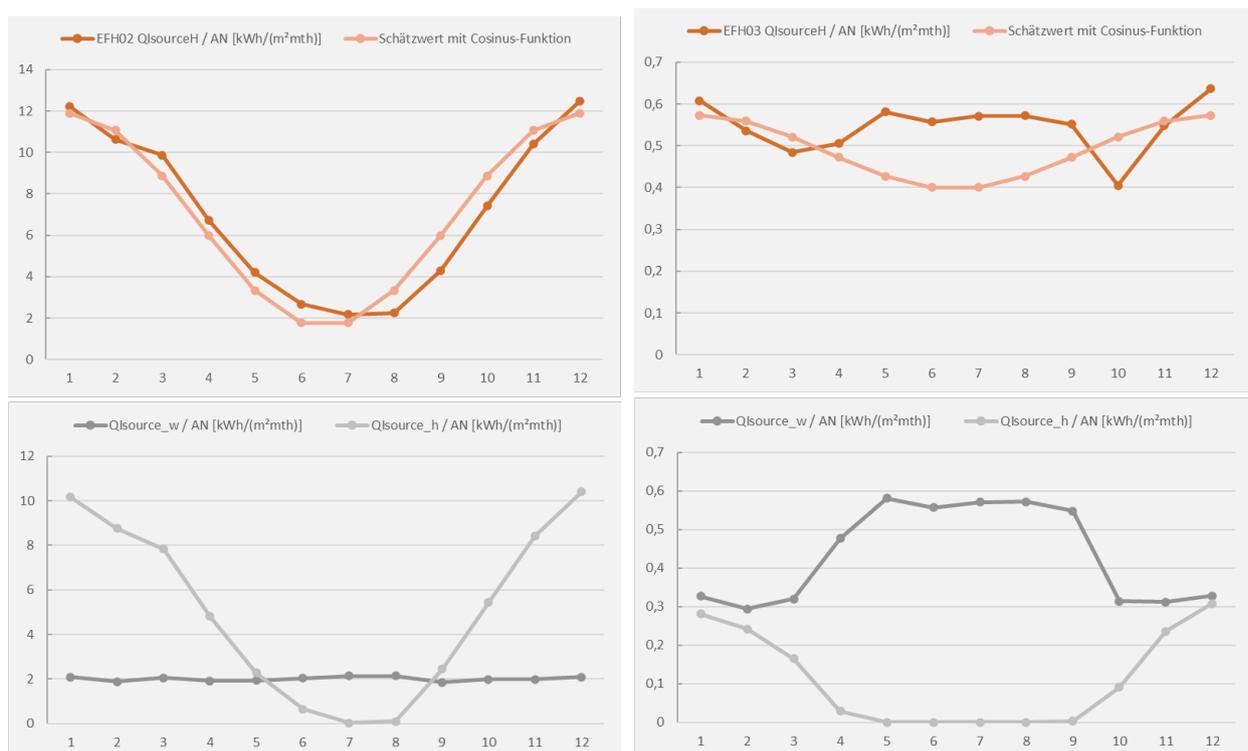


Abbildung 29: Ungeregelte Wärmeeinträge Anlagentechnik $Q_{source,h}$ - Berechnung und Schätzwert - EFH02 (links) und EFH03 (rechts).

Der nächste Schritt bei der Entwicklung dieses Ansatzes ist, eine Möglichkeit zur **Quantifizierung der Parameter** der Cosinus-Funktion zu finden, abhängig von der System-Konfiguration.

Hierfür wird ein **linearer Ansatz** gewählt mit zwei abhängigen Größen, welche repräsentativ für die Art der Ausführung/Konfiguration stehen, d.h. der berechnete Wert für die Nutzenergie Wärme $Q_{h,b,0}$ ohne Verrechnung der Wärmeeinträge aus der Anlagentechnik sowie der Mittelwert der Systemtemperaturen aus Vorlauf und Rücklauf. Zusätzlich werden zwei weitere Koeffizienten eingeführt, welche für Art der Zirkulation und die Art der Leitungsführung

(innerhalb der Bilanzräume oder außerhalb) unterschiedliche Werte annehmen. Die Gleichungen stellen **eine Möglichkeit** unter vielen anderen Möglichkeiten dar, die Zusammenhänge formelmäßig zu beschreiben.

$$\text{Versatz} \quad a_0 = a_1 \cdot Q_{h,b,0} + a_2 \cdot \frac{(\theta_{VA} - \theta_{RA})}{2} + a_3 + a_4 \quad (5)$$

$$\text{Dämpfung} \quad b_0 = b_1 \cdot Q_{h,b,0} + b_2 \cdot \frac{(\theta_{VA} - \theta_{RA})}{2}$$

mit	a_1 und b_1	Koeffizienten für Nutzenergie Wärme ohne unregelmäßige Wärmeeinträge $Q_{h,b,0}$
	a_2 und b_2	Koeffizienten für Mittelwert der Systemtemperaturen θ_{VA} und θ_{RA}
	a_3	Koeffizient zur Berücksichtigung der Art der Zirkulation
	a_4	Koeffizient zur Berücksichtigung der Leitungsführung (innerhalb/außerhalb)

Dieser Ansatz deckt viele unterschiedliche System-Konfigurationen ab, jedoch keine Abweichungen, wenn z.B. im Bestandsbau eine Einrohrheizung vorliegt. Diese Einflüsse müssen dann entweder anderweitig berücksichtigt oder vernachlässigt werden.

Die Herleitung und **Quantifizierung** der Koeffizienten erfolgt idealerweise **analytisch** unter Zuhilfenahme der Berechnungsgleichungen aus dem Regelverfahren der DIN V 18599. Für den vorliegenden Sachverhalt sind die Algorithmen jedoch zu komplex, daher erfolgt die Quantifizierung durch eine **empirische** Herangehensweise, indem viele mögliche Fälle (Konfigurationen) definiert und berechnet werden, um dann aus den Ergebnissen über Optimierungsmethoden die passenden Koeffizienten zu bestimmen.

Die Durchführung von Berechnungen und deren Auswertung hat gezeigt, dass sich die Optimierungsmethoden nur **begrenzt** auf die Fülle der unterschiedlichen Systemkonfigurationen **anwenden** lassen. Es treten Probleme an unterschiedlichen Stellen auf, z.B. ist die Minimierung der Fehlerquadrate nur unzureichend möglich und die Abbildung eines Jahresgangs, welcher die monatlich unterschiedlichen Phasen der Nutzwärme berücksichtigt, kann nicht erreicht werden.

Die Untersuchungen dieses Ansatzes wurden daher im Rahmen der Projektbearbeitung unterbrochen und es wurden weitere bzw. andere Ansätze entwickelt, welche im Folgenden vorgestellt und diskutiert werden.

5.1.5.2 Ansatz 2: formelmäßiger Ansatz bei Endenergie

Mit dem Ziel, die Iteration zu kompensieren, erfolgt bei diesem Ansatz der "Eingriff" in den Berechnungsablauf bei der Endenergie. Bei den einzelnen **Berechnungsschritten** ist der folgende Ablauf vorgesehen, d.h.

- Zunächst wird die **Nutzenergie** Wärme $Q_{h,b,0}$ ohne Verrechnung der unregelmäßigen Wärmeeinträge aus dem Anlagensystem bestimmt.
- Mit Hilfe dieses Wärmebedarfs (Nutzenergie Heizen) werden nach dem Regelverfahren die **Wärmeverluste** der Prozessschritte für die Prozessbereiche Heizen und Trinkwassererwärmung bestimmt (Teil 5 und 8 der DIN V 18599), d.h. für das Heizsystem $Q_{h,ce}$, $Q_{h,d}$, $Q_{h,s}$ und $Q_{h,g}$ sowie für das Trinkwarmwassersystem $Q_{w,ce}$, $Q_{w,d}$, $Q_{w,s}$ und $Q_{w,g}$.
- Im Regelverfahren fließen die Wärmeverluste direkt in die Bilanzgleichung für die Endenergie Heizen ein, bzw. werden die Prozessschritte Übergabe, Verteilung und Speicherung vorher in der Größe Erzeugernutzenergie $Q_{h,outg}$ zusammengefasst, siehe Gl. (9).
- Nun erfolgt keine direkte Verrechnung, sondern es wird ein **neuer Berechnungsschritt** zwischengeschaltet, in welchem die nicht nutzbaren Wärmeverluste des Heizsystems $Q_{h,f,loss}$ und die nutzbaren Wärmeeinträge des Trinkwarmwassersystems $Q_{h,f,gain}$ bestimmt werden, siehe Gl. (7) und (8).

- In den Bestimmungsgleichungen der beiden neuen Größen werden die Verluste jeweils mit einem **Koeffizienten** a bis h versehen, mit welchem der Anteil nicht nutzbarer Wärmeeinträge je Prozessschritt und -bereich quantifiziert wird.
- Die Berechnung der **Endenergie Heizen** erfolgt abschließend durch die neu formulierte Gl. (6), in welcher zur Nutzenergie die nicht nutzbaren Verluste der Heizung addiert und die nutzbaren Wärmeeinträge subtrahiert werden.
- Die Bestimmung der Endenergie für das Trinkwarmwassersystem bleibt wie gehabt, siehe Gl. (10).

$$Q_{h,f} = Q_{h,b,0} + Q_{h,f,loss} - Q_{h,f,gain} \quad (6)$$

$$Q_{h,f,loss} = a \cdot Q_{h,ce} + b \cdot Q_{h,d} + c \cdot Q_{h,s} + d \cdot Q_{h,g} \quad (7)$$

$$Q_{h,f,gain} = (1-e) \cdot Q_{w,ce} + (1-f) \cdot Q_{w,d} + (1-g) \cdot Q_{w,s} + (1-h) \cdot Q_{w,g} \quad (8)$$

mit	$Q_{h,f}$	Endenergie Heizwärmeerzeuger
	$Q_{h,b,0}$	Nutzenergie Wärme ohne Verrechnung der Wärmeeinträge Anlagentechnik
	$Q_{h,f,loss}$	Endenergie Heizung - nicht nutzbare Verluste Heizung
	$Q_{h,f,gain}$	Endenergie Heizung - nutzbare Wärmeeinträge Trinkwarmwasser
	a, b, c, d	Anteil nicht nutzbare Wärmeeinträge Anlagentechnik Heizung
	e, f, g, h	Anteil nicht nutzbare Wärmeeinträge Anlagentechnik Trinkwarmwasser

Für die **Größenordnung** der **Koeffizienten** a bis h können folgende Überlegungen angestellt werden. Zur Quantifizierung der Koeffizienten gibt es einen weiteren Abschnitt im Folgenden.

- Der Anteil der nicht nutzbaren Verluste der **Übergabe Heizen** $Q_{h,ce}$ wird mit 1 angesetzt, da $Q_{h,ce}$ abhängig ist von $Q_{h,b}$ und damit bei $Q_{h,b,0}$ nicht berücksichtigt wird (Gleichung 34 aus DIN V 18599-5).
- Bei der **Verteilung** des Heizsystems $Q_{h,d}$ wird der Anteil der nicht nutzbaren Verluste zwischen 0 und 1. Der Wert ergibt sich in Abhängigkeit von Netztyp, Systemtemperaturen, Wärmedämmung der Rohre, Verortung und ggf. unter Berücksichtigung vom Ausnutzungsgrad und Wärmequellen/Wärmesenken-Verhältnis.
- Bei der **Speicherung** $Q_{h,s}$ hängt der Anteil der nutzbaren Verluste in erster Linie vom Aufstellort ab, d.h. im unbeheizten Bereich 1, im beheizten Bereich unter 1 und ohne Speicher 0.
- Wie bei der Speicherung ist auch bei der **Erzeugung** $Q_{h,g}$ die Nutzbarkeit abhängig vom Aufstellort, d.h. 1 im unbeheizten Bereich, 0 bei dezentralen Systemen und zwischen 0 und 1 bei Aufstellung im beheizten Bereich.
- Ein Verlust der **Übergabe des Trinkwassersystems** $Q_{w,ce}$ ist gemäß DIN V 18599-8 definiert als nicht vorhanden (= 0). Der Wärmearaufwand, der an der Zapfstelle durch ungenutzt auslaufendes warmes Trinkwasser entsteht, ist bereits im Trinkwarmwasser-Energiebedarf $Q_{w,b}$ enthalten. Jedoch erfolgt eine Korrektur des Bedarfs werts bei Vorhandensein von Einrichtungen, welche den Nutzungsverlust beeinflussen, mit dem Faktor f_{Zapf} (Gleichung 12 aus DIN V 18599-8), dieser ist ebenfalls zu berücksichtigen und in einen funktionalen Zusammenhang zu setzen, d.h. $e = f(f_{Zapf})$.
- Bei der **Verteilung** des Trinkwarmwassers $Q_{w,d}$ wird der Anteil der nicht nutzbaren Verluste zwischen 0 und 1 liegen. Der Wert ergibt sich in Abhängigkeit von Netztyp, dem Vorhandensein von Zirkulationspumpen, Wärmedämmung der Rohre, Verortung und ggf. unter Berücksichtigung vom Ausnutzungsgrad und Wärmequellen/Wärmesenken-Verhältnis.
- Bei der **Speicherung** $Q_{w,s}$ hängt der Anteil der nutzbaren Verluste in erster Linie vom Aufstellort ab, d.h. im unbeheizten Bereich 1 und im beheizten Bereich unter 1.
- Wie bei der Speicherung ist auch bei der **Erzeugung** $Q_{w,g}$ die Nutzbarkeit abhängig vom Aufstellort, d.h. 1 im unbeheizten Bereich und zwischen 0 und 1 bei Aufstellung im beheizten Bereich.

Der Belastungsgrad $\beta_{h,gen}$ ist abhängig von $Q_{h,b}$ und damit bei $Q_{h,b,0}$ nicht berücksichtigt (Gleichung 11 aus DIN V 18599-5).

Die **Bestimmung der Endenergie** ist für das Heizsystem in DIN V 18599-1 Gleichung 14 definiert und für das Trinkwassersystem festgelegt mit DIN V 18599-8 Gleichung 4 und 5.

$$Q_{h,f} = Q_{h,outg} + Q_{h,g} = Q_{h,f,in} + Q_{h,f,prod} - Q_{h,f,out} \quad (9)$$

$$Q_{w,f} = Q_{w,outg} + Q_{w,g} = Q_{w,f,in} + Q_{w,f,prod} - Q_{w,f,out} \quad (10)$$

Bei den Bestimmungsgleichungen erfolgt die Nutzung der (mit Einführung der DIN V 18599 neuen) Größe der Erzeugernutzenergie $Q_{h,outg}$ und $Q_{w,outg}$. Die Gleichung für das Heizsystem gilt nur für Systeme, bei denen ein Wärmeerzeuger nur Heizwärme liefert. Bei der Erzeugernutzenergie können aber auch **andere technische Gewerke** berücksichtigt werden, für welche der Erzeuger ebenfalls oder ausschließlich Wärme bereitstellt, z.B. die RLT-Heizfunktion (Index h^*) und das Wohnungslüftungssystem (Index rv). Dies ist in dem hier beschriebenen Ansatz für die Endenergie Heizen gemäß Gl. (6) **nicht zu berücksichtigen**. Ebenfalls nicht in der Beschreibung dieses Ansatzes enthalten ist die alternative Formulierung der Berechnung mit Hilfe der Endenergie, die dem Erzeuger zugeführt wurde $Q_{h,f,in}$, die vom Erzeuger nutzbar gemachte $Q_{h,f,prod}$ und die nach außen bereitgestellte $Q_{h,f,out}$.

Für die **Quantifizierung der Koeffizienten** a bis h findet das oben beschriebene Werkzeug Anwendung, um die einzelnen benötigten Größen zu berechnen für den Fall ohne und mit Verrechnung der Wärmeeinträge aus der Anlagentechnik. Dafür werden für beide Fälle die Wärmeverluste der Prozessschritte und -bereiche Heizen und Trinkwarmwassererwärmung bestimmt, d.h. für das Regelverfahren EFH01 die Verluste, bei denen die Verrechnung der Wärmeeinträge in $Q_{h,b}$ durch Iteration berücksichtigt ist, und für den neuen Ansatz EFH01# die Verluste, bei denen in $Q_{h,b,0}$ keine Wärmeeinträge aus dem Anlagensystem enthalten sind. Als Beispiel dient wieder das EFH, wobei die Ausführung einer mittleren (bis guten) energetischen Qualität entspricht.

In Abbildung 30 dargestellt sind die **Quotienten der Verlustanteile** mit Verrechnung (EFH01) und ohne Verrechnung (ebenfalls mit dem Index 0 erweitert). Für die Endenergie Heizen ergeben sich die gleichen Werte für das Regelverfahren und diesen neuen Ansatz, wenn für die Koeffizienten a bis h jeweils die für diesen Fall berechneten Quotienten angesetzt werden. Dabei handelt es sich um monatlich unterschiedliche Werte, die in den Übergangsmonaten stärker sinken und außerhalb der Heizperiode nicht darstellbar sind.

Die **Werte** für die Quotienten bzw. Koeffizienten liegen beim **Heizsystem** unter 1, da der Wert für $Q_{h,b,0}$ größer ist als $Q_{h,b}$, im Einzelnen liegen sie

- bei der Übergabe im Mittel bei 0,7 und maximal bei 0,79,
- bei der Verteilung im Mittel bei 0,8 und maximal bei 0,92,
- (für den Pufferspeicher gibt es keine Werte, da in der Konfiguration nicht enthalten) sowie
- für die Erzeugung im Mittel bei 0,7 und maximal bei 0,78.

Für das **Trinkwassersystem** ergeben sich Werte über 1, was auf das geänderte Quellen/Senken-Verhältnis und damit die abweichenden Ausnutzungsgrade zurückzuführen ist, d.h. sie liegen

- bei der Übergabe konstant bei 1 (keine Verluste),
- bei der Verteilung im Mittel bei 1,05 und maximal bei 1,08,
- bei der Speicherung im Mittel bei 1,03 und maximal bei 1,05 sowie
- bei der Erzeugung im Mittel bei 1,02 und maximal bei 1,04.

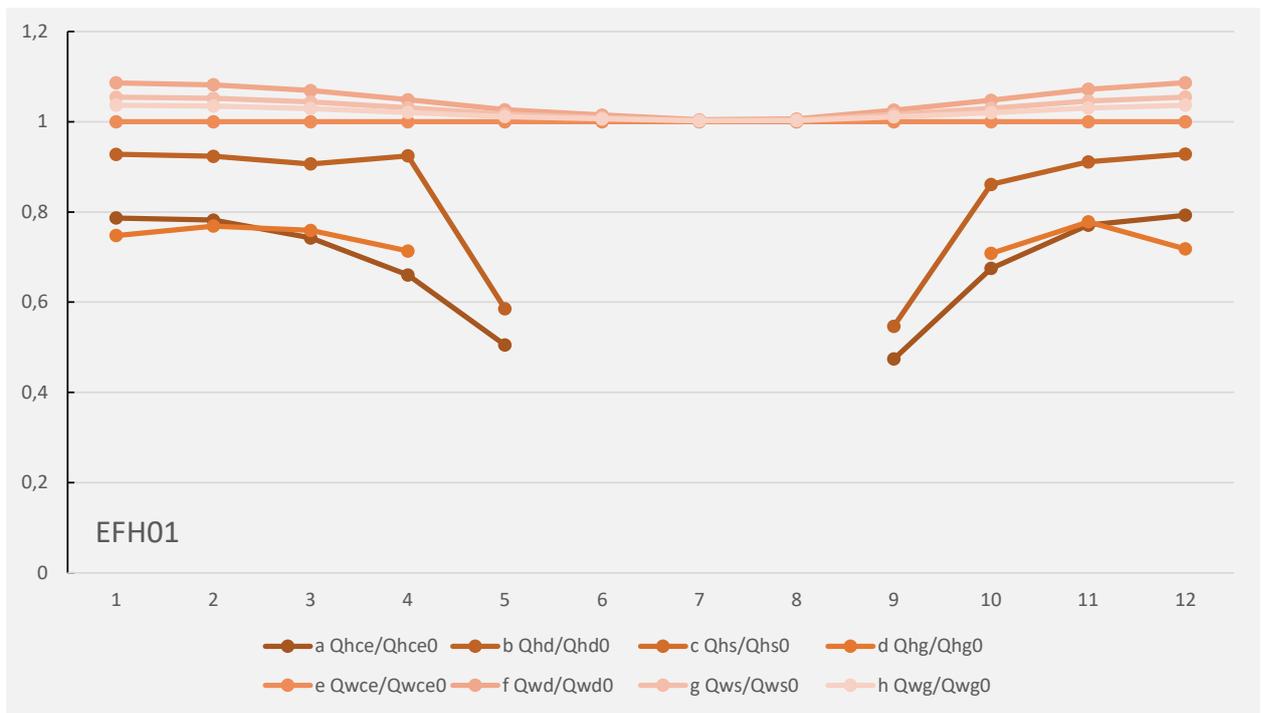


Abbildung 30: Quantifizierung Koeffizienten a bis h für EFH01 in mittlerer energetischer Ausführung.

Um den Einfluss des Gebäudes auf die Werte und den Jahresgang zu verringern, erfolgt eine **Normierung** der oben dargestellten Werte (Koeffizienten) durch den jeweiligen Monatswert des Ausnutzungsgrades für die Wärmequellen. Dabei wird durch den (im Berechnungsgang an dieser Stelle bekannten) Wert für den Fall ohne Verrechnung der systembedingten Wärmeeinträge η_0 geteilt (Index 0). Zudem werden die Übergangsmonate mit stark abweichenden Werten für Übergabe und Verteilung Heizten aus der Betrachtung herausgenommen. Das **Ziel** dieser Normierung sollte eine Minderung der Jahresschwankung sein, dies konnte jedoch **nicht erreicht** werden.

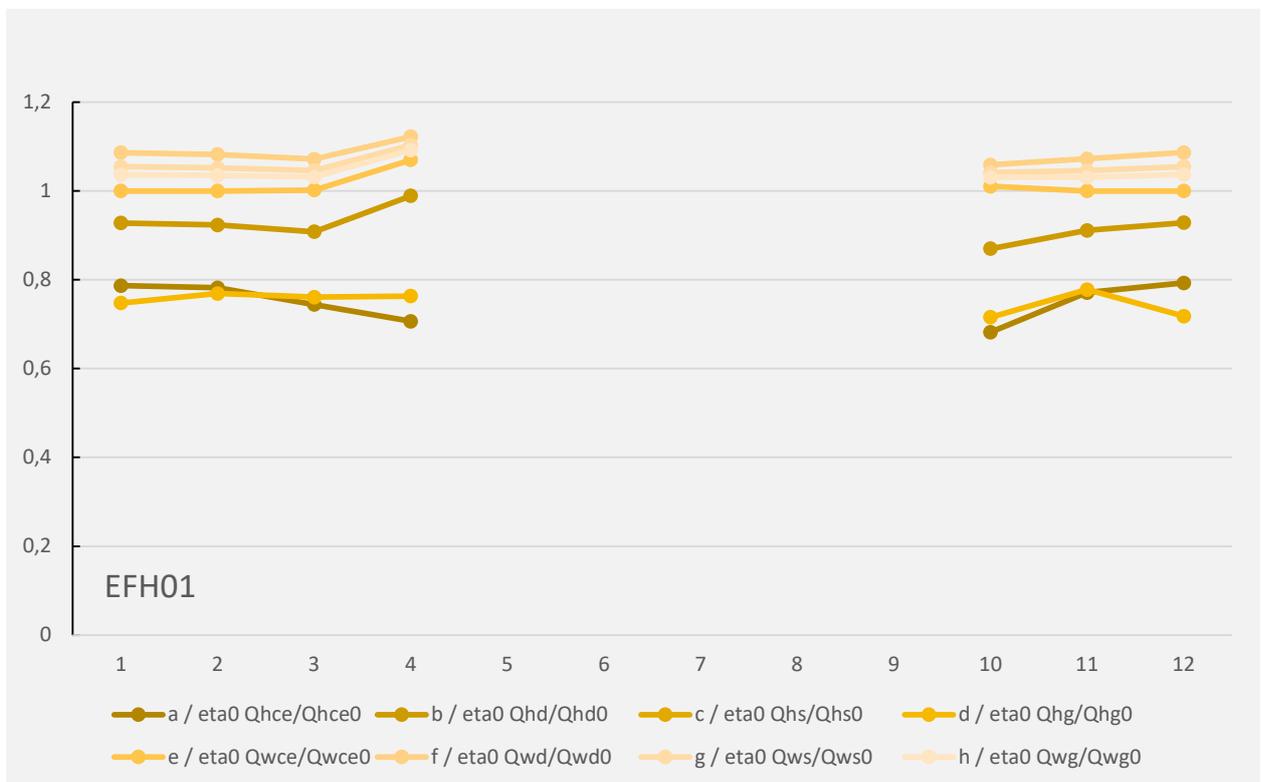


Abbildung 31: Quantifizierung Koeffizienten a bis h für EFH01 in mittlerer energetischer Ausführung.

Werden die beispielhaften Berechnungen an einer **anderen Gebäudeausführung**/Konfiguration durchgeführt, so ergeben sich für die Koeffizienten

- bei der energetisch sehr **schlecht** ausgeführte Konfiguration EFH02 Mittelwerte, welche um 0,2 bis 0,3 niedriger liegen und
- bei der energetisch sehr **gut** ausgeführten Variante EFF03 Mittelwerte, welche für das Heizsystem 0,1 bis 0,4 höher liegen, beim Trinkwassersystem zeigt sich wenig Einfluss, bedingt durch Ähnlichkeiten in der Konfiguration.

Für die **Übertragbarkeit** des Ansatzes auf (ausreichend) beliebige **andere System-Konfigurationen** ist - wie unter für Ansatz 1 - ein formelmäßige Näherung für die Quantifizierung der Koeffizienten zu finden/zu entwickeln. Im Anwendungsfall (d.h. der Durchführung einer Berechnung mit einem neuen Ansatz zur Kompensation der Iteration) sind die o.g. Werte für die Verlustanteile mit Iteration nicht bzw. im Berechnungsablauf erst später bekannt. Die Herleitung dieser Quantifizierung kann auf analytischem oder empirischem Weg erfolgen.

Wie im nachfolgend beschrieben Ansatz 3, d.h. der Kompensation über Belastungsgrade, können die Ansätze 1 und 2 dahingehend vereinfacht werden, dass die Berechnung der von der mittleren **Belastung** des Heizsystems β_h **unabhängigen** Anlagenkomponenten, v.a. das Trinkwarmwassersystem, **vorgezogen** werden, und damit aus dem Näherungsverfahren und dessen Entwicklung herausgenommen werden können. Dies ist im Verfahren der DIN V 18599 bereits für die Bewertung der künstlichen Beleuchtung nach Teil 4 vorgesehen, welche im Berechnungsablauf vor dem Gebäude (Teil 2) verortet ist, womit es möglich ist, für Nichtwohngebäude die so bestimmten Wärmequellen verrechnen zu können.

5.1.5.3 Ansatz 3: Kompensation über Belastungsgrade

Dieser Ansatz wurde initiiert von Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow (Hochschule Magdeburg-Stendal und DELTA-Q, Ingenieurbüro für Energieberatung, Braunschweig).

Ausgangspunkt dieser Überlegungen ist die Berücksichtigung der **Belastung** β . Dazu eine kurze Zusammenfassung der **Hintergründe** zur Berechnung der Belastungsgrade in Teil 2 und 5 der DIN V 18599.

In **Teil 2** der DIN V 18599 erfolgt die Berechnung der monatlichen Belastung (dort **Auslastung** genannt) im Rahmen der Bestimmung der monatlichen Heizzeit t_h in Anhang D, d.h.

Hierbei ist $\beta_{h,i}$:

$$(D.3) \quad \beta_{h,\text{nutz}} = \frac{Q_{h,b,\text{nutz}}}{\Phi_{h,\text{max, res}} 24h} \quad \text{bzw.} \quad \beta_{h,\text{we}} = \frac{Q_{h,b,\text{we}}}{\Phi_{h,\text{max, res}} 24h}$$

Dabei wird - getrennt für die Randbedingungen während normaler Nutzung (Index nutz) und außerhalb der Nutzung (we) - der bilanzierte Wärmebedarf durch die maximale Heizlast der Gebäudezone geteilt (berechnet nach Anhang B), wobei eine Anpassung der Einheiten erfolgt (Umrechnung Tages-/Stundenwert).

Die Berechnung der **mittleren Belastung** in **Teil 5** der DIN V 18599 (Gleichungen 8 bis 11) erfolgt mehrmals für die einzelnen Prozessbereiche, d.h. es erfolgt eine schrittweise Anpassung der System-Belastung. Die Berechnung erfolgt monatlich für den Mittelwert aus Nutzungs- und Nichtnutzungstagen.

Auch hier wird der (an der jeweiligen Stelle des Prozesses) auftretende **Bedarf** durch die zur Verfügung stehende Leistung geteilt, d.h.

- für die Übergabe (ce) der Nutzwärmebedarf $Q_{h,b}$,

- für die Verteilung (d) zusätzlich der Verlustanteil der Übergabe $Q_{h,ce}$ und Berücksichtigung des hydraulischen Abgleichs f_{hydr} ,
- für die Speicherung (s) zusätzlich der Verlustanteil Verteilung $Q_{h,d}$ und
- für die Erzeugung (g, gen) zusätzlich der Verlustanteil Speicherung $Q_{h,s}$.

Die maximale **Gebäudeheizlast** $\Phi_{h,max}$ ist der gleiche Wert, welcher in Teil 2 verwendet ist, wird aber mit der ebenfalls in Teil 2 berechneten Heizzeit t_h multipliziert.

Der Faktor für den hydraulischen Abgleich f_{hydr} liegt je nach Systemtyp bei 1,06 (zentrale Systeme ohne hydraulischen Abgleich) bis 1,0 (zentrale Systeme kompakt und geregelt oder dezentrale Systeme).

$$\beta_{h,ce} = \frac{Q_{h,b}}{\Phi_{h,max} \cdot t_h} \tag{11}$$

$$\beta_{h,d} = \frac{Q_{h,b} + Q_{h,ce}}{\Phi_{h,max} \cdot t_h} \cdot f_{hydr} \tag{12}$$

$$\beta_{h,s} = \frac{(Q_{h,b} + Q_{h,ce}) \cdot f_{hydr} + Q_{h,d}}{\Phi_{h,max} \cdot t_h} \tag{13}$$

$$\beta_{h,gen} = \frac{(Q_{h,b} + Q_{h,ce}) \cdot f_{hydr} + Q_{h,d} + Q_{h,s}}{\Phi_{h,max} \cdot t_h} \tag{14}$$

Die berechneten Belastungsgrade haben wesentlichen Einfluss auf die Bestimmung der Systemtemperaturen selbständig temperaturgesteuerter Heizkreise nach Abschnitt 5.3 der DIN V 18599-5. Darüber hinaus wird mit der mittleren Belastung der Erzeugung die Berechnung von multivalenten Wärmeerzeugern gesteuert.

Für diesen Ansatz zur Kompensation der Iteration gibt es zwei mögliche Vorgehensweisen - Variante A und B - für welche in Tabelle 15 die einzelnen Berechnungsschritte aufgeführt sind. Mit der Verwendung der Indizes 0 und 1 ist kenntlich gemacht, ob bei dem jeweiligen Berechnungsschritt die Wärmeeinträge des Heizungssystem (und damit die β -abhängigen Gewinne) nicht bekannt (0) oder verrechnet sind (1).

Tabelle 15: Berechnungsschritte für beide Berechnungsansätze (A, B) mit Angabe der Berechnungs-Quelle, d.h. DIN V 18599-2 oder -5

Nr.	Berechnungsschritt	-2	-5	Variante A	Variante B
1	TGA Verluste, Gewinne (β -unabhängig)		x	z.B. $Q_{I,w}$	dto.
2	Ausnutzungsgrad Gewinne η	x		η_0	dto.
3	Nutzwärmebedarf (Startwert)	x		$Q_{h,b,0}$	dto.
4	Näherung Belastung $\beta_0 =$ Schätzfunktion		x	β_0 z.B. $=f(\beta_{h,ce})$	dto.
5	Schätzung Belastung Prozessbereiche			$\beta_{h,ce,0} = \beta_{h,d,0} = \beta_{h,s,0} = \beta_{h,gen,0} = \beta_0$	dto.
6	Heizung Verluste (β -abhängig)		x	$Q_{I,h,ce,0}$ bis $Q_{I,h,g,0}$	dto.
7	2. Berechnung Ausnutzungsgrad Gewinne η	x		η_1	dto.
8	2. Berechnung Nutzwärmebedarf	x		$Q_{h,b,1}$	dto.
9	2. Berechnung Belastung Prozessbereiche		x	$\beta_{h,ce,1}$ bis $\beta_{h,gen,1}$	entfällt
10	2. Berechnung Heizung Verluste (β -abhängig)		x	$Q_{h,ce,1}$ bis $Q_{h,g,1}$	entfällt
11	weitere Berechnungen nach -1			$Q_{h,outg}$ bis $Q_{h,p}$	dto.

Zu den einzelnen Berechnungsschritten und den Varianten A und B können folgende Überlegungen angestellt werden, aus welchen weitere Forschungsfragen abgeleitet werden können, d.h.

- zu Variante A:
 - die Gewinne (Nr. 6) sind mit einer anderen Belastung β_0 bestimmt als die Verluste der Heizung (Nr. 10)
 - β_0 ist beim Schätzen ohne Heiznetzgewinne zunächst größer als der korrekte Wert β_{it} nach einer Iteration (die Heizkörper müssen weniger Wärme abgeben, wenn es ein Netz als interne Wärmequelle gibt).
 - Schätzt man β_0 zu hoch beim Bestimmen der Gewinne und rechnet später das kleinere β_1 inkl. der Gewinne aus, könnten die vorher bestimmten Gewinne die Verluste übersteigen. Ab dem Prozessschritt Speicherung ist kaum noch ein Fehler feststellbar, weil das Netz gleichzeitig Gewinn und Verlust ist.
Forschungsfrage: In welchen Konstellationen tritt das auf und in welcher Größenordnung liegt der Fehler?
- zu Variante B:
 - Die Gewinne sind mit derselben Belastung (β_0) bestimmt wie die Verluste der Heizung, die jedoch zu hoch ist (verglichen mit dem korrekten Wert (β_{it}) nach einer konvergierenden Iteration).
Forschungsfrage: Wie groß ist die Abweichung und wie hoch sind die Auswirkungen auf die Bilanz (v.a. in Konstellationen, die heute zu einer divergierenden Iteration führen)?
- zu Nr. Schritt 4 und 5:
 - Forschungsfrage: Soll das gleiche β_0 für alle Prozessschritte d, s, und g gleichermaßen verwendet werden oder soll analog dem Hauptverfahren β_0 nur der Startwert sein und der Wert dann in jedem Prozessschritt (nach oben) korrigiert werden?
 - Forschungsfrage: Soll nur für die Bewertung der Verteilung der erste Schritt (Übergabe) in dieser Näherung übersprungen werden?
 - Forschungsfrage: Braucht man eine zusätzliche β_0 -Korrektur bei Einrohrheizung oder funktioniert das Verfahren auch ohne diese stabil?
 - Forschungsfrage: Braucht man eine zusätzliche β_0 -Korrektur, wenn absehbar anteilig hohe Verteilnetzgewinne vorliegen werden (z.B. anhängig von H_T+H_V der Hülle zu $U \cdot L$ der Netze)?

In diesem Ansatz ist für beide Varianten die Entwicklung einer **Schätzfunktion** notwendig (im einfachsten Falle eine Faktorisierung des $\beta_{n,ce}$ aus der Berechnung), welche es erlaubt, die Belastung β_0 ohne Kenntnis der Anlagentechnik(-berechnung) zu quantifizieren, d.h. der belastungsabhängigen Anteile der internen Wärmequellen aus dem Heizungssystem.

Bei Variante A ist der **Wegfall der Iteration** nicht vollständig gegeben, da die Iterationsschleife nur begrenzt wurde auf eine zweistufige Berechnung, also der einfachsten Form einer Schleife, die aber weiterhin einer Iteration ist und daher nicht kompensiert wurde.

5.2 Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste

5.2.1 Erstellung eines Textentwurfs für DIN V 18599-2

Zur Vereinfachung der Ermittlung der Lüftungswärmeverluste ist ein Textentwurf für einen Abschnitt in Teil 2 der DIN V 18599 erarbeitet worden, siehe Anhang A. Dieser Entwurf beinhaltet dabei folgende Vereinfachungen:

- Getrennte Beschreibung des Berechnungsverfahrens zur Bestimmung des Luftwechsels ohne mechanische Lüftungsanlage und zur Bestimmung des Luftwechsels mit mechanischer Lüftungsanlage;
- Ermittlung eines Gesamt-Anlagenluftwechsels für Wärmequellen und Wärmesenken und daraus ein Gesamt-Wärmetransferkoeffizient für Lüftungswärmequellen und für Lüftungswärmesenken, der dann für die Ermittlung der Lüftungswärmequellen und -senken verwendet wird;

- Integration des Abschnitts 5 „Nutzwärmebedarf“ aus DIN V 18599-6, eine Schnittstelle von Teil 2 zu Teil 6 kann entfallen, siehe Tabelle 16;
- Vereinfachung der Ermittlung der Lüftungswärmeverluste durch redaktionelle Überarbeitung (Begriffsdefinition, alle Gleichungen mit Gleichungsnummern, ...);
- Verdeutlichung des Berechnungsverfahrens zur Bestimmung des Luftwechsels anhand von Ablaufplänen (Luftwechsel ohne/mit mechanische/mechanischer Lüftungsanlage sowie Teillüftung) und Systembildern (am Beispiel einer Zu-/Abluftanlage), siehe Anhang A bzw. siehe Abbildung 32 bis Abbildung 34.

Tabelle 16: Vergleich des Seitenumfangs zur Berechnung der Lüftungswärmeverluste für Wohngebäude nach DIN V 18599

	DIN V 18599-2:2018	DIN V 18599-6:2018	DIN V 18599-2:202X
Seitenanzahl (ca.)	12	12	19

Die aufgezählten Vereinfachungen resultieren in einem Entwurf, der sich auf 19 Seiten darstellen lässt. Durch die Integration des Abschnitts 5 „Nutzwärmebedarf“ aus DIN V 18599-6 lässt sich die Seitenanzahl um 5 Seiten (12 Seiten Teil 2 zu Wohngebäude + 12 Seiten Teil 6) reduzieren, siehe Tabelle 16. Anzumerken ist, dass die Begriffe, Symbole, Einheiten und Indizes in Teil 2 und Teil 6 entsprechend der Integration angepasst werden müssen.

Der erarbeitete Algorithmus zur Bestimmung des Luftwechsels in Wohngebäuden zeichnet sich vor allem durch eine klarere Struktur aus, die zu einer verbesserten Handhabbarkeit und Anwendbarkeit bei der gebäudetechnischen Planung und bei der Entwicklung von Softwarelösungen beitragen soll. Die in Abbildung 32 bis Abbildung 34 dargestellten Ablaufpläne sollen zusätzlich als Hilfestellung dienen.

Der im Anhang A enthaltene Textentwurf mit dem darin beschriebenen Algorithmus zur Bestimmung des Luftwechsels bei Wohngebäuden kann zukünftig grundsätzlich nach Anpassungen bzw. Erweiterungen (z.B. Luftwechsel zwischen Nutzungszonen) auch zur Bestimmung des Luftwechsels bei Nichtwohngebäuden angewendet werden. Die Beschreibung für die Anwendung in Nichtwohngebäuden ist nicht Bestandteil dieses Forschungsprojektes.

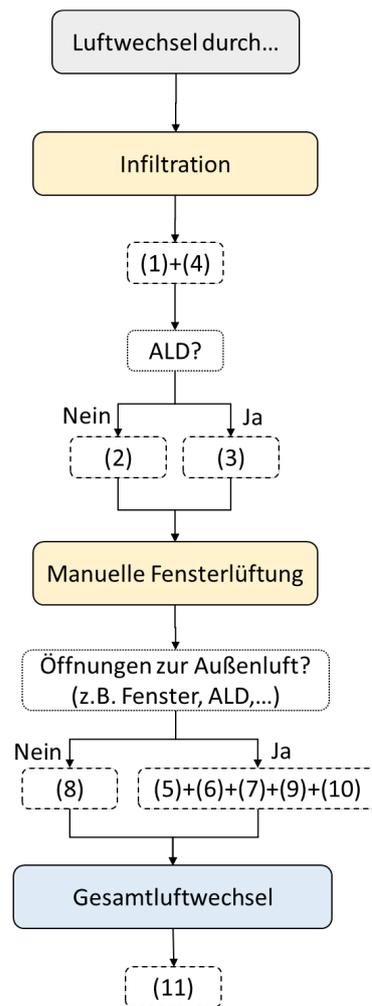


Abbildung 32: Ablaufplan zur Berechnung des Luftwechsels ohne mechanische Lüftung

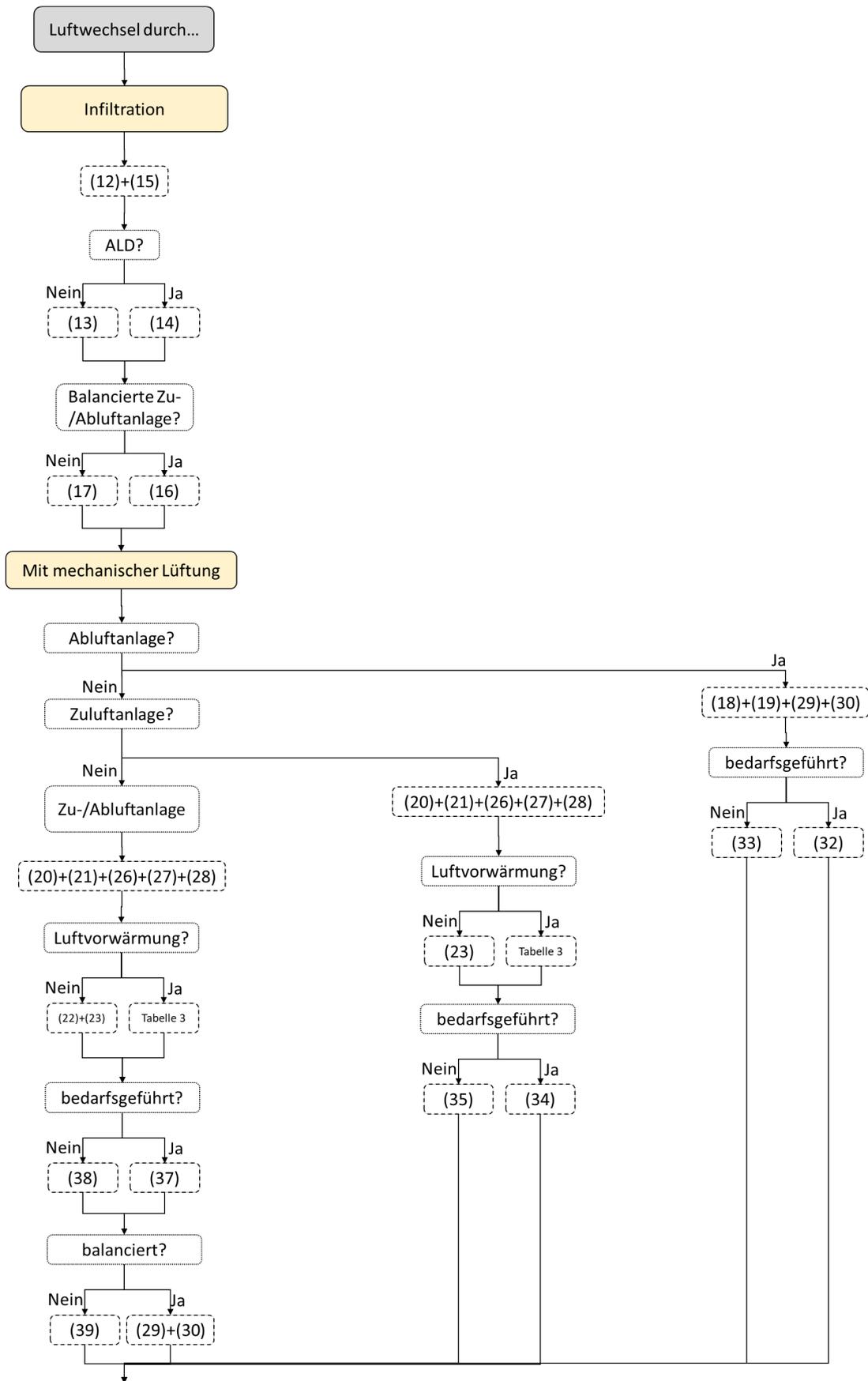


Abbildung 33: Ablaufplan zur Berechnung des Luftwechsels mit mechanischer Lüftung (1/2)

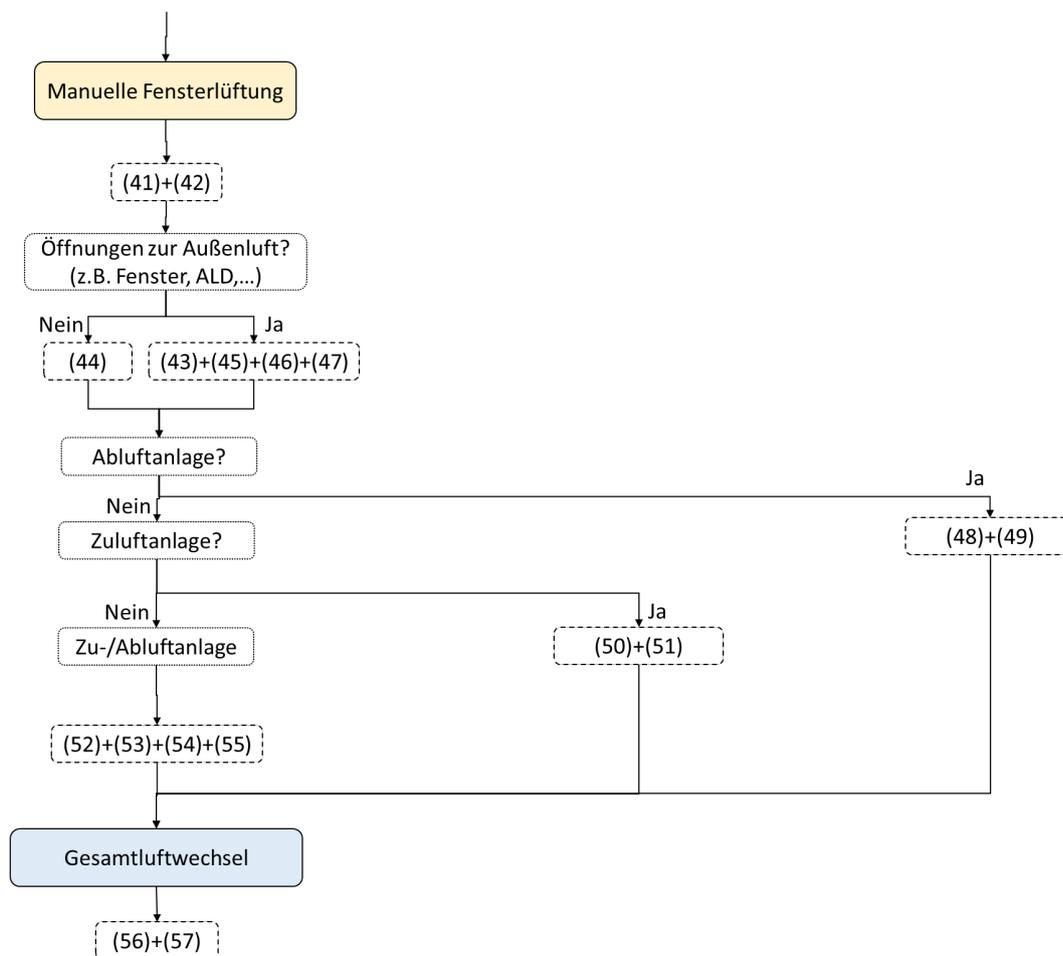


Abbildung 34: Ablaufplan zur Berechnung des Luftwechsels mit mechanischer Lüftung (2/2)

5.2.2 Berechnungen zur Vereinfachung der Ermittlung der Lüftungswärmeverluste

Im Folgenden werden die Ergebnisse für ein Einfamilienhaus und ein Mehrfamilienhaus mit unterschiedlichen Lüftungsanlagen dargestellt. Als Referenz dienen die im Fachbericht „Erarbeitung einer Software-Lösung für die Anwendung der DIN V 18599 für den Wohnungsbau für Zwecke der Vergleichsrechnung für Förderfälle“ [10] betrachteten Gebäude und Lüftungsanlagenkonstellationen. Tabelle 17 und Tabelle 18 fassen dabei die wesentlichen Randbedingungen zu den betrachteten Gebäuden sowie den Lüftungsanlagenkonstellationen zusammen. Die Bilanz-Innentemperatur ist als Input-Größe aus dem Fachbericht der 18599 Gütegemeinschaft e.V. für die Berechnung der Lüftungswärmesenken und -quellen verwendet worden.

Die Ergebnisse zu den monatlichen Lüftungswärmesenken und -quellen sind in Tabelle 19 und Tabelle 20 zusammengefasst. Es werden gegenübergestellt jeweils die Berechnungsergebnisse aus dem Fachbericht und die Berechnungsergebnisse anhand des ausgearbeiteten Algorithmus, siehe Anhang A. In den Einzelgrafiken (Abbildung 35 bis Abbildung 46) ist außerdem die prozentuale Abweichung bezüglich der Berechnungsergebnisse aus dem Fachbericht ausgewiesen. Auf die Darstellung der Lüftungswärmequellen bei der freien Lüftung sowie den Varianten mit Abluftanlage wurde jeweils verzichtet, da diese in allen Monaten einen Wert von 0 kWh annehmen (Zulufttemperatur < Bilanz-Innentemperatur).

Tabelle 17: Allgemeine Randbedingungen zu den betrachteten Gebäuden

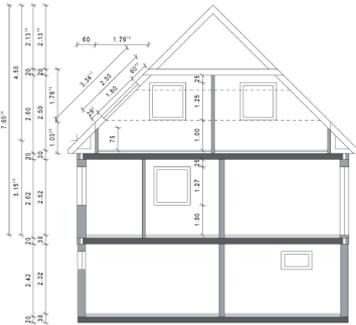
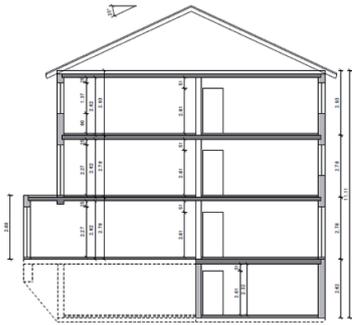
	Einfamilienhaus	Mehrfamilienhaus
Grafik	 <p>Quelle: [10][10] T. Schoch und J. Trapp, „Erarbeitung einer Software-Lösung für die Anwendung der DIN V 18599 für den Wohnungsbau für Zwecke der Vergleichsrechnung für Förderfälle“ 18599 Gütegemeinschaft e.V., 2014</p>	 <p>Quelle: [10]</p>
Netto Volumen in m ³ :	349,26	1318,51
Nettogrundfläche in m ²	150,85	524,20

Tabelle 18: Randbedingungen zu den betrachteten Lüftungsanlagenkonstellationen

Gebäudetyp	Variante	Lüftungsanlagentyp	n_{nutz} in h ⁻¹	$n_{\text{exch, mth}}$	θ_{ex} in °C	n_{50} in h ⁻¹	$t_{\text{v, mech}}$ in h	n_{mech} in h ⁻¹	n_{ZUL} in h ⁻¹	n_{ETA} in h ⁻¹	Außenluftdurchlässe?
EFH	1	Freie Lüftung	0,50	-	-	2,00	-	-	-	-	Ohne
	2	Abluftanlage (nicht bedarfsgeführt)	0,50	-	-	1,00	24	0,00	0,00	0,40	Mit
	3	Abluftanlage (bedarfsgeführt)	0,45	-	-	1,00	24	0,00	0,00	0,35	Mit
	4	Abluftanlage DIBt Staffel 19	0,55	-	-	1,00	24	0,00	0,00	0,35	Mit
	5	Zu-/Abluftanlage mit WRG	0,50	0,60	21	1,00	24	0,40	0,40	0,40	Ohne
MFH	6	Freie Lüftung	0,50	-	-	2,00	-	-	-	-	Ohne
	7	Abluftanlage (nicht bedarfsgeführt)	0,50	-	-	1,00	24	0,00	0,00	0,40	Mit

	8	Abluftanlage (bedarfsgeführt)	0,45	-	-	1,00	24	0,00	0,00	0,35	Mit
	9	Abluftanlage DIBt Staffel 19	0,55	-	-	1,00	24	0,00	0,00	0,35	Mit
	10	Zu-/Abluftanlage mit WRG	0,50	0,60	21	1,00	24	0,40	0,40	0,40	Ohne

Tabelle 19: Berechnungsergebnisse für EFH

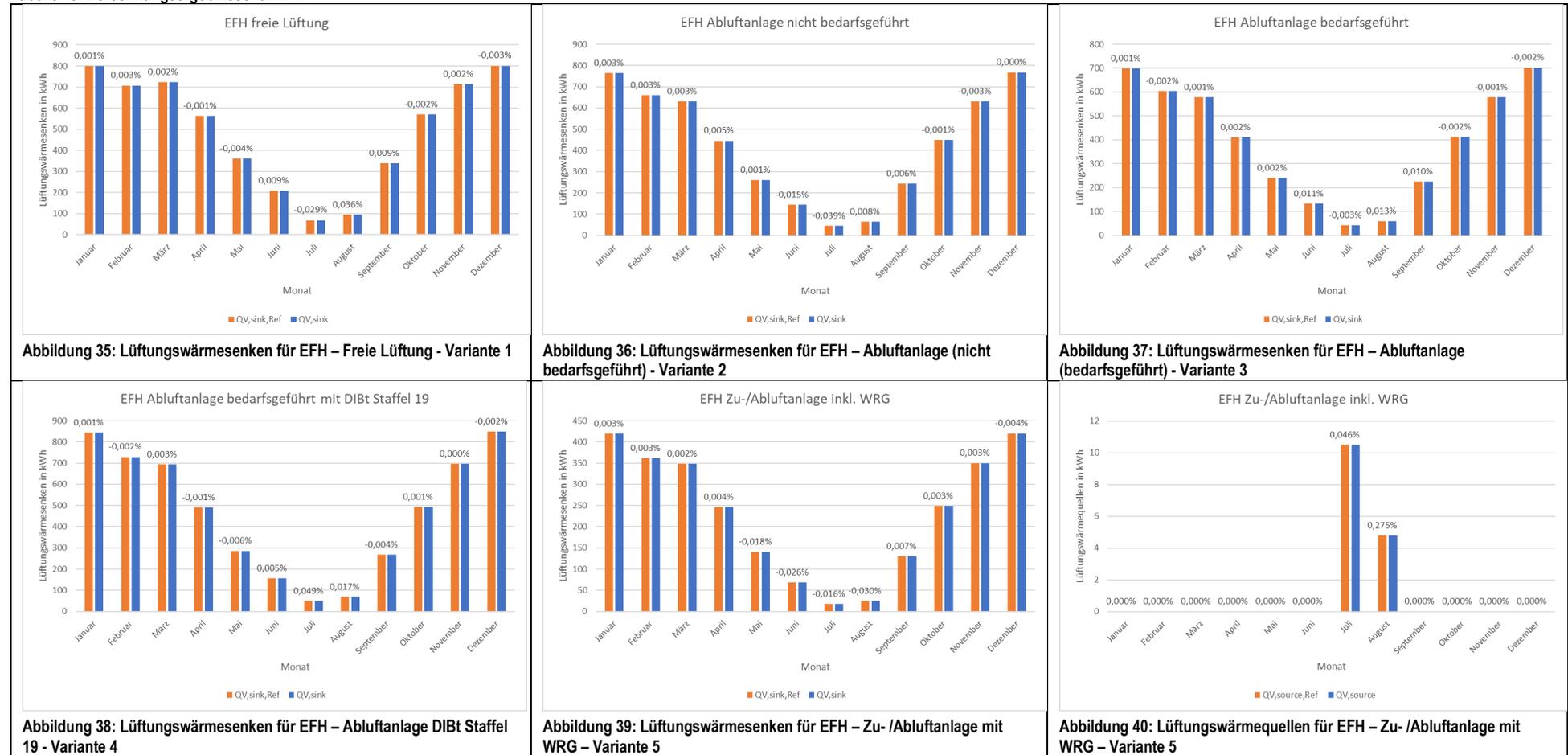
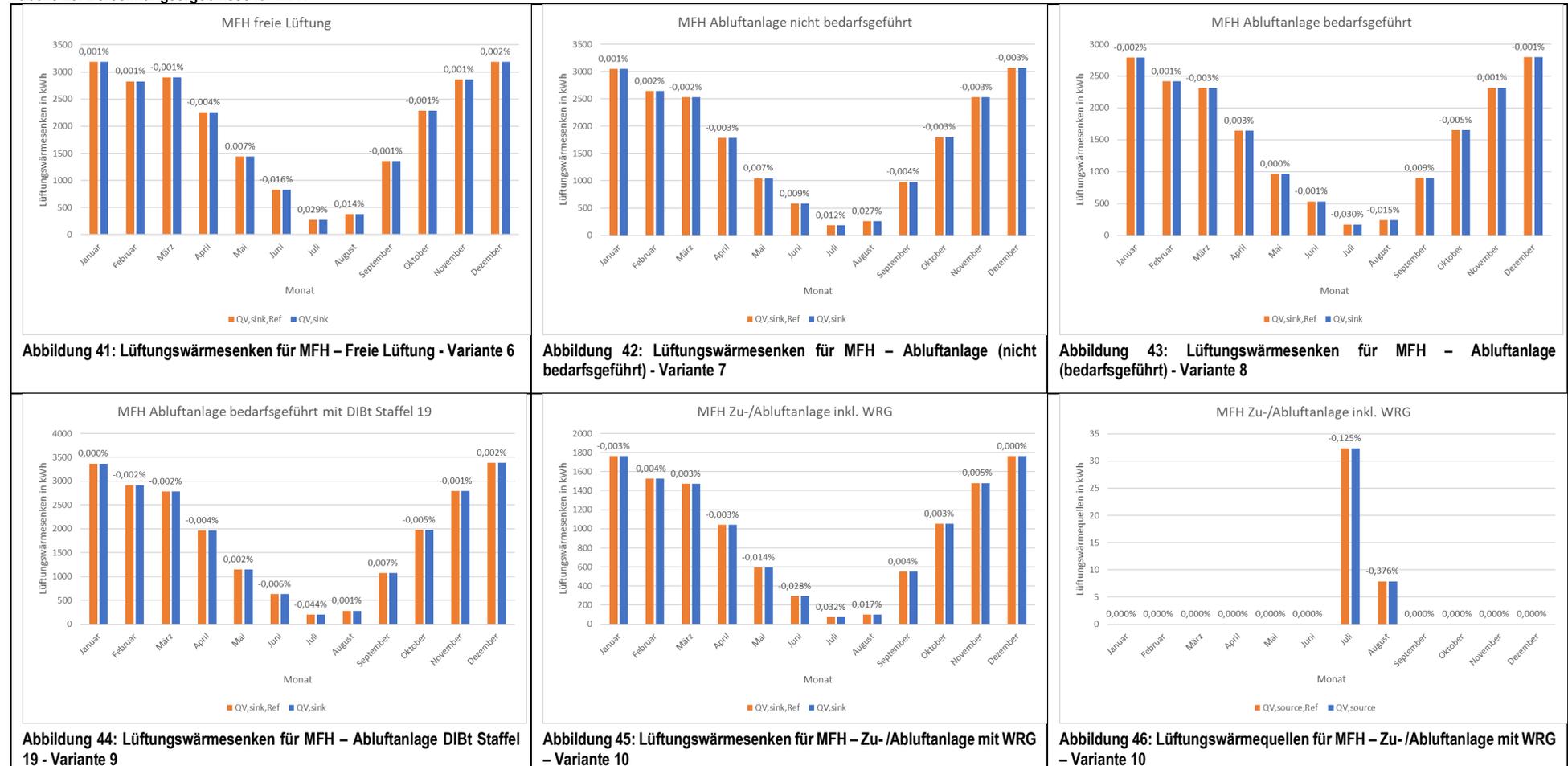


Tabelle 20: Berechnungsergebnisse für MFH



Die größten absoluten Abweichungen für Lüftungswärmesenken liegen bei 0,049% für das EFH (Variante 4 - Abluftanlage DIBt Staffel 19 – im Monat Juli) und bei 0,044% für das MFH (Variante 9 - Abluftanlage DIBt Staffel 19 – im Monat Juli). Für Lüftungswärmesenken liegen die größten absoluten Abweichungen bei 0,275% für das EFH (Variante 5 - Zu- /Abluftanlage mit WRG – im Monat August) und bei 0,376% für das MFH (Variante 10 - Zu- /Abluftanlage mit WRG – im Monat August).

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass durch den ausgearbeiteten Berechnungsalgorithmus aus Anhang A, der sich zwar durch eine klarere Struktur auszeichnet, die wiederum zu einer verbesserten Handhabbarkeit und Anwendbarkeit bei der gebäudetechnischen Planung führt, jedoch zu keinen großen Abweichungen (<0,5% Abweichung) der Berechnungsergebnissen führt.

Anmerkung: Im Fachbericht ist mit gerundeten Werten für die Zulufttemperatur aus Teil 6 gerechnet worden, statt über die angegebenen Formeln die Zulufttemperatur mathematisch genau zu berechnen. Für die vergleichende Berechnung wurden ebenfalls gerundete Werte zu Grunde gelegt, damit eine Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der Berechnungen des Fachberichts möglich ist.

- Für Varianten, die aus Sicht der Autoren typischerweise im Wohngebäude ebenfalls vorzufinden sind, die aber im Fachbericht des 18599 Gütegemeinschaft e.V. nicht betrachtet werden, sind Plausibilitätsprüfungen durchgeführt worden, die keinerlei unplausible Resultate ergeben haben, siehe

Tabelle 21 mit Abbildung 47 bis Abbildung 50. Folgende Varianten wurden für die Plausibilitätsprüfung berücksichtigt:

- Zuluftanlage (mit Kombinationen aus: bedarfsgeführt/nicht bedarfsgeführt, mit/ohne Luftvorwärmung)
- Balancierte Zu-/Abluftanlage (mit Kombinationen aus $\eta_{WRG} = 0,6/0,8$; mit/ohne Luftvorwärmung)
- Unbalancierte Zu- /Abluftanlage (mit Kombinationen aus $n_{SUP} = 0,4/0,5/0,6h^{-1}$; $n_{ETA} = 0,4/0,5/0,6h^{-1}$)
- Unbalancierte Zu-/Abluftanlage (mit Kombinationen aus $\eta_{WRG} = 0,6/0,8$; mit/ohne Luftvorwärmung)

Tabelle 21: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Plausibilitätsprüfung

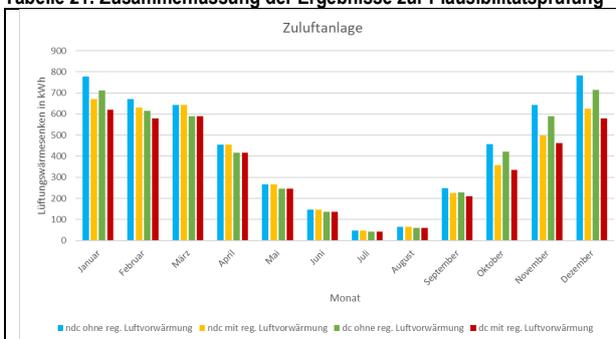


Abbildung 47: Lüftungswärmeverluste für EFH – Zuluftanlage (ndc – nicht bedarfsgeführt, dc – bedarfsgeführt, mit/ohne regenerativer Luftvorwärmung)

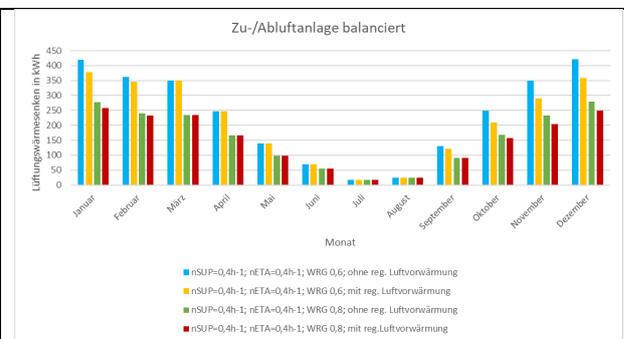


Abbildung 48: Lüftungswärmeverluste für EFH – balancierte Zu-/Abluftanlage ($n_{SUP} =$ Zuluftluftwechsel, $n_{ETA} =$ Abluftluftwechsel, WRG – Wärmerückgewinnung 0,6/0,8, mit/ohne regenerativer Luftvorwärmung)

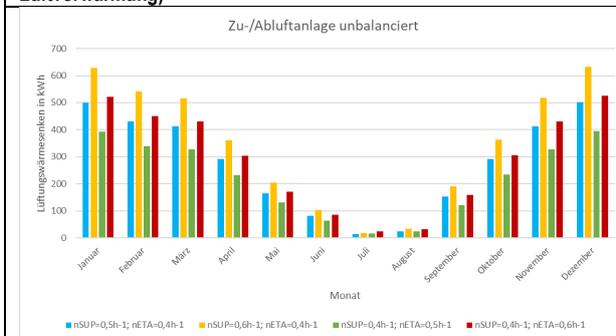


Abbildung 49: Lüftungswärmeverluste für EFH – unbalancierte Zu-/Abluftanlage ($n_{SUP} =$ Zuluftluftwechsel, $n_{ETA} =$ Abluftluftwechsel, WRG – Wärmerückgewinnung 0,6, ohne regenerativer Luftvorwärmung)

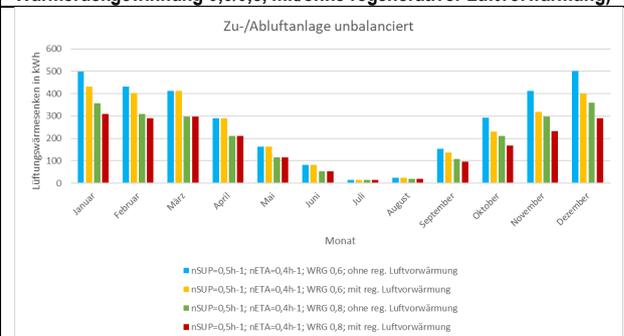


Abbildung 50: Lüftungswärmeverluste für EFH – unbalancierte Zu-/Abluftanlage ($n_{SUP} =$ Zuluftluftwechsel, $n_{ETA} =$ Abluftluftwechsel, WRG – Wärmerückgewinnung 0,6/0,8, mit/ohne regenerativer Luftvorwärmung)

5.3 Bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen

5.3.1 Einführende Bemerkungen

Zur Vereinfachung der Anwendbarkeit des Bewertungsverfahrens für elektrische Wärmepumpen werden Vorschläge für aktuell fehlende Standardwerte, Zuordnungs- und Berechnungsregeln in dem im Teil 5 und 8 der DIN V 18599 beschriebenen Bewertungsverfahren erarbeitet. Dabei werden folgende Parameter betrachtet:

- Nennwärmeleistung/Auslegungsleistung
- Leistungszahlen drehzahl geregelter Wärmepumpe
- Temperatur Speicherbeladung
- Obere Temperaturgrenze (Trinkwarmwasser) für den Betrieb der Wärmepumpe
- Volumenstrom und darauf basierend Leistung des Primärkreises
- Volumenstrom und darauf basierend Leistung des Sekundärkreises
- EVU-Abschaltzeiten

5.3.2 Nennleistung/Auslegungsleistung

Berechnungen im Rahmen der DIN V 18599 zielen immer auf energetische Kennwerte ab, nicht auf Leistungen. Trotzdem werden Leistungsdaten für einzelne Komponenten benötigt, da sie einen gewissen Einfluss auf energetische Kennwerte haben können. Beim Wärmeerzeuger kann die Leistung Auswirkungen auf die Verluste haben. So weist beispielsweise ein leistungsstärkerer Heizkessel i.d.R. eine größere Oberfläche auf und damit bei gleicher Kesseltemperatur größere Wärmeverluste als ein Kessel mit geringerer Leistung. Bei bi- oder multivalenten Systemen beeinflusst die Leistung des Grundlasterzeugers den Deckungsanteil, daraus können sehr maßgebliche Auswirkungen auf die Energieeffizienz der Anlagentechnik und des Gesamtgebäudes folgen.

In Bestandsgebäuden kann die Leistung der relevanten Anlagenkomponenten meist mit vertretbarem Aufwand durch eine Ortsbegehung ermittelt werden. Im Neubau ist dies nicht möglich, es müssen daher rechnerisch ermittelte Kennwerte verwendet werden. Wenn Planungsunterlagen vorhanden sind, dann kann die Leistung aus diesen entnommen werden. Im Stadium einer vorläufigen energetischen Berechnung, z.B. zur Bauantragstellung, sind derartige Planungsunterlagen jedoch üblicherweise nicht verfügbar. Es müssen daher Standardwerte in der Norm bereitgestellt werden, die mit geringem Aufwand aus in der Energiebedarfsberechnung vorhandenen Daten abgeleitet werden und ein hinreichend genaues Berechnen der Energiekennwerte erlauben.

Für die bisher immer noch mit weitem Abstand dominierenden Gas- und Ölkessel ist die Situation vergleichsweise simpel. Es handelt sich i.d.R. um monovalente Systeme mit einer gewissen Leistungsreserve gegenüber der Heizlast.

DIN V 18599-5:20178-09 definiert die Leistung des Erzeugers für diesen Fall wie folgt:

5.4 Nennleistung des Erzeugers

5.4.1 Allgemeines

Bei bestehenden Gebäuden wird die Nennleistung der vorhandenen Wärmeerzeugeranlage eingesetzt, bei zu errichtenden Gebäuden der Planungswert.

Wenn diese nicht bekannt sind, ergibt sich die Nennleistung P_n der Wärmeerzeugeranlage wie folgt:

Zunächst sind die erforderlichen maximalen Leistungen aller angeschlossenen Verbraucher zu bestimmen. Die maximal erforderliche Heizleistung der Wärmeerzeuger eines Gebäudes/einer Gebäudezone für Heizung, zentrale Trinkwassererwärmung, Wohnungslüftung, RLT und ggf. weitere Verbraucher ergibt sich aus der Summe aller

Leistungen, die parallel angefordert werden ($\sum P_{n,\text{gleichzeitig}}$) bzw. aus der größten Leistung im Vorrangbetrieb (P_{Vorrang}) unter Berücksichtigung eines Zuschlagsfaktors f_Z

$$P_n = f_Z \cdot \max \left(\sum P_{n,\text{gleichzeitig}}, P_{\text{Vorrang}} \right) \quad (22)$$

Der Zuschlagsfaktor beträgt

bei zu errichtenden Anlagen $f_Z = 1,1$
 bei bestehenden Anlagen $f_Z = 1,5$

Der Wert P_n für die Heizwärmeerzeugung ist nach Gleichung (23) zu ermitteln

$$P_n = \Phi_{h,\text{max}} \quad (23)$$

Dabei ist

$\Phi_{h,\text{max}}$ die maximale Gebäudeheizlast (siehe 4.2), in kW.

Es wird also von einer Überdimensionierung der Kesselleistung um 10% gegenüber der Heizlast im Neubaufall (zu errichtende Anlagen) ausgegangen. Bei Bestandsanlagen beträgt der Zuschlag 50%. Die Heizlast wird mit ausreichender Genauigkeit im Anhang B der DIN V 18599-2 zonenweise ermittelt.

Die in Gleichung (22) der Norm genannte Leistung für eine Vorrangschaltung gibt es bei Wohngebäuden nur dann, wenn die Trinkwassererwärmung im Vorrangbetrieb erfolgt, was nur bei kleinen Anlagen etwa im EFH/ZFH-Bereich üblich ist. Trotzdem wird eine derartige Abschätzung bei Kesselanlagen auch für EFH/ZFH nicht vorgenommen.

Bei Wärmeerzeugern, die sowohl Warmwasser als auch Heizung mit Wärme versorgen, müsste bei einer exakten Vorgehensweise ein Zuschlag für die Trinkwassererwärmung auf die Heizleistung erfolgen. Eine normative Vorgabe, wie dieser Zuschlag für die Trinkwassererwärmung zu bestimmen ist, ist nicht vorhanden. Bei Berechnungen mit kommerzieller Software wird ein solcher Zuschlag daher vermutlich i.d.R. nicht vorgenommen. Für die Genauigkeit der Berechnungen hat dies jedoch keinerlei spürbare Auswirkungen. Zum einen sorgt der ohnehin vorhandene „allgemeine“ Zuschlagsfaktor von 10% bzw. 50% (Neubau, Bestand) für eine gewisse Überdimensionierung. Zum anderen erfolgen die Berechnungen im Teil 5 der Norm für einen mittleren Tag im Monat. Der für das Standardklima (Region 4, Referenzort Potsdam) kälteste Monat ist der Dezember mit einer mittleren Außenlufttemperatur von 0,9°C. Gegenüber der zur Ermittlung der Heizlast heranzuziehenden Außentemperatur am Auslegungstag von -12°C ergeben sich hinreichende Reserven.

Da der Wirkungsgrad bzw. der Energieverlust eines Heizkessels nur in relativ geringem Umfang von der Auslastung im Betrieb abhängen und die Kesselleistung selbst nicht von sonstigen variierenden Umweltparametern beeinflusst wird, ist der im Abschnitt 5.4 der DIN V 18599-5 vorgegebene Ansatz zur Bestimmung der Nennleistung für einen Kessel sehr gut geeignet.

Bei Wärmepumpen, und insbesondere Luft-Wasser-Wärmepumpen, stellt sich die Situation jedoch grundlegend anders dar. Dafür sind folgende Ursachen verantwortlich:

- a) Luft-Wasser-Wärmepumpen werden häufig monoenergetisch, aber bivalent ausgelegt und betrieben. Der zweite Erzeuger ist ein elektrischer Heizstab, der in die Wärmepumpe integriert ist. Die Leistung der Wärmepumpe hat einen entscheidenden Einfluss auf den Deckungsanteil der Wärmepumpe und des Heizstabes und damit die im Verbund der beiden Erzeuger erreichte Arbeitszahl bzw. den Strombedarf.
- b) Die Leistung einer Wärmepumpe mit Wärmequelle Außenluft ist außentemperaturabhängig. Je kälter die Außenluft, desto niedriger ist die maximale Wärmeleistung des Gerätes.

- c) Die Außentemperatur hat weiterhin auch einen Einfluss auf die Leistungszahl des Gerätes im jeweiligen Betriebspunkt. Zusätzlich wirkt sich auch die Drehzahl bei drehzahlgeregelten Wärmepumpen auf die bereitstellbare Leistung und die Leistungszahl.
- d) Wärmepumpen, die mit einem Wärmepumpentarif betrieben werden, können nicht durchgängig laufen. Sperrzeiten (meist 2 x 2 h pro Tag) verringern die maximale tägliche Betriebszeit und damit die durchschnittliche Leistung des Gerätes über 24 h.
- e) Es existieren verschiedene Prüfnormen für Wärmepumpen, die unterschiedliche Randbedingungen für die Ermittlung der Leistung beinhalten.
- f) Zum Teil sind die Randbedingungen für die normative Bestimmung der Leistung nicht eindeutig festgelegt, beispielsweise bei einer Prüfung nach DIN EN 14825. Die angegebenen Kennwerte für höhere Außentemperaturen (beispielsweise +7°C) werden nicht bei maximaler Drehzahl ermittelt, sondern bei verringerter Drehzahl, da so bessere COP erreicht werden. Die zu dieser Außentemperatur angegebene Heizleistung kann daher nicht auf niedrigere Außentemperaturen umgerechnet werden.

Eine Veranschaulichung der in b) und c) beschriebenen Zusammenhänge enthält Abbildung 51. Die maximale Geräteleistung sinkt von 37 kW bei einer Außentemperatur von +15 °C auf 22 kW bei -17°C.

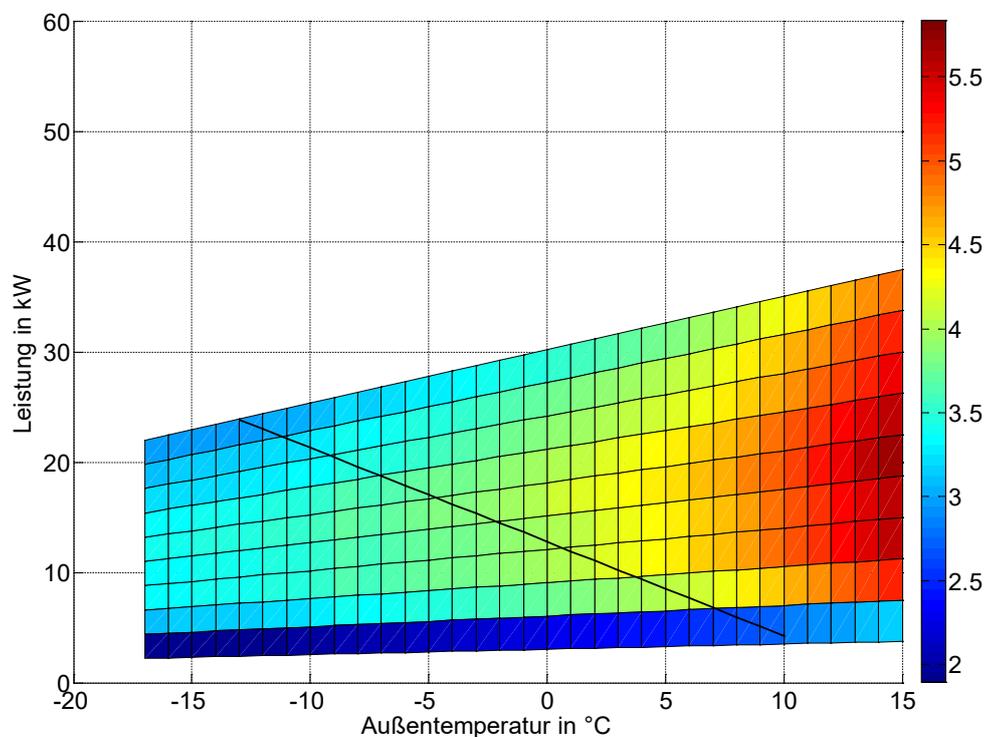


Abbildung 51: Leistung und Leistungszahl (COP) einer drehzahlgeregelten Außenluft-Wasser-Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Außentemperatur und der relativen Drehzahl, schwarze Linie: Gebäudeheizlast

Bei der Heizlastberechnung nach DIN EN 12831-1 bzw. der Heizlastabschätzung nach DIN V 18599-2 Anhang B werden die inneren und solaren Wärmeeinträge vernachlässigt. Die Heizlast beinhaltet daher eine gewisse Reserve, die Leistung einer vollständig bedarfsdeckenden Wärmepumpe könnte etwas kleiner als die normativ ermittelte Heizlast sein - eventuell auftretende Bedarfsspitzen könnten immer noch über den Heizstab gedeckt werden, anders als bei einem monovalenten Wärmeerzeuger. Gleichzeitig werden durch eine mögliche EVU-Abschaltung (Wärmepumpentarif) und die Trinkwassererwärmung Leistungszuschläge erforderlich. Bei der Festlegung eines Standardwertes für die Leistung der Wärmepumpen kann mit hinreichender Genauigkeit davon ausgegangen werden, dass sich die beiden Einflüsse kompensieren.

Der Prüfpunkt bei einer Außentemperatur von -7°C ist der mit der niedrigsten Außentemperatur. Es kann sicher davon ausgegangen werden, dass hier die Geräteprüfung mit voller Drehzahl und damit maximaler Leistung erfolgt. Der Wert kann daher für die Festlegung eines Standardwertes herangezogen werden.

Die normativ ermittelte Leistung wird bei einer Heizwasservorlauftemperatur von 35°C bestimmt. Eine Umrechnung dieses Standardwertes W_{35} auf die benötigte Wassertemperatur könnte durch lineare Interpolation erfolgen. Entsprechend den in den Tabelle C.1 bis C.3 des Anhangs des Teils 5 ausgewiesenen Kenndaten verringert sich die relative Heizleistung bei einer Heizungsvorlauftemperatur von 55°C um lediglich 5% gegenüber dem bei 35°C ermittelten Wert. Eine Anpassung an die Auslegungstemperatur ist daher nicht erforderlich.

Unter Berücksichtigung der genannten Überlegungen wird für die zukünftige Neufassung der DIN V 18599-5 folgender einheitlicher Standardwert für die Nennleistung von Wärmepumpen mit der Wärmequelle Außenluft vorgeschlagen:

$$\Phi_{hp,A,-7^{\circ}\text{C}/W_{35}} = \Phi_{h,max} * \frac{24}{20} \quad (15)$$

Verbal: Die Leistung der Wärmepumpe bei einer Außentemperatur von -7°C und einer Temperatur des Heizwassers von 35°C entspricht der Heizlast des Gebäudes (bzw. der Gebäudezone) bei Berücksichtigung einer EVU-Sperrzeit von $2 \times 2 \text{ h/d}$.

Eine entsprechend diesem Standardwert dimensionierte Wärmepumpe würde abhängig von den konkreten Einsatzbedingungen (Systemtemperatur, Abschaltzeiten, Warmwasserbedarf) zu einem rechnerischen Deckungsanteil von 95% bis 100% führen. Dies entspricht den Ergebnissen aktueller Feldtests.

Die erforderlichen Leistungen bei den anderen Prüfpunkten $+2^{\circ}\text{C}$ und $+7^{\circ}\text{C}$ können entsprechend der in Tabelle C.1 des Anhangs C der DIN V 18599:2018-09 angegebenen relativen Heizleistungen errechnet werden:

Tabelle C.1 — Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Vorlauftemperatur 35°C

<i>Vorlauftemperatur</i>	<i>35 °C</i>		
<i>Außentemperatur</i>	<i>-7 °C</i>	<i>2 °C</i>	<i>7 °C</i>
<i>Relative Heizleistung</i>	<i>0,69</i>	<i>0,85</i>	<i>1,0</i>
<i>Leistungszahl (COP) nach 2010 (DIN EN 14511)</i>	<i>2,8</i>	<i>3,2</i>	<i>3,8</i>
<i>Leistungszahl (COP) von 1994 bis 2009 (DIN EN 255-2)</i>	<i>2,7</i>	<i>3,1</i>	<i>3,7</i>
<i>Leistungszahl (COP) von 1979 bis 1993 (DIN EN 255-2)</i>	<i>2,4</i>	<i>2,8</i>	<i>3,3</i>
<i>Leistungszahl (COP) vor 1979(DIN EN 255-2)</i>	<i>2,2</i>	<i>2,5</i>	<i>3,0</i>

Die Leistung bei $+2^{\circ}\text{C}$ errechnet sich wie folgt

$$\Phi_{hp,A,+2^{\circ}\text{C}/W_{35}} = \Phi_{hp,A,-7^{\circ}\text{C}/W_{35}} * (0,85/0,69) \quad (16)$$

Die Leistung bei $+7^{\circ}\text{C}$ errechnet sich wie folgt

$$\Phi_{hp,A,+7^{\circ}\text{C}/W_{35}} = \Phi_{hp,A,-7^{\circ}\text{C}/W_{35}} * (1,00/0,69) \quad (17)$$

Wenn die Leistung nach diesen Gleichungen festgelegt wird, ist keine Standardbivalenttemperatur zu verwenden.

Für Wärmepumpen mit der Wärmequelle Erdreich oder Grundwasser wird der Standardwert für die Nennleistung wie folgt vorgeschlagen:

$$\Phi_{hp,\theta_{source,max}} = 1,1 * \Phi_{h,max} * \frac{24}{20} \quad (18)$$

Verbal: Die Leistung der Wärmepumpe entspricht dem 1,1fachen der Heizlast des Gebäudes (bzw. der Gebäudezone) bei Berücksichtigung einer EVU-Sperrzeit von 2 x 2 h/d.

5.3.3 Leistungszahlen drehzahl geregelter Wärmepumpe

Bei Vergleichsrechnungen zwischen einstufigen und regelbaren Wärmepumpen werden bei gleichen Bedarfswerten für die Erzeugernutzwärmeabgabe, gleichen Heizkreistemperaturbedingungen und gleichem Gebäude nach Norm höhere Endenergiebedarfswerte für die regelbaren Wärmepumpen als für die einstufigen Wärmepumpen ermittelt. Tendenziell wird jedoch ein Gleichstand bzw. ein geringer Vorteil diesbezüglich von regelbaren Wärmepumpen erwartet.

Eine der Ursachen sind die aktuellen Standardwerte für Wärmepumpen. Die in Tabelle C.1 bis C.3 der DIN V 18599-5 angegebenen Standardwerte für Wärmepumpen gelten eigentlich nur für einstufige Wärmepumpen. Dies geht aus dem Normtext jedoch nicht hervor. Im einleitenden Text zu den Standardwerten für die Wärmepumpenberechnung steht:

In Tabelle C.1 bis Tabelle C.9 sind die Standardwerte der Leistung und die Leistungszahl für elektrisch betriebene Wärmepumpen zu finden.

Da nicht expliziert das Verwenden für regelbare Wärmepumpen ausgeschlossen ist, werden in der Software die gleichen Werte für einstufige und regelbare Wärmepumpen angewendet und damit impliziert als das Optimum bei 60% Drehzahl angesetzt. Das Bewertungsverfahren berücksichtigt bei den regelbaren Wärmepumpen weitere Abhängigkeiten der Leistungszahl vom Belastungsgrad und es erfolgt eine Korrektur des COP. Von diesem Standardwert werden bei einem Belastungsgrad von 100% (maximale Drehzahl) 0,4 COP-Punkte abgezogen und in Richtung minimaler Drehzahl 0,6 COP-Punkte. Dies führt zu einer deutlichen Verschlechterung der Ausgangskennkurve für regelbare Wärmepumpen gegenüber einstufigen Wärmepumpen.

Nach Aussagen von Herstellern sollte der COP der einstufigen Wärmepumpe bei 100% Drehzahl ca. 0,1 COP-Punkte höher liegen als bei geregelten Wärmepumpen. Dies würde dazu führen, dass die Kennlinie der regelbaren Wärmepumpe um ca. 0,3 COP-Punkte und damit auch der Standardwert der regelbaren Wärmepumpe um ca. 0,3 bis 0,35 COP-Punkte nach oben verschoben werden müsste.

Es wird vorgeschlagen, im bisherigen Anhang C der Norm folgende Änderungen vorzunehmen:

- 1) Umformulieren des einleitenden Textes und Einfügen des Hinweises, wie der Standardwert bei einer regelbaren Wärmepumpe zu ermitteln ist.

In Tabelle C.1 bis Tabelle C.9 sind die Standardwerte der Leistung und die Leistungszahl für elektrisch betriebene Wärmepumpen zu finden.

Die in Tabelle C.1 bis C.3 angegebenen Standardwerte gelten ausschließlich für einstufige Wärmepumpen.

Die Standardwerte für Leistungszahlen von regelbaren Wärmepumpen werden durch einen Zuschlag in Höhe von 0,3 auf die jeweiligen Leistungszahlen der einstufigen Wärmepumpen ermittelt und gelten für den Punkt $\beta_{hp,\theta_{source}}$ (Bild 9), welcher die maximale Leistungszahl im Regelbereich besitzt. Dieser Punkt entspricht einem Belastungsgrad von ca. 60%. Die Kennlinie des Regelbereiches ist ausgehend von diesem Punkt zu bestimmen.

- 2) Ergänzung der Überschriften der Tabellen C.1. bis C.3 um den Hinweis, dass es sich um Standardwerte für einstufige Wärmepumpen handelt

Tabelle C.1 — **Einstufige** Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Vorlauftemperatur 35 °C

Tabelle C.2 — [Einstufige Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Vorlauftemperatur 45 °C](#)

Tabelle C.3 — [Einstufige Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Vorlauftemperatur 55 °C](#)

5.3.4 Temperatur Speicherbeladung

In der aktuellen Software zur DIN V 18559, die den durch die EnEV 2014 in Bezug genommen Normstand von 2011 [2] abbildet, werden zum Teil Angaben zur s.g. Speicherbeladungsregel erfragt. Dabei soll die Temperatur Speicherbeladung – Einschaltung und – Abschaltung angegeben werden. Die beiden Werte sind jedoch für die Berechnung irrelevant, da sie in der Ausgabe der Norm vom Dezember 2011 als auch in der aktuellen Ausgabe der DIN V 18599 vom September 2018 nicht mehr berücksichtigt werden.

Die Verbesserung der Anwendbarkeit der DIN V 18599 hinsichtlich dieser Eingabewerte wird dadurch erreicht, dass in der zukünftigen Software, die die aktuelle Normreihe DIN V 18599:2018-09 abbildet, keine Abfrage diesbezüglich erfolgt.

5.3.5 Obere Temperaturgrenze (Trinkwarmwasser) für den Betrieb der Wärmepumpe

Die obere Temperaturgrenze (Trinkwarmwasser) für den Betrieb der Wärmepumpe $\theta_{upper, hp}$ bestimmt in Verbindung mit der mittleren Zapftemperatur des Trinkwarmwassers den Endenergiebedarf des Nachheizsystems. Ist die obere Temperaturgrenze für den Betrieb der Wärmepumpe kleiner als die mittlere Zapftemperatur des Trinkwarmwassers, ergibt sich ein Energiebedarf des Nachheizsystems. Die obere Temperaturgrenze (Trinkwarmwasser) für den Betrieb der Wärmepumpe wird aktuell in Gleichung (75) der DIN V 18599-8 verwendet. Diese soll nach Gleichung (73) der DIN V 18599-8 bestimmt werden. Dabei ergibt sich nach dieser Gleichung die maximale Vorlauftemperatur $\theta_{upper, hp}$ als das Maximum der höchsten Senktemperatur der verfügbaren Prüfpunkte nach DIN EN 14511 und der Herstellerangabe zur maximal möglichen Vorlauftemperatur:

$$\theta_{upper, hp} = \max(\theta_{max, Hp}; \theta_{VL, max, Prüfpunkt DIN EN 14511})$$

Dabei ist

$\theta_{upper, hp}$ maximale Vorlauftemperatur der Wärmepumpe, in °C;

$\theta_{max, Hp}$ Herstellerangabe zur maximal möglichen Vorlauftemperatur, in °C;

$\theta_{VL, max, Prüfpunkt DIN EN 14511}$ höchste Vorlauftemperatur, zu der ein Prüfpunkt nach DIN EN 14511 vorliegt, in °C.

In der aktuellen Normfassung werden folgende Standardwerte für die maximale Temperatur der Wärmepumpe angegeben:

- Standardwert für Trinkwasserspeicher nicht nach DVGW (Kleinanlagen): $\theta_{upper, hp} = 55 \text{ °C}$
- Standardwert für Trinkwasserspeicher nach DVGW: $\theta_{upper, hp} = 65 \text{ °C}$

Da die Zuordnung nicht eindeutig möglich ist, werden folgende Anpassungen/Ergänzungen vorgeschlagen.

~~Standardwert für Trinkwasserspeicher nicht nach DVGW (Kleinanlagen): $\theta_{upper, hp} = 55 \text{ °C}$~~

~~Standardwert für Trinkwasserspeicher nach DVGW: $\theta_{upper, hp} = 65 \text{ °C}$~~

Liegen keine Produktkennwerte vor, können für das Bestimmen der maximalen Vorlauftemperatur der Wärmepumpe die in folgender Tabelle definierten Standardwerte angenommen werden.

Tabelle xx — Standardwerte für die maximale Vorlauftemperatur der Wärmepumpe, in °C

	Ein- und Zweifamilienhäuser sowie Gebäude mit sonstigen Kleinanlagen*) nach DVGW Arbeitsblatt W 551	Sonstige Gebäude (Gebäude mit Großanlagen**) nach DVGW Arbeitsblatt W 551)
$\theta_{\text{upper, hp}}$	55	65
<p>*) Anlagen mit Trinkwarmwasserspeichern mit einem Inhalt ≤ 400 l und einem Inhalt ≤ 3 l in jeder Rohrleitung zwischen dem Abgang Trinkwasserspeicher und Entnahmestelle</p> <p>**) Anlagen mit Trinkwarmwasserspeichern und einem Inhalt > 400 l und/oder > 3 l in jeder Rohrleitung zwischen dem Abgang Trinkwarmwasserspeicher und Entnahmestelle.</p>		

Gleichzeitig wird in der aktuellen *Gleichung (75)* der DIN V 18599-8 die blau markierte Präzisierung vorgeschlagen:

$$Q_{w,\text{outg,bu}} = Q_{w,\text{outg}}^* \cdot \frac{\theta_{w,\text{av}} - \theta_{\text{upper, hp}}}{\theta_{w,\text{av}} - \theta_K}$$

Dabei ist

- $Q_{w,\text{outg,bu}}$ die Erzeugernutzwärmeabgabe an das Trinkwarmwassersystem (im Monat), die vom Nachheizsystem (2. Wärmeerzeuger) bereitgestellt wird, in kWh;
- $Q_{w,\text{outg}}^*$ die verbleibende Erzeugernutzwärmeabgabe (im Monat) aus *Gleichung (50)*, in kWh;
- $\theta_{w,\text{av}}$ die mittlere Zapftemperatur des Trinkwarmwassers (siehe *Tabelle 6*), in °C;
- $\theta_{\text{upper, hp}}$ die obere Temperaturgrenze (Trinkwarmwasser) für den Betrieb der Wärmepumpe als die maximale Vorlauftemperatur der Wärmepumpe nach *Gleichung (73)*, in °C;
- θ_K die mittlere Kaltwasserzulauftemperatur (siehe *Tabelle 6*), in °C.

Vereinfachend wird angenommen, dass die mittlere Zapftemperatur des Trinkwarmwassers der mittleren Temperatur des Trinkwarmwassernetzes $\theta_{w,\text{av}}$ nach *Tabelle 6* entspricht. Weicht nach den Planungsunterlagen die mittlere Temperatur des Speichers von dem in *Tabelle 6* angegebenen Wert $\theta_{s,\text{av}} = 55$ °C ab, ist die mittlere Temperatur des Trinkwarmwassernetzes für die konkreten Auslegungsbedingungen zu berechnen. Dabei ist zu beachten, dass der Ansatz individueller Werte für die mittlere Temperatur des Speichers bis zu einer Untergrenze von 40 °C zulässig ist.

5.3.6 Volumenstrom – Primär- und Sekundärseite

Der Volumenstrom auf der Primärseite (Wärmequelle) und der Sekundärseite (Wärmenutzung) ist ein Eingabeparameter, der bei der Berechnung der Leistung des jeweiligen Kreises und damit indirekt bei der Berechnung des Gesamt-Hilfsenergieaufwandes der elektrischen Wärmepumpe berücksichtigt wird. Die Leistung des Primär- und Sekundärkreises, die nicht in der Leistungszahl enthalten sind, wird aktuell nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{\text{prim/sek,aux}} = \frac{\Delta p \cdot \dot{V}}{\eta_{\text{aux}} \cdot 3 \cdot 600} \quad (1)$$

Dabei ist

$P_{\text{prim,aux}}$ die Leistung des Primärkreises, in W,

$P_{\text{sek,aux}}$ die Leistung des Sekundärkreises, in W,

Δp der Druckabfall der Primär- bzw. Sekundärseite (Parameter als Planungsgröße), in Pa,

\dot{V} der Volumenstrom (aus den Prüfstandsmessungen nach DIN EN 14511-3 oder den Produktwerten), in m^3/h ,

η_{aux} der Wirkungsgrad der Umwälzpumpe.

Je nach Software werden entweder die Leistungen oder die Volumenströme als Eingabeparameter ausgewiesen.

Bei der Berechnung der Leistung für den Primärkreis muss zwischen den Wärmequellen differenziert werden. Die Luft-Wasser-Wärmepumpen werden als Einheit geprüft, so dass die Hilfsenergie für das Gebläse auf der Quellenseite bereits während der Messung nach DIN EN 14511 berücksichtigt ist. Damit beträgt die Leistung des Primärkreises für Luft-Wasser-WP $P_{\text{prim,aux}}=0$ W. Die Bestimmung des Volumenstroms auf der Primärseite ist nicht erforderlich.

Bei Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen ist ein Teil der Leistung des Primärkreises und zwar die Hilfsenergie zur Überwindung des internen Druckabfalls im Verdampfer bei Prüfstandmessung nach DIN EN 14511-3 in der Leistungszahl (*COP*) bereits berücksichtigt. Die Hilfsenergie der Quellenpumpe zur Überwindung des Druckabfalls in der Wärmequellenanlage ist dagegen in dem *COP* nicht berücksichtigt. Die verbleibende Leistung des Primärkreises wird entsprechend der zuvor genannten Gleichung berechnet. Als einer der Parameter ist der Volumenstrom als Produktkennwert bzw. projektbezogener Wert anzugeben. Die Größe ist in einem frühen Planungs-/Beratungsstadium oft nicht bekannt und kann nicht immer (ohne Weiteres) den Produktdatenblättern entnommen werden, was in Abbildung 52 bis Abbildung 54 anhand ausgewählten Produktdatenblättern für Sole-Wasser-Wärmepumpen gezeigt wird. Folgende Hilfestellung wird in der aktuellen Normfassung formuliert: „*der Volumenstrom (wird) mit der Nennleistung der Wärmepumpe bei einer Temperaturdifferenz von 3 K bestimmt*“.

Typ	WPE-I 04 HKW 230 Premium	WPE-I 06 HKW 230 Premium	WPE-I 08 HKW 230 Premium
Bestell-Nr.	202616	238620	238621
Wärmeleistung bei B0/W35 (min/max)	1,0 - 4,2 kW	1,0 - 6,6 kW	1,0 - 7,6 kW
SCOP (EN 14825)	5,07	5,2	5,12
Einsatzgrenze heizungsseitig max.	75 °C	75 °C	75 °C
Technische Daten			
Energieeffizienzklasse Wärmepumpe W35	A+++	A+++	A+++
Energieeffizienzklasse Wärmepumpe W55	A+++	A+++	A+++
Energieeffizienzklasse Warmwasserbereitung bei Lastprofil XL	A	A	A
SCOP (EN 14825)	5,07	5,2	5,12
Wärmeleistung bei B0/W35 (EN 14511)	1,96 kW	2,37 kW	2,78 kW
Kältemittel	R454 C	R454 C	R454 C
Aufstellraum Volumen min.	10 m ³	10 m ³	10 m ³
Nennspannung Verdichter	230 V	230 V	230 V
Nennspannung Not-/Zusatzheizung	230 V	230 V	230 V
Fläche Wärmeübertrager	2,1 m ²	2,1 m ²	2,1 m ²
Nenninhalt	175 l	175 l	175 l
Höhe	1937 mm	1937 mm	1937 mm
Breite	600 mm	600 mm	600 mm
Tiefe	703 mm	703 mm	703 mm
Gewicht	265 kg	265 kg	265 kg

Abbildung 52: Ausgewählte Produktdatenblätter für Sole-Wasser-Wärmepumpen, Bildquelle: Stiebel Eltron

400 V-Geräte

Typ BWC		201.B06	201.B08	201.B10	201.B13	201.B17
Leistungsdaten Heizen nach EN 14511 (B0/W35, 5 K Spreizung)						
Nenn-Wärmeleistung	kW	5,76	7,54	10,36	12,97	17,35
Kälteleistung	kW	4,44	6,06	8,32	10,52	13,79
Elektr. Leistungsaufnahme	kW	1,25	1,62	2,16	2,63	3,84
Leistungszahl ϵ (COP)		4,60	4,64	4,81	4,93	4,51
Sole (Primärkreis)						
Inhalt	l	3,3	3,3	3,9	4,5	5,9
Mindestvolumenstrom	l/h	860	1160	1470	1900	2500
Nennvolumenstrom	l/h	1100	1300	1720	—	—
Restförderhöhe						
– Bei Mindestvolumenstrom	mbar	635	570	650	869	745
	kPa	63,5	57,0	65,0	86,9	74,5
– Bei Nennvolumenstrom	mbar	612	545	580	—	—
	kPa	61,2	54,5	58,0	—	—
Max. Vorlauftemperatur (Soleeintritt)	°C	25	25	25	25	25
Min. Vorlauftemperatur (Soleeintritt)	°C	–10	–10	–10	–10	–10
Heizwasser (Sekundärkreis)						
Inhalt	l	3,3	3,5	3,8	4,6	5,7
Mindestvolumenstrom	l/h	600	710	920	1115	1500
Nennvolumenstrom	l/h	990	1250	1710	—	—
Restförderhöhe						
– Bei Mindestvolumenstrom	mbar	610	690	670	910	838
	kPa	61,0	69,0	67,0	91,0	83,8
– Bei Nennvolumenstrom	mbar	576	620	430	—	—
	kPa	57,6	62,0	43,0	—	—
Max. Vorlauftemperatur	°C	65	65	65	65	65
Heizwasser-Durchlauferhitzer						
Wärmeleistung	kW	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Nennspannung		3/N/PE 400 V/50 Hz				
Absicherung		3 x B16A 1-polig				
Elektrische Werte Wärmepumpe						
Nennspannung Verdichter		3/N/PE 400 V/50 Hz				
Nennstrom Verdichter	A	4,8	6,2	7,4	9,7	13
Cos φ		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Anlaufstrom Verdichter mit Anlaufstrombegrenzung	A	11	14	20	22	25
Anlaufstrom Verdichter bei blockiertem Rotor	A	28	43	51,5	62	75
Absicherung Verdichter	A	1 x B16A 3-polig	1 x B16A 3-polig	1 x B16A 3-polig	1 x B16A 3-polig	1 x C20A 3-polig
Schutzklasse		I	I	I	I	I
Elektrische Werte Wärmepumpenregelung						
Nennspannung		1/N/PE 230 V/50 Hz				
Absicherung		B16A	B16A	B16A	B16A	B16A
Sicherungen		T 2,0 A H / 250 V T 6,3 A H / 250 V				
Schutzart		IP20	IP20	IP20	IP20	IP20
Elektr. Leistungsaufnahme						
Primärpumpe (Hocheffizienz-Umwälzpumpe)	W	5 bis 70	5 bis 70	5 bis 70	5 bis 145	5 bis 145
– Energieeffizienzindex EEI		$\leq 0,21$	$\leq 0,21$	$\leq 0,21$	$\leq 0,21$	$\leq 0,21$
Sekundärpumpe (Hocheffizienz-Umwälzpumpe)	W	5,7 bis 87	5,7 bis 87	5,7 bis 87	4 bis 131	4 bis 131
– Energieeffizienzindex EEI		$\leq 0,21$	$\leq 0,21$	$\leq 0,21$	$\leq 0,21$	$\leq 0,21$
Max. Leistungsaufnahme Regelung	W	1000	1000	1000	1000	1000
Nennleistung Regelung/Elektronik	W	12	12	12	12	12

Abbildung 53: Ausgewählte Produktdatenblätter für Sole-Wasser-Wärmepumpen, Bildquelle: Viessmann

geoTHERM		VWS 220/3	VWS 300/3	VWS 380/3	VWS 460/3
Heizleistung/COP bei B0/W35	kw	21,6/4,3	31,0/4,4	37,8/4,3	45,7/4,3
Heizleistung/COP bei B0/W55	kw	20,1/3,2	28,4/3,1	34,7/3,1	41,5/3,1
Temperatur Heizung Max.	°C	62			
Schallleistungspegel bei B0/W35	dB(A)	55	55	56	61
Maße unverpackt (HxBxD)	mm	1.200x760x1.100			
Gewicht unverpackt	kg	322	341	357	394
Kältemittel [®]		R407C			
Kältemittelmenge	kg	1,8	1,95	3,53	4,4
Treibhauspotenzial nach Verordnung (EU)		1,774			
CO ₂ -Äquivalent	t	7,27	10,63	11,88	15,26
Füllmenge	kg	4,1	5,99	6,7	8,6
Energieeffizienzklasse 35 °C	 (A+++ bis D)				
Energieeffizienzklasse 55 °C	 (A+++ bis D)				

Abbildung 54: Ausgewählte Produktdatenblätter für Sole-Wasser-Wärmepumpen, Bildquelle: Vaillant

Der Hilfsenergieaufwand für den Sekundärkreis wird nur bei Wärmepumpen mit externem Pufferspeicher oder hydraulischer Weiche berücksichtigt. Wie dieser zu berechnen ist, wird jedoch nicht detailliert beschrieben.

Zur Verbesserung der Anwendbarkeit des Berechnungsverfahrens sind zwei Varianten denkbar:

1. Definieren von Standardwerten für Volumenstrom
2. Definieren von Standardwerten für Leistung des Primär- und Sekundärkreises

1. Standardwerte für Volumenstrom

Durch die Definition der Standardwerte für den Volumenstrom des Primärkreises bei Sole- und Wasser-Wasserwärmepumpen sowie des Sekundärkreises wäre unter Berücksichtigung der aktuellen Berechnungsmethodik eine Berechnung auch dann möglich, wenn nicht alle projektbezogenen Werte bekannt sind. Das Beibehalten der bisherigen Struktur würde jedoch eine Berechnung mit produktspezifischen Werten erlauben.

Volumenstrom – Primärkreis bei Sole- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen

Ist der produktspezifische Volumenstrom des Primärkreises nicht bekannt, kann dieser näherungsweise aus der maximalen Heizleistung der Wärmepumpe und der wärmequellenseitigen Temperaturdifferenz von 3 K für Sole-

Wasser-Wärmepumpen nach Gleichung (19) und für Wasser-Wasser-Wärmepumpen nach Gleichung (20) bestimmt werden:

$$\dot{V} = \frac{\Phi_{hp,max}}{3,33} \quad (19)$$

$$\dot{V} = \frac{\Phi_{hp,max}}{3,49} \quad (20)$$

Dabei ist

\dot{V} der Volumenstrom des Primärkreises, in m³/h;

$\Phi_{hp,max}$ die maximale Heizleistung der Wärmepumpe, in kW

Dabei werden für das Wärmeträgermedium die in Tabelle 22 ausgewiesenen thermodynamischen Eigenschaften unterstellt:

Tabelle 22: Thermodynamische Eigenschaften des Wärmeträgermediums bei Sole- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen

	Sole-Wasser-Wärmepumpe	Wasser-Wasser-Wärmepumpe
Spezifische Wärmekapazität, in kJ/(kg K)	3,80	4,19
Dichte, in kg/m ³	1.050	999,7

Volumenstrom – Sekundärkreis

Der Volumenstrom des Sekundärkreises ergibt sich aus der maximalen Heizleistung der Wärmepumpe (Norm-Heizlast $\Phi_{h,max}$ (siehe 4.2)) und der Auslegungs-Temperaturspreizung $\Delta\theta_{HK}$ im Heizkreis nach Gleichung (21):

$$\dot{V} = \frac{\Phi_{hp,max}}{1,15 \cdot \Delta\theta_{HK}} \quad (21)$$

Dabei ist

\dot{V} der Volumenstrom des Sekundärkreises, in m³/h;

$\Phi_{hp,max}$ die maximale Heizleistung der Wärmepumpe, in kW

$\Delta\theta_{HK}$ die Temperaturspreizung im Auslegungspunkt (siehe 5.2), in K.

2. Standardwerte für Leistung des Primär- und Sekundärkreises

Alternativ zur Definition der Standardwerte für Volumenstrom könnten Standardwerte für Leistung des Primär- und Sekundärkreises in Abhängigkeit der Heizleistung, der Art der Wärmeübergabe und der Wärmequelle definiert werden. Dabei wird bei integrierten Flächenheizsystemen von einer Temperaturspreizung $\Delta\theta_{HK}=5K$ und bei freien Heizflächen von $\Delta\theta_{HK} = 10K$ ausgegangen. Für den Primärkreis wird ein Druckverlust von 40 kPa und für den Sekundärkreis von 10 kPa eingesetzt. Der Wirkungsgrad der Umwälzpumpen wird nach DIN EN 14511 zu $\eta_{aux} = 0,3$ festgelegt.

Tabelle 23: Standardwerte für Leistung des Primär- und Sekundärkreises

		Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	Wasser-Wasser-Wärmepumpe
Leistung Primärkreis $P_{\text{prim,aux}}$ in W		0	$11,1 \cdot \Phi_{\text{hp,max}}$	$10,6 \cdot \Phi_{\text{hp,max}}$
Leistung Sekundärkreis $P_{\text{sek,aux}}$ in W	Pufferspeicher oder hydraulische Weiche vorhanden	Flächenheizung	$1,61 \cdot \Phi_{\text{hp,max}}$	
		Heizkörper	$0,84 \cdot \Phi_{\text{hp,max}}$	
	sonst	0	0	0

Dabei ist die maximale Heizleistung der Wärmepumpe $\Phi_{\text{hp,max}}$ in kW anzugeben.

5.3.7 EVU-Abschaltzeiten

Die Laufzeit der Wärmepumpe zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung wird durch verschiedene Einflüsse darunter die sogenannten EVU-Sperrzeiten reduziert. Die Sperrzeiten betreffen die Wärmepumpen, die mit einem Wärmepumpentarif (gesonderter Stromtarif) betrieben werden und haben zum Ziel die Stromnetze bei hohem Bedarf zu entlasten und so die Stabilität des Systems sicherzustellen. Die Stromzufuhr darf maximal dreimal täglich für höchstens zwei Stunden am Stück unterbrochen werden. Üblicherweise betragen die bei Inanspruchnahme von einem Wärmepumpentarif vertraglich geregelten Sperrzeiten zwischen 3 und 6 Stunden. Die Werte variieren je nach Netzbetreiber.

Die EVU-Sperrzeiten werden aktuell im Berechnungsverfahren wie folgt berücksichtigt:

- als aufsummierte Stunden im Monat in DIN V 18599-5 ($t_{\text{off, hp}}$)
- als Stunden pro Tag in DIN V 18599-8 ($t_{\text{hp, off, EVU}}$)

Sowohl im Teil 5 als auch Teil 8 der DIN V 18599 liegen zu den EVU-Sperrzeiten keine Standardwerte vor und die Berechnung soll mit projektbezogenen/tatsächlichen Sperrzeiten erfolgen. Je nach Software führt das allerdings dazu, dass keine Sperrzeiten standardmäßig bei der energetischen Bewertung von Wärmepumpen berücksichtigt werden. Zur Vereinheitlichung der Software-Umsetzung und Vereinfachung der Anwendbarkeit für den Nutzer wird vorgeschlagen einen Standardwert für die Sperrzeiten von 2 x 2h pro Tag zu definieren. Dafür werden für die entsprechenden Textpassagen im Teil 5 und 8 der DIN V 18599 die im Folgenden mit blau markierten Ergänzungen vorgeschlagen.

DIN V 18599-5, Abschnitt 6.5.3.2.6.3

(...)

b) Laufzeitkürzung durch EVU Sperrzeiten und Nichtnutzungszeiten des Gebäudes

Die Laufzeit der Wärmepumpe in der Temperaturklasse i wird durch die in der Klasse i zeitanteilig berücksichtigten EVU-Sperrzeiten verringert:

$$\Delta t_{\text{op, EVU, TKi}} = t_{\text{off, hp}} \cdot \frac{H_{\text{TKi, mth}}}{HH_{\text{mth}}} \cdot \frac{t_n}{HH_{\text{mth}}}$$

Dabei ist

- $\Delta t_{op,EVU,TKi}$ die Minderung der Laufzeit der Wärmepumpe durch die EVU-Sperrzeiten in der Temperaturklasse i (im Monat), in h ;
- $t_{off,hp}$ die aufsummierten Stunden der EVU-Abschaltung (im Monat) (projektbezogen oder Standardwert nach Tabelle xx), in h ;
- $H_{TKi,mth}$ die Stundensumme der Temperaturklasse i (im Monat) aus Gleichung (B.9), nur bis zur maximalen BIN-Temperatur von $\theta_{BINj} = \theta_{HG}$, in h ;
- HH_{mth} alle aufsummierten Stunden (im Monat), in h ;
- $H_{\theta_{BIN,j},mth}$ die Stundensumme der j -ten BIN-Temperatur im Monat nach Gleichung (B.4), in $^{\circ}C$;
- t_h die monatliche Heizzeit (siehe 4.2), in h .

Tabelle xx — Standardwerte für die monatlichen EVU-Sperrzeiten, in h

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
$t_{off,hp}$	124	112	124	120	124	120	124	124	120	124	120	124

DIN V 18599-8, Abschnitt 6.4.5.4

Die Laufzeit der Wärmepumpe wird durch die monatlichen Stunden, die Nichtnutzungszeit der Warmwasserbereitung (DIN V 18599-2) und die EVU-Sperrzeiten begrenzt. Die Nutzungszeit (Betriebszeit) der Warmwasserbereitung ergibt sich aus Gleichung (1). Von dieser Nutzungszeit werden anteilig die EVU-Sperrzeiten abgezogen. Es wird davon ausgegangen, dass die EVU-Sperrzeiten gleichverteilt über die Nutzungs- und Nichtnutzungszeit auftreten.

$$t_{op,max} = \left(1 - \frac{t_{hp,off,EVU}}{24h/d}\right) \cdot d_{op,mth} \cdot t_{op,day}$$

Dabei ist

- $t_{op,max}$ die maximal mögliche Laufzeit der Wärmepumpe (im Monat), in h ;
- $d_{op,mth}$ die Betriebsdauer Trinkwarmwasser (im Monat) aus Gleichung (1), in d ;
- $t_{hp,off,EVU}$ die Stunden der EVU-Abschaltung pro Tag (im Monat), in h/d ;
- $t_{op,day}$ die tägliche Betriebszeit für die Warmwasserbereitung (siehe 4.2), in h .

Liegen für die EVU-Abschaltung keine projektbezogenen Angaben (z.B. nach Vertragsunterlagen) vor, ist mit einer EVU-Abschaltung von $t_{hp,off,EVU} = 4 h/d$ zu rechnen.

5.4 Verfahren zur Bestimmung des Deckungsanteils bei unterschiedlichen Wärmeerzeugern bei bivalenten und multivalenten Systemen

5.4.1 Einführende Bemerkungen

Im Folgenden werden Vorschläge für einfache Bewertungsansätze für folgende Anlagenkombinationen erarbeitet:

- Marktübliche Hybrid-Kompaktgeräte, die eine Luft-Wasser-WP und einen Gas-Brennwertkessel in einem Gerät beinhalten und mit unterschiedlichen Regelungsstrategien (z.B. primärenergetisch optimiert oder heizkostenoptimiert) betrieben werden können.

- Kombinationen aus (ggf. nachträglich installierten) Luft-Wasser-Wärmepumpen mit entweder bereits vorhandenen Kesseln oder neu installierten (Brennwert-)Kesseln.
- Gas-/Öl-Brennwertkessel mit Power-to-Heat Lösungen (elektrischer Heizstab zur TWE und/oder Heizung)

5.4.2 Hybrid-Kompaktgeräte (L/W-WP + GBW)

5.4.2.1 Marktanalyse

Aktuell (Stand: 02/2021) werden die in folgender Tabelle ausgewiesenen Hybrid-Kompaktgeräte namhafter Hersteller auf dem deutschen Markt vertrieben.

Tabelle 24: Marktanalyse Hybrid-Kompaktgeräte – Datenquelle: [11], [12], [13]

Typ	Leistung Luft/Wasser-Wärmepumpe bei -7/W35, in kW	Leistung Luft/Wasser-Wärmepumpe bei +7/W35, in kW	Nennleistung Gas-Brennwertkessel, bei 50/30°C, in kW
Altherma R Hybrid	4,37	4,40	28,9 (32,7 im TWW-Betrieb)
Altherma R Hybrid	5,46	7,40	28,9 (32,7 im TWW-Betrieb)
Altherma H Hybrid	3,53	3,98	25,4
Altherma H Hybrid	3,53	3,98	28,9
CalentaHP	k.A.	6,0	25,5
VITOCALDENS 222-F	3,20	4,0	19,0
VITOCALDENS 222-F	6,60	8,39	19,0
VITOCALDENS 222-F	8,72	10,9	19,0
VITOCALDENS 222-F	9,50	10,16	19,0

Als Einsatzbereiche werden von den Herstellern insbesondere Einfamilienhäuser (Neubau/Bestand) genannt. Limitierend für den Einsatz kann dabei die Größe des Warmwasserspeichers (falls geräteintegriert, z.B. VITOCALDENS) bzw. die Nennleistung des Gas-Brennwertkessels sein. Bei Geräten mit Trinkwarmwassererzeugung im Durchflussprinzip (insbesondere Altherma R Hybrid) ist ein Einsatz in kleinen Mehrfamilienhäusern (Neubau/Modernisierung) möglich.

Die aktuell marktverfügbaren Geräte verfügen zumindest über folgende zwei Regelungsstrategien:

- Ökonomisch optimiert
- Ökologisch optimiert

Darüber hinaus sind bei ausgewählten Geräten weitere Regelungsstrategien möglich, z.B. in Verbindung mit PV-Anlagen zur Steigerung der PV-Stromeigennutzung.

Je nach gewählter Regelungsstrategie entscheidet die Regelung anhand der eingegebenen Kennwerte, welcher Wärmeerzeuger (Wärmepumpe oder Brennwertkessel) zu dem jeweiligen Zeitpunkt die Wärmebereitstellung übernimmt. Dabei wird, solange es keine anderen übergeordneten Regelungskriterien gibt, immer der Wärmeerzeuger bevorzugt, der die Wärmeanforderung günstiger decken kann. Wenn die ökonomisch optimierte Betriebsweise gewählt wird, entscheidet die Regelung anhand der hinterlegten Energiepreise für Strom und Gas und der erwarteten Effizienz der jeweiligen Wärmeerzeuger, insbesondere der durch Quellen- und Senktemperaturen stark abhängigen Leistungszahlen der Wärmepumpe, welcher der beiden Wärmeerzeuger die Wärme mit niedrigeren Energiekosten bereitstellen kann. Bei der ökologisch optimierten Betriebsweise wird der Wärmeerzeuger priorisiert, dessen Betrieb

niedrigeren Primärenergiebedarf bzw. niedrigere THG-Emissionen verursacht. Den Einfluss beider Betriebsweisen auf den Deckungsanteil der Wärmepumpe stellt schematisch folgende Abbildung dar. Dabei wird exemplarisch nur ein Kompakt-Hybridgerät in Gebäuden mit unterschiedlicher Gebäudeheizlast (Variation der Größe und des baulichen Wärmeschutzes) und Systemauslegungstemperaturen von 55/45°C betrachtet, um die Grundzusammenhänge zu beleuchten.

Bei einer ökologisch optimierten Betriebsweise unter Berücksichtigung aktueller Primärenergiefaktoren für Strom ($f_p=1,8$) und Erdgas ($f_p=1,1$) übernimmt die Wärmepumpe bei hohen Leistungsanteilen fast vollständig die Wärmebereitstellung. Unter Berücksichtigung der aktuellen Energiepreise für Erdgas ($k_{\text{Erdgas}}=6,3$ ct/kWh) und eines Betriebes der Wärmepumpe mit Haushaltsstromtarif ($k_{\text{Strom}}=31,5$ ct/kWh, V1) bzw. eines Betriebes der Wärmepumpe mit Wärmepumpentarif ($k_{\text{Strom}}=20,0$ ct/kWh, V2) ist der Betrieb des Brennwertkessels häufiger kosteneffizienter, was wiederum zu deutlich niedrigeren Deckungsanteilen der Wärmepumpe als bei der ökologisch optimierten Betriebsweise führt (vgl. Abbildung 55).

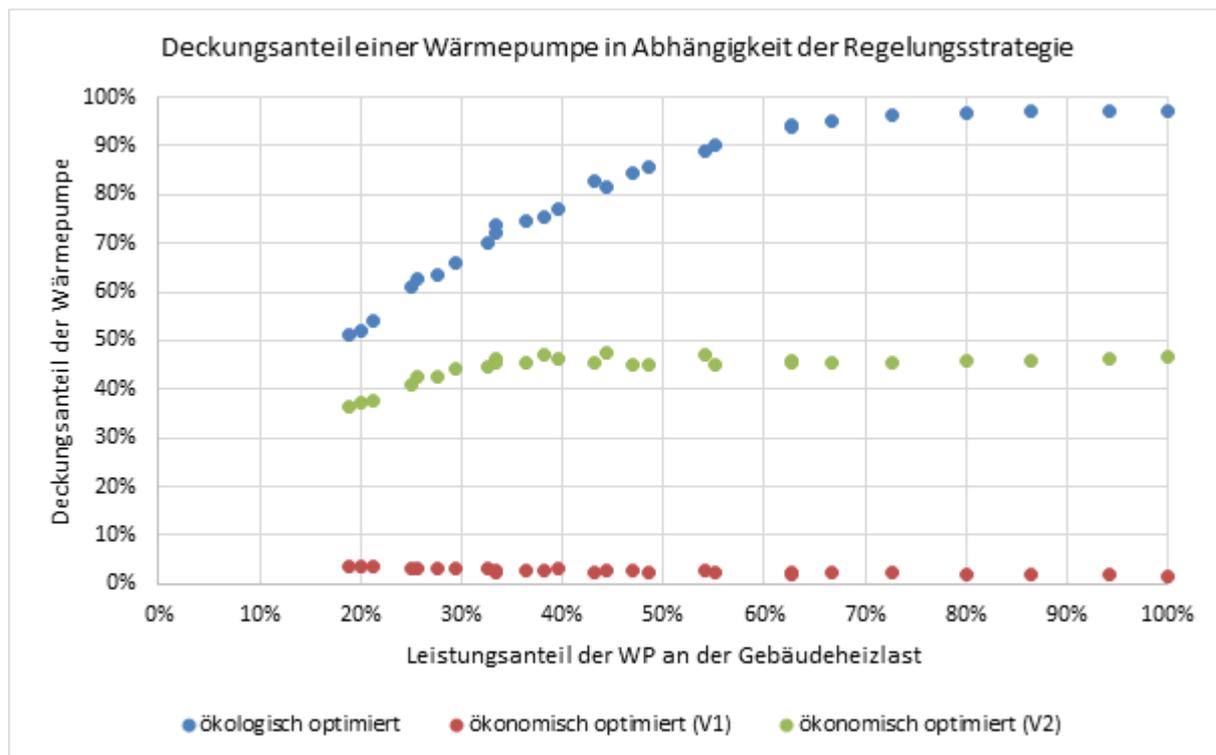


Abbildung 55: Deckungsanteil einer Wärmepumpe in Abhängigkeit der Regelungsstrategie bei unterschiedlichen Leistungsanteilen des Wärmepumpenmoduls an der gesamten Gebäudeheizlast

5.4.2.2 Berechnungsgrundlagen

Um die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen den Regelungsstrategien und den Deckungsanteilen der einzelnen Wärmeerzeuger beim Betrieb eines Hybrid-Kompaktgerätes zu veranschaulichen, werden zunächst für die marktverfügbaren Geräte Simulationen für die typischen Einsatzbereiche durchgeführt.

Im Rahmen der vorliegenden Ausarbeitung wird ein fiktives Ein-/Zweifamilienhaus betrachtet, dessen Nutzfläche wie folgt variiert wird:

- 100 m²
- 125 m²
- 150 m²
- 200 m²
- 300 m²
- 400 m².

In Abhängigkeit davon, ob der Keller innerhalb oder außerhalb der thermischen Hülle liegt, oder kein Keller vorhanden ist, entspricht die angenommene Nutzfläche näherungsweise der in folgender Tabelle ausgewiesenen Wohnfläche. Für die Umrechnung werden für das Verhältnis zwischen der Gebäudenutzfläche und der Wohnfläche folgende Faktoren angesetzt:

- Wohngebäude mit beheiztem Keller: 1,35
- bei sonstigen Wohngebäuden: 1,2.

Tabelle 25: Resultierende Wohnfläche in Abhängigkeit der unterstellten Nutzfläche

Nutzfläche A_N	100 m ²	125 m ²	150 m ²	200 m ²	300 m ²	400 m ²
Wohnfläche, Keller beheizt (innerhalb der thermischen Hülle)	74 m ²	93 m ²	111 m ²	148 m ²	222 m ²	296 m ²
Wohnfläche, sonstige Wohngebäude (Keller unbeheizt oder kein Keller)	83 m ²	104 m ²	125 m ²	167 m ²	250 m ²	333 m ²

Die marktverfügbaren Hybrid-Kompaktgeräte können weitgehend sowohl im Neubau bzw. energetisch sanierten Bestand als auch im unsanierten Gebäudebestand mit einer Heizlast von max. 19 kW bis 29 je nach Gerät eingesetzt werden. Um den möglichen Einsatzbereich der Geräte abzubilden, wird der spezifische auf die Nutzfläche bezogene Jahres-Heizwärmebedarf q_h wie folgt variiert:

- 30 kWh/(m²a)
- 50 kWh/(m²a),
- 75 kWh/(m²a),
- 100 kWh/(m²a),
- 150 kWh/(m²a).

In Tabelle 26 wird die den Berechnungen zugrunde gelegte Gebäudeheizlast, die unter Berücksichtigung der o.g. Annahmen bezüglich der Gebäudegröße und des Jahres-Heizwärmebedarfs abgeschätzt wird, ausgewiesen.

Tabelle 26: Resultierende Gebäudeheizlast in Abhängigkeit der Gebäudegröße und dem baulichen Wärmeschutz

Jahres- Heizwärmebedarf q_h Nutzfläche A_N	Gebäudeheizlast in kW				
	30 kWh/m ² a	50 kWh/m ² a	75 kWh/m ² a	100 kWh/m ² a	150 kWh/m ² a
100 m ²	2,8	3,7	4,8	5,9	8,1
125 m ²	3,4	4,4	5,8	7,2	9,8
150 m ²	4,0	5,1	6,8	8,4	11,6
200 m ²	5,1	6,6	8,8	10,9	15
300 m ²	7,4	9,6	12,8	15,9	22,1
400 m ²	9,6	12,5	16,9	20,7	28,8

Im Rahmen excelbasierter Simulationsrechnungen werden die Deckungsanteile der beiden Wärmeerzeuger (Wärmepumpe und Brennwertkessel) an der Wärmebereitstellung in Abhängigkeit von der Gebäudegröße, dem baulichen Wärmeschutz, der Regelungsstrategie und den Verhältnissen der Kennwerte von Strom und Gas für die marktverfügbaren Geräte ermittelt.

Den Berechnungen liegt die Häufigkeitsverteilung von Außentemperatur für TRY04 (Wetterdaten für Klimaregion 4 - Potsdam, 2010) zugrunde.

Dabei wird die unterstellte Gebäudeheizlast außentemperaturabhängig verteilt, um die technisch mögliche Häufigkeitsverteilung der Leistungsabgabe der beiden Wärmeerzeuger (Wärmepumpe und Brennwertkessel) zu ermitteln. Um die je nach Regelungsstrategie günstigere Betriebsweise zu bestimmen, werden die Leistungszahlen der Wärmepumpe in Abhängigkeit der Quellen- und Senktemperaturen bestimmt sowie der mögliche Wirkungsgrad des Kessels in Abhängigkeit der Rücklaufemperatur und des Belastungsgrades berechnet. Je nach gewähltem Kriterium bzw. dem Verhältnis der Kennwerte von Strom und Erdgas, die bei der Entscheidung berücksichtigt werden, wird entweder die Wärmepumpe oder der Brennwertkessel priorisiert. Kann die Wärmepumpe den Bedarf nicht vollständig decken, wird der verbleibende Bedarf durch den Brennwertkessel gedeckt.

Im Rahmen der vorliegenden Berechnungen wird die Norm-Auslegungsaußentemperatur mit -12°C angenommen. Die Heizgrenztemperatur wird in Abhängigkeit vom Jahres-Heizwärmebedarf des Gebäudes variiert (vgl. Tabelle 27).

Tabelle 27: Unterstellte Heizgrenztemperatur

Jahres-Heizwärmebedarf	30 kWh/m ² a	50 kWh/m ² a	75 kWh/m ² a	100 kWh/m ² a	150 kWh/m ² a
Heizgrenztemperatur	10°C	12°C	13°C	15°C	15°C

Im Rahmen der Berechnungen werden folgende Systemauslegungstemperaturen betrachtet:

- 70/55°C
- 55/75°C
- 35/28°C

Im weiteren Schritt werden die Heizungsauslegungstemperaturen in Abhängigkeit der Außentemperatur für jede betrachtete Variante berechnet und die Häufigkeitsverteilung der Rücklaufemperatur für den Heizbetrieb wird bestimmt. Die minimalen Temperaturen des Heizkreises (Vorlauf-, Rücklaufemperatur bei der Heizgrenztemperatur) werden entsprechend der Norm-Innentemperatur mit 20°C vorgegeben.

Für die Trinkwassererwärmung wird vereinfachend eine konstante Heizleistung und Rücklaufemperatur über das ganze Jahr angenommen. Die Rücklaufemperatur für den Warmwasserbetrieb wird mit 45°C unterstellt.

In Tabelle 28 werden die den Berechnungen zugrunde gelegten Leistungsdaten von den in den untersuchten Hybrid-Kompaktgeräten integrierten Wärmepumpen ausgewiesen. Dabei entsprechen die für die Vorlaufemperatur von 35°C angegebenen Werte den Produktunterlagen. Die Werte für die Vorlaufemperatur von 55°C werden anhand der in DIN V 18599-5:2018-09 beschriebenen Abhängigkeiten der Heizleistung und der Leistungszahl von Quellen- und Senktemperatur berechnet.

Tabelle 28: Leistungsdaten der betrachteten Wärmepumpenmodule als Bestandteil der Hybrid-Kompaktgeräte

Vorlauftemperatur, in °C	55			35		
Außentemperatur, in °C	-7	2	7	-7	2	7
V1						
Heizleistung, in kW	2,97	2,82	3,80	3,20	3,00	4,00
Leistungszahl	1,75	2,17	3,17	2,58	3,30	4,64
V2						
Heizleistung, in kW	6,12	5,27	7,97	6,60	5,60	8,39
Leistungszahl	1,69	2,13	2,98	2,49	3,24	4,35
V3						
Heizleistung, in kW	8,09	7,25	10,36	8,72	7,70	10,90
Leistungszahl	1,73	2,30	3,16	2,55	3,50	4,62
V4						
Heizleistung, in kW	3,45	2,77	3,78	3,72	2,94	3,98
Leistungszahl	1,83	2,48	3,11	2,69	3,78	4,55
V5						
Heizleistung, in kW	3,82	3,06	4,18	4,11	3,25	4,40
Leistungszahl	1,91	2,64	3,45	2,81	4,02	5,04
V6						
Heizleistung, in kW	6,42	5,14	7,03	6,92	5,46	7,40
Leistungszahl	1,84	2,32	3,04	2,71	3,53	4,45

Um den Einfluss der Regelungsstrategien auf die Deckungsanteile der beiden Wärmeerzeuger zu untersuchen, werden unterschiedliche Verhältnisse der Kennwerte für Strom und Erdgas $f_{\text{Strom}/i}$ den Berechnungen zugrunde gelegt. Da insbesondere die ökonomisch optimierte Betriebsweise sehr stark von der Entwicklung der Energiepreise abhängig ist, werden über die Betrachtung mit aktuellem Preisniveau hinaus weitere Szenarien unterstellt (s. Tabelle 29).

Tabelle 29: Betrachtete Szenarien hinsichtlich Verhältnisse der Kennwerte für Strom und Gas

	Verhältnisse der Kennwerte für Strom und Erdgas $f_{Strom/i}$	Erläuterung
Szenario 1	1,64	Verhältnis der aktuellen Primärenergiefaktoren für die beiden Energieträger $\frac{f_{p,Strom}}{f_{p,Erdgas}} = \frac{1,8}{1,1}$
Szenario 2	2	Mögliche Bandbreite resultierender Werte bei abweichenden Kennwerten (z.B. THG-Emissionen statt PE-Bedarf, Erdgas-Biomethan-Gemisch statt Erdgas) bzw. anderen Energiepreisverhältnissen
Szenario 3	3	
Szenario 4	4	
Szenario 5	5	Verhältnis der aktuellen Ø Energiepreise für Haushaltsstromtarif und Erdgas

5.4.2.3 Berechnungsergebnisse

5.4.2.3.1 Einführende Bemerkungen

Im Folgenden werden Berechnungsergebnisse für die betrachteten Szenarien dargestellt. Anhand von ausgewählten Beispielen werden anschließend Einzelanalysen durchgeführt, um daraus Erkenntnisse für das Ableiten eines Bewertungsverfahrens zur Bestimmung der Deckungsanteile der beiden Wärmeerzeuger eines Hybrid-Kompaktgerätes zu gewinnen. Die Ergebnisse werden differenziert nach den übergeordneten Regelstrategien für die Trinkwarmwassererwärmung (TWE über beide Wärmeerzeuger möglich oder TWE ausschließlich über Brennwertkessel) ausgewiesen.

5.4.2.3.2 TWE über beide Wärmeerzeuger möglich

Die im Folgenden ausgewiesenen Ergebnisse betreffen die Varianten V1 bis V4 aus Tabelle 28, da für diese die Trinkwassererwärmung über beide Wärmeerzeuger möglich ist.

Abbildung 56 stellt die resultierenden Deckungsanteile einer Wärmepumpe in Abhängigkeit vom Gerätetyp (V1 bis V4) und dem Leistungsanteil der Wärmepumpe an der Gebäudeheizlast unter Berücksichtigung des Verhältnisses der aktuellen Primärenergiefaktoren für die Energieträger Strom und Erdgas als Regelungskriterium dar. Erwartungsgemäß steigt der Deckungsanteil der Wärmepumpe mit steigendem Leistungsanteil der Wärmepumpe an der Gebäudeheizlast. Ab einem Leistungsanteil von ca. 75% bleiben die Deckungsanteile nahezu konstant. Dabei übernimmt die Wärmepumpe fast ausschließlich die Wärmebereitstellung. Der resultierende Deckungsanteil der Wärmepumpe entspricht dem technisch möglichen Deckungsanteil der Wärmepumpe. Die geringfügigen Abweichungen der Deckungsanteile bei gleichen Leistungsanteilen ($\Delta\alpha = 2$ bis 7 Prozentpunkte) sind insbesondere auf die Systemauslegungstemperaturen zurückzuführen.

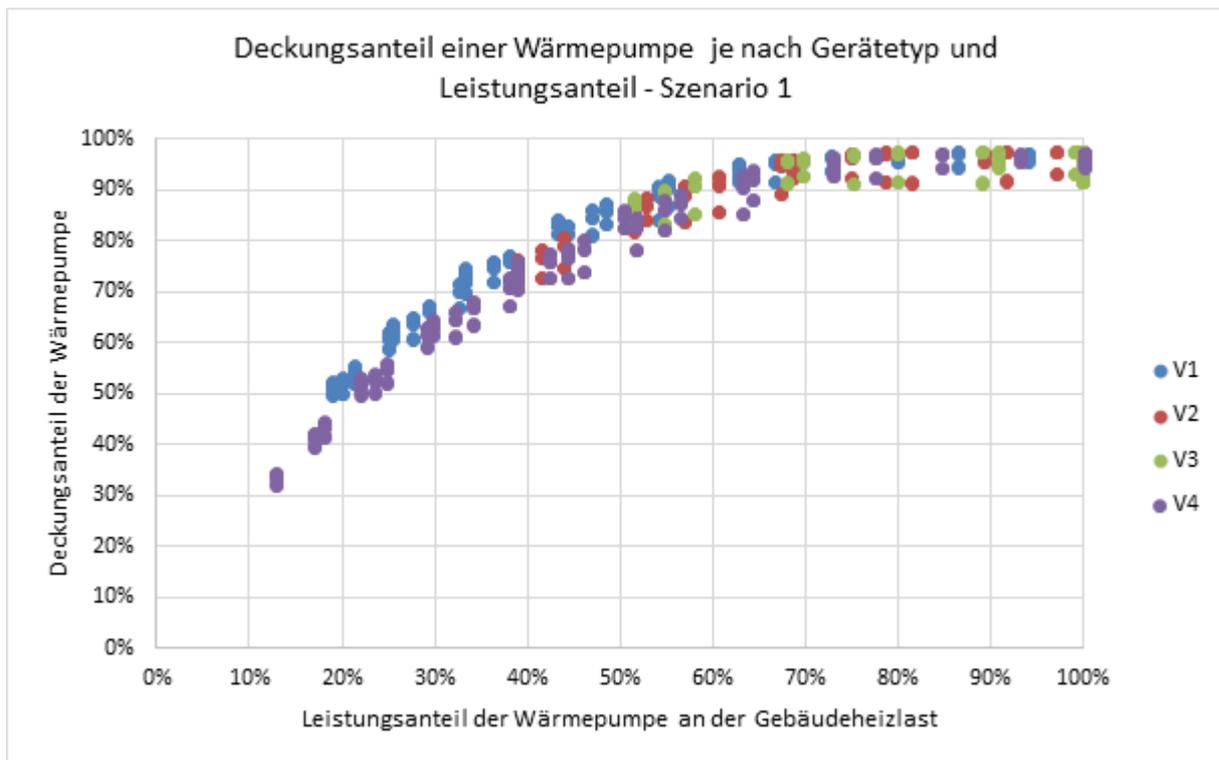


Abbildung 56: Deckungsanteil einer Wärmepumpe je nach Gerätetyp (V1 bis V4) und Leistungsanteil - Szenario 1, entsprechend dem Verhältnis der aktuellen Primärenergiefaktoren für die Energieträger Strom und Erdgas

Der Einfluss der Systemauslegungstemperatur auf den Deckungsanteil der Wärmepumpe wird exemplarisch am Beispiel des Geräts V1 in folgender Abbildung dargestellt. Unter Zugrundelegung des gemäß dem Szenario 1 unterstellten Verhältnisses der Kennwerte von Strom und Erdgas ($f_{\text{Strom/E}} = 1,64$) beeinflussen die Systemtemperaturen den Deckungsanteil nur geringfügig. Der Deckungsanteil bei einer Systemtemperatur von 70/55°C liegt im Mittel beim 0,97-Fachen des Wertes für eine Systemtemperatur von 55/45°C, bei einer Systemtemperatur von 35/28°C dagegen im Mittel beim 1,01-Fachen.

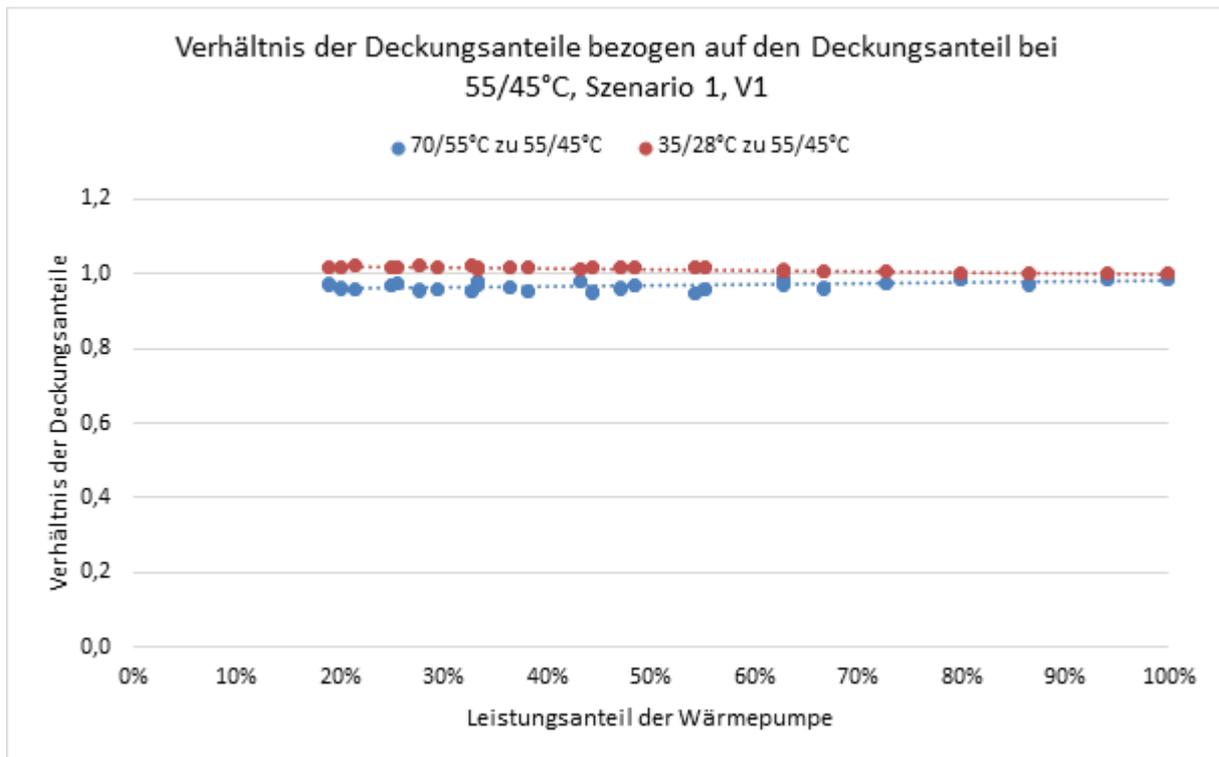


Abbildung 57: Verhältnis der Deckungsanteile bei Systemtemperatur von 70/55°C und 35/28°C bezogen auf den Deckungsanteil bei 55/45°C, Szenario 1, V1, entsprechend dem Verhältnis der aktuellen Primärenergiefaktoren für die Energieträger Strom und Erdgas

Gegenläufige Verhältnisse stellen sich ein, wenn das Verhältnis der Kennwerte zwischen Strom und Gas zugunsten eines Betriebs mit Brennwertkessel ausfällt. Dies wird in Abbildung 58 mit dem Szenario 5, das das Verhältnis der aktuellen durchschnittlichen Energiepreise für Haushaltsstromtarif und Erdgas beschreibt, verdeutlicht. Dabei erreicht die Wärmepumpe einen Deckungsanteil von ca. 1 % bis ca. 18 %.

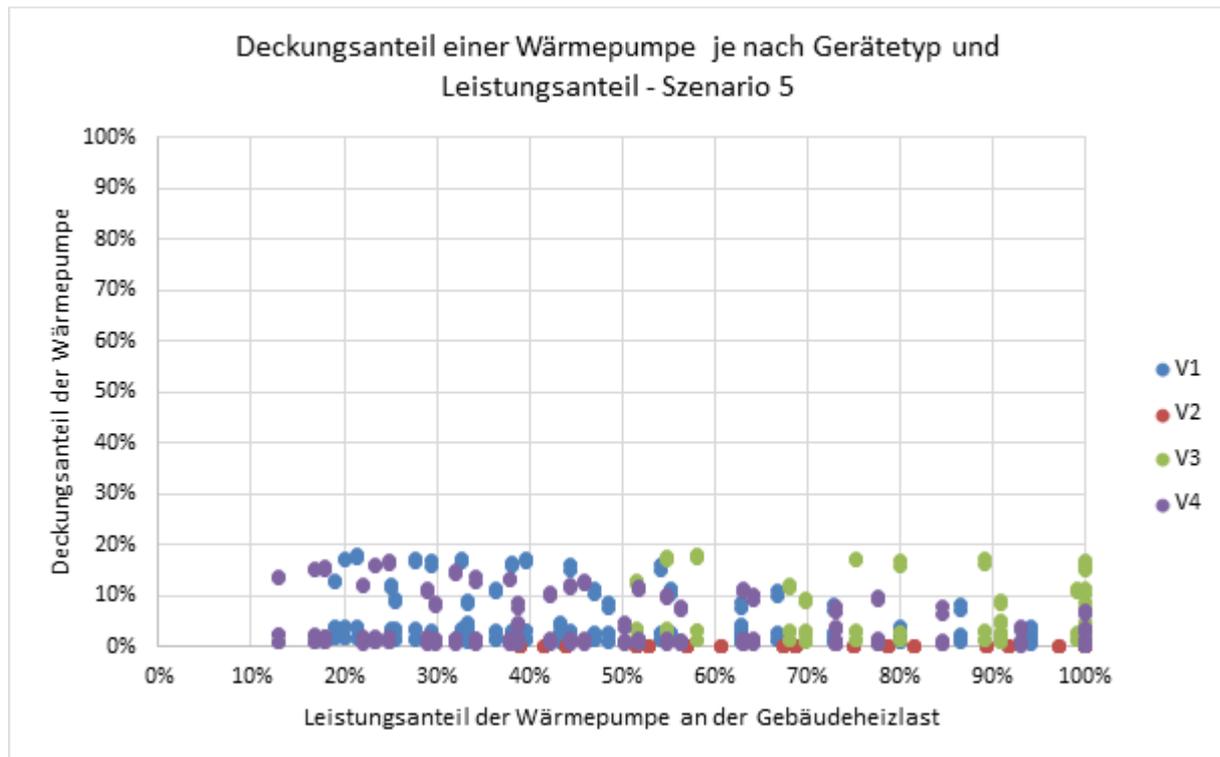


Abbildung 58: Deckungsanteil einer Wärmepumpe je nach Gerätetyp (V1 bis V4) und Leistungsanteil - Szenario 5, entsprechend dem Verhältnis der aktuellen Primärenergiefaktoren für die Energieträger Strom und Erdgas

Der Leistungsanteil beeinflusst insbesondere bei hohen Systemtemperaturen kaum den Deckungsanteil. Das wird exemplarisch am Beispiel des Geräts V1 in Abbildung 59 dargestellt. Unter Zugrundelegung des gemäß dem Szenario 5 unterstellten Verhältnisses der Kennwerte von Strom und Erdgas ($f_{\text{Strom}/i} = 5$) beeinflussen die Systemtemperaturen den Deckungsanteil maßgeblich. Der Deckungsanteil bei einer Systemtemperatur von 70/55°C liegt im Mittel beim 0,43-fachen des Wertes für eine Systemtemperatur von 55/45°C, bei einer Systemtemperatur von 35/28°C dagegen im Mittel beim 3,5-fachen.

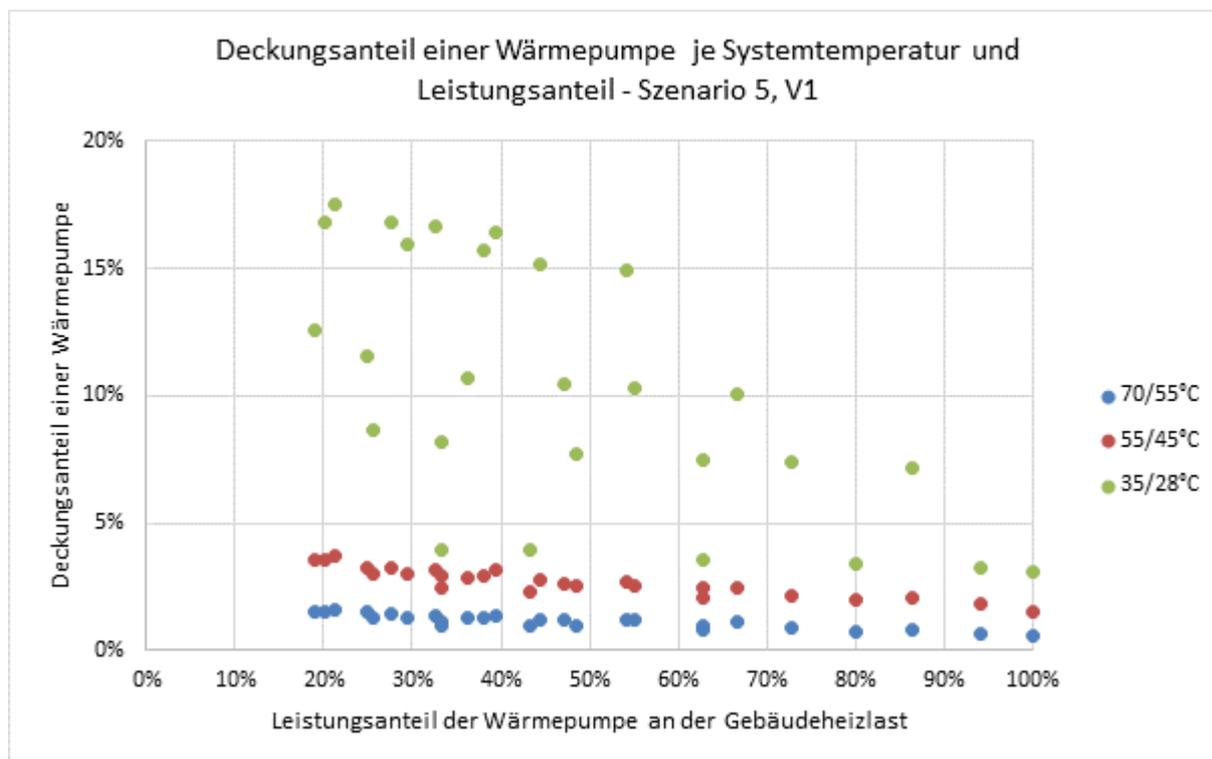


Abbildung 59: Einfluss der Systemtemperaturen auf Deckungsanteil einer Wärmepumpe, exemplarisch V1 - Szenario 5, entsprechend dem Verhältnis der aktuellen Energiepreise für die Energieträger Strom und Erdgas

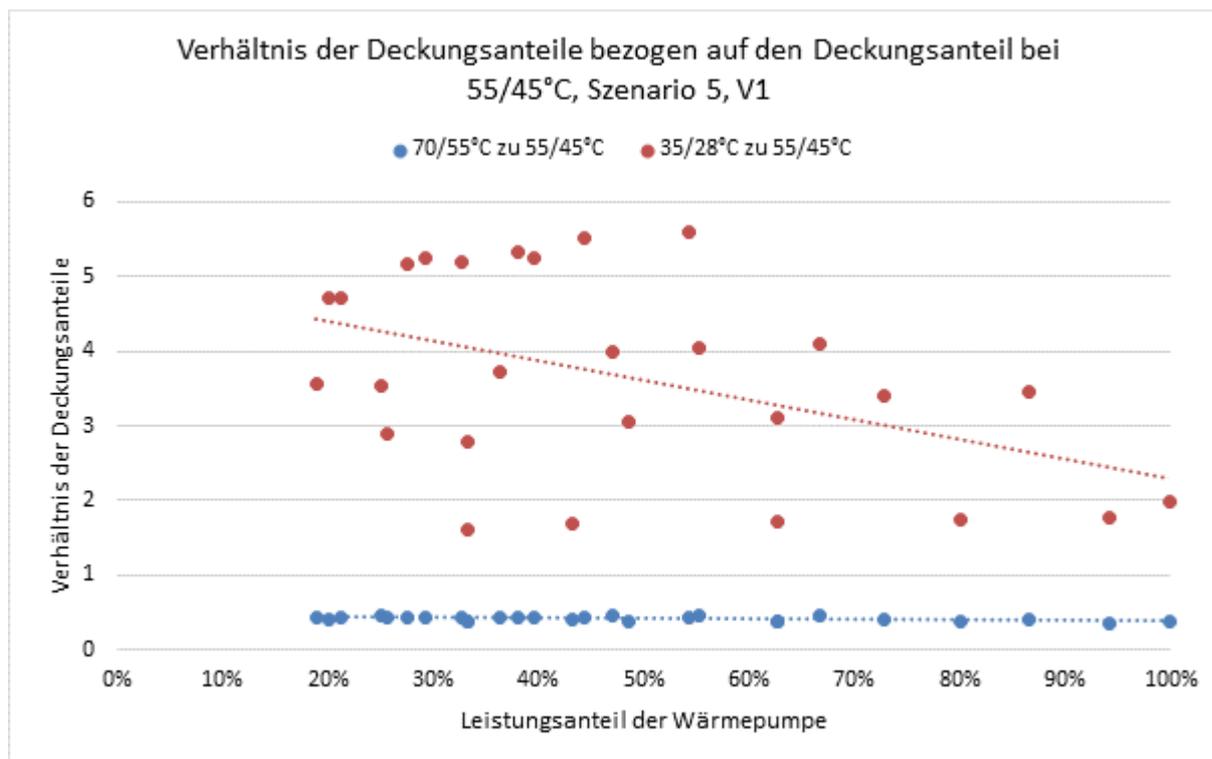


Abbildung 60: Verhältnis der Deckungsanteile bei Systemtemperatur von 70/55°C und 35/28°C bezogen auf den Deckungsanteil bei 55/45°C, Szenario 5, V1, entsprechend dem Verhältnis der aktuellen Energiepreise für die Energieträger Strom und Erdgas

In Abbildung 61 bis Abbildung 65 wird die mögliche Bandbreite resultierender Werte bei abweichenden Kennwerten (z.B. THG-Emissionen statt PE-Bedarf, Erdgas-Biomethan-Gemisch statt Erdgas) bzw. anderen Energiepreisverhältnissen ausgewiesen. Dabei wird zunächst der Deckungsanteil für das Szenario 2 dargestellt, bei dem der Kennwert von Strom doppelt so hoch ist wie der Kennwert von Gas ($f_{\text{Strom/i}} = 2$). Die resultierenden Deckungsanteile

und die Abhängigkeit von der Systemtemperatur sind mit dem Szenario 1 vergleichbar. Der resultierende Deckungsanteil der Wärmepumpe entspricht dem technisch möglichen Deckungsanteil der Wärmepumpe.

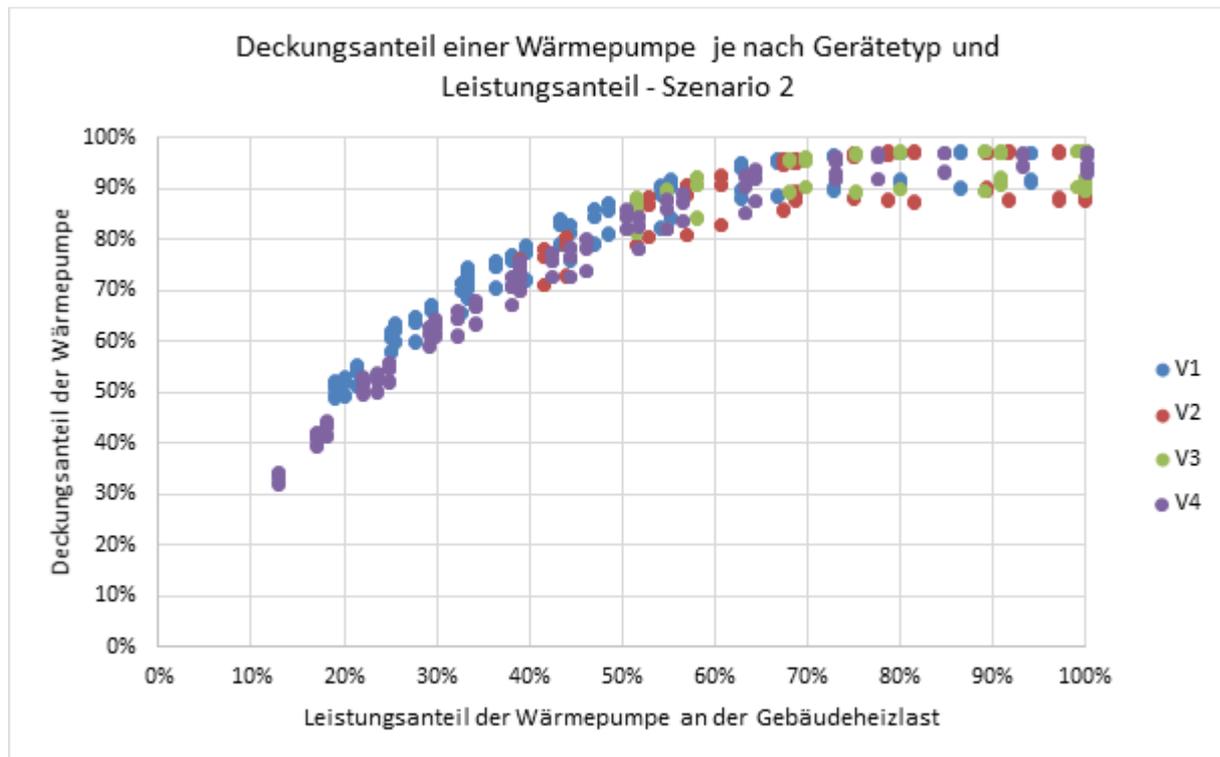


Abbildung 61: Deckungsanteil einer Wärmepumpe je nach Gerätetyp (V1 bis V4) und Leistungsanteil - Szenario 2, wenn Kennwert Strom doppelt so hoch ist wie Kennwert Gas

In dem Szenario 3 wird unterstellt, dass der Kennwert von Strom dreifach so hoch ist wie der Kennwert von Gas ($f_{\text{Strom/i}} = 3$). Die resultierenden Deckungsanteile der Wärmepumpe sind tendenziell niedriger als bei den Szenarien 1 und 2, da der Betrieb des Brennwertkessels insbesondere bei hohen Systemtemperaturen und niedrigen Außentemperaturen günstiger ist als die Wärmebereitstellung über die Wärmepumpe. Unter Zugrundelegung des gemäß dem Szenario 3 unterstellten Verhältnisses der Kennwerte von Strom und Gas ($f_{\text{Strom/i}} = 3$) ist der Einfluss der Systemtemperaturen auf den Deckungsanteil stärker ausgeprägt als in den Szenarien 1 und 2. Der Deckungsanteil bei einer Systemtemperatur von 70/55°C liegt im Mittel beim 0,9-Fachen des Wertes für eine Systemtemperatur von 55/45°C, bei einer Systemtemperatur von 35/28°C dagegen im Mittel bei 1,4-Fachen (vgl. Abbildung 62, Abbildung 63).

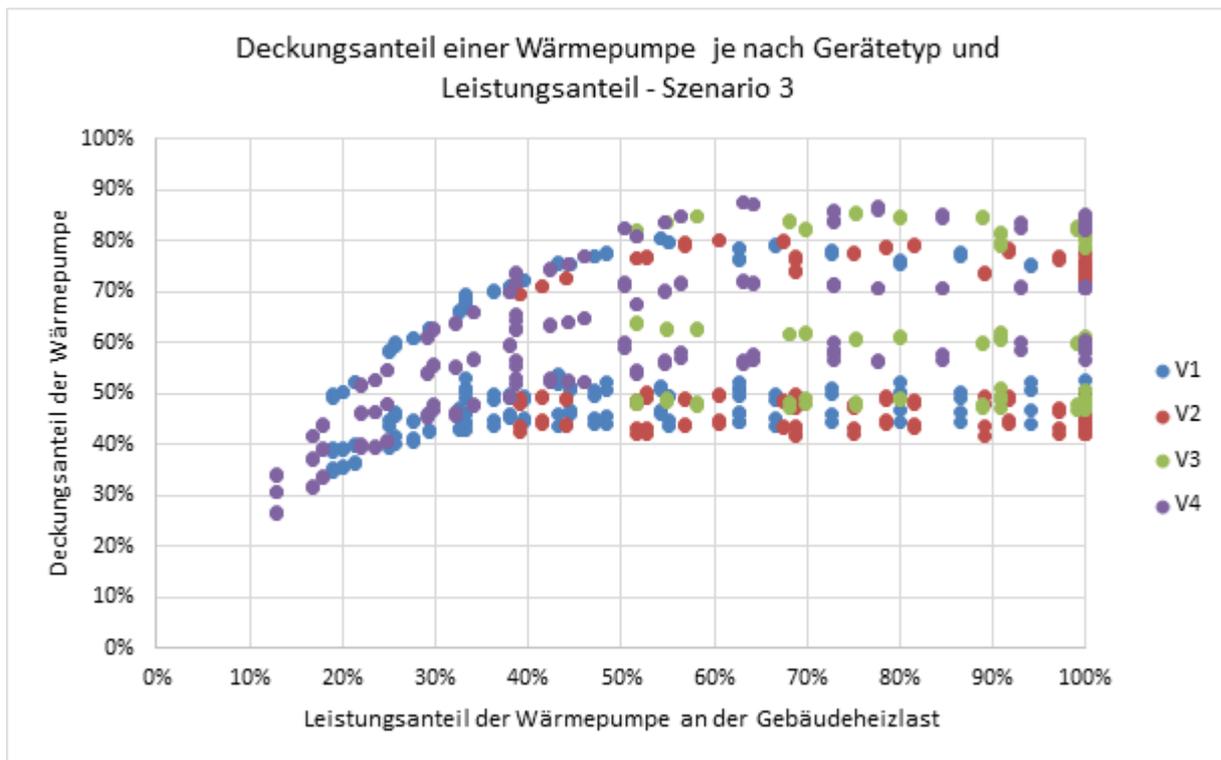


Abbildung 62: Deckungsanteil einer Wärmepumpe je nach Gerätetyp (V1 bis V4) und Leistungsanteil – Szenario 3, wenn Kennwert Strom 3-fach so hoch ist wie Kennwert Gas

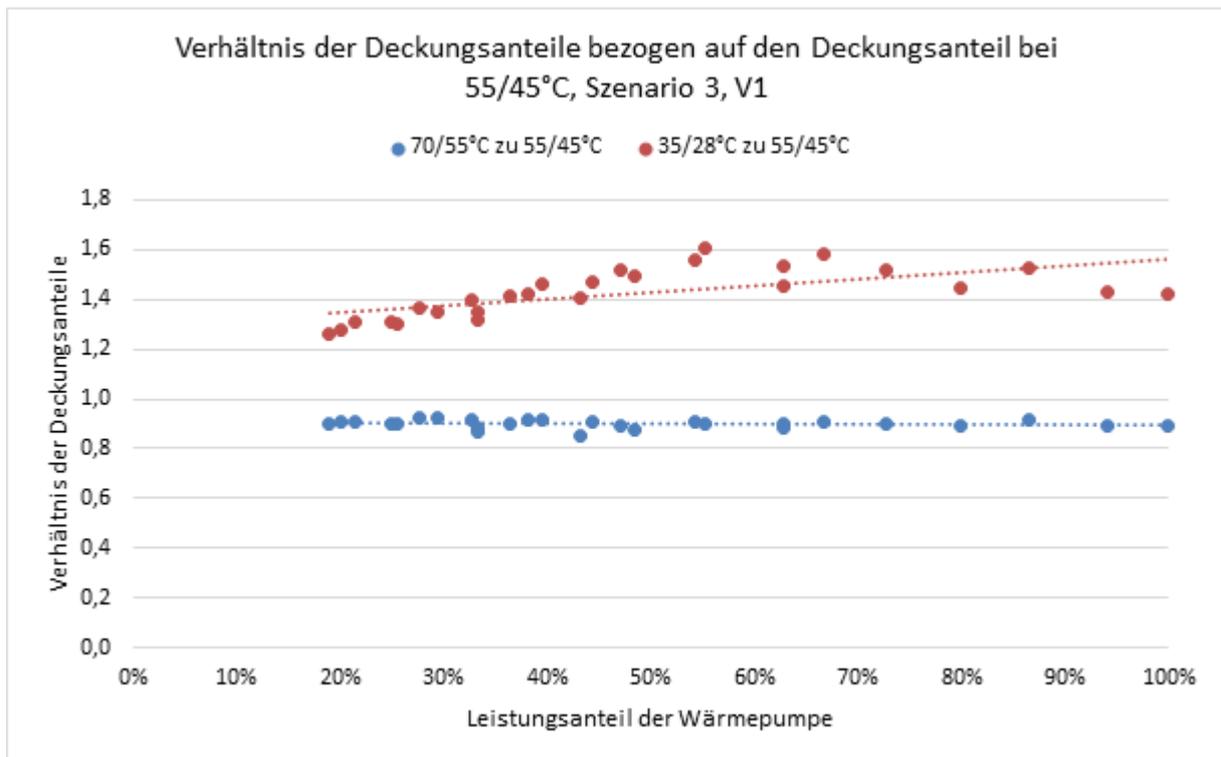


Abbildung 63: Verhältnis der Deckungsanteile bei Systemtemperatur von 70/55°C und 35/28°C bezogen auf den Deckungsanteil bei 55/45°C, Szenario 3, V1, wenn Kennwert Strom 3-fach so hoch ist wie Kennwert Gas

Dem Szenario 4 liegt ein für die häufigere Wärmebereitstellung mit dem Brennwertkessel statt mit der Wärmepumpe günstigeres Verhältnis der Kennwerte zwischen Strom und Gas ($f_{\text{Strom/G}}=4$) zugrunde. Die Deckungsanteile der Wärmepumpe liegen zwischen rund 5% und 40% und variieren z. T. stark bei gleichen Leistungsanteilen. Das ist neben dem Einfluss der Systemtemperaturen auf den Anteil der Erzeugernutzwärmeabgabe für Trinkwarmwasser an der gesamten Wärmeabgabe zurückzuführen. Unter Zugrundelegung des gemäß dem Szenario 4 unterstellten

Verhältnisses der Kennwerte von Strom und Gas von $f_{\text{Strom/i}} = 4$ ist die Warmwasserbereitung über Brennwertkessel günstiger, als über die Wärmepumpe. Damit ist der Deckungsanteil bei Gebäuden mit höherem Anteil des Trinkwarmwassers an der gesamten Wärmeerzeugung tendenziell niedriger. Der Einfluss der Systemtemperaturen auf den Deckungsanteil ist vergleichbar mit Szenario 3 und damit stärker ausgeprägt als in den Szenarien 1 und 2. Der Deckungsanteil bei Systemtemperatur von 70/55°C liegt im Mittel bei 0,8-fachen des Wertes für Systemtemperatur von 55/45°C, bei Systemtemperatur von 35/28°C dagegen im Mittel bei 1,3-fachen (vgl. Abbildung 64, Abbildung 65).

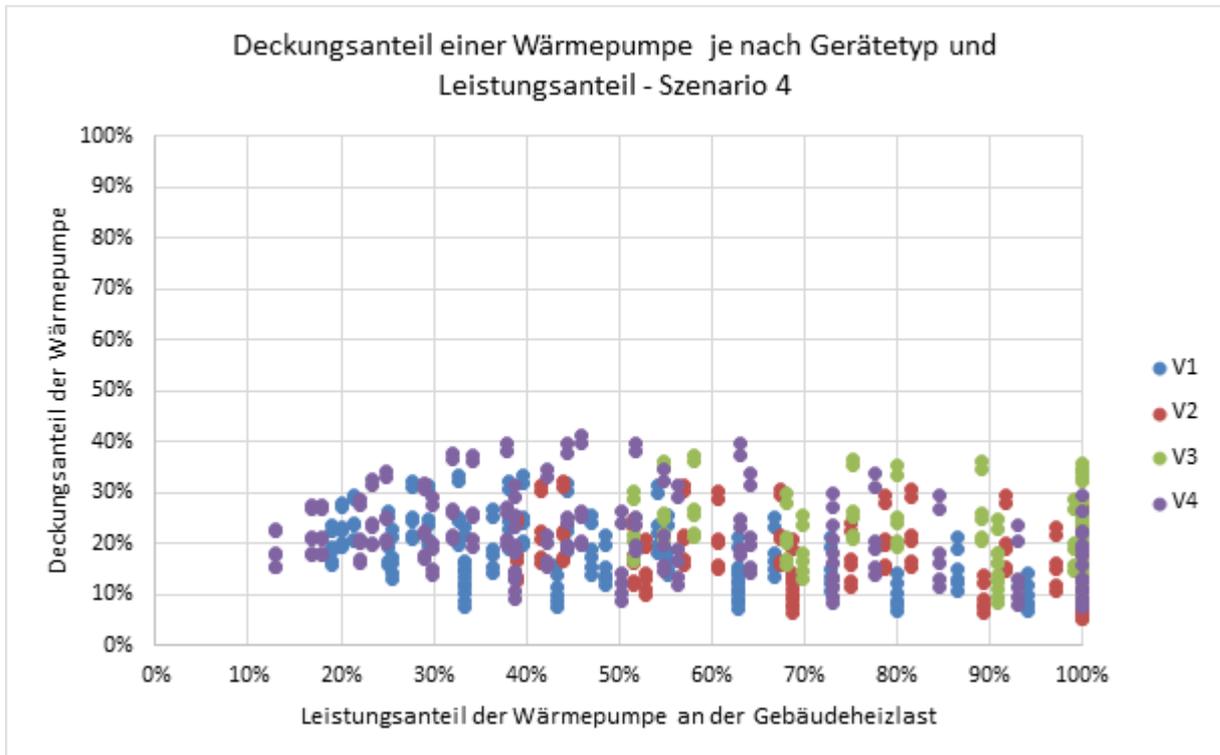


Abbildung 64: Deckungsanteil einer Wärmepumpe je nach Gerätetyp (V1 bis V4) und Leistungsanteil - Szenario 4, wenn Kennwert Strom 4-fach so hoch ist wie Kennwert Gas

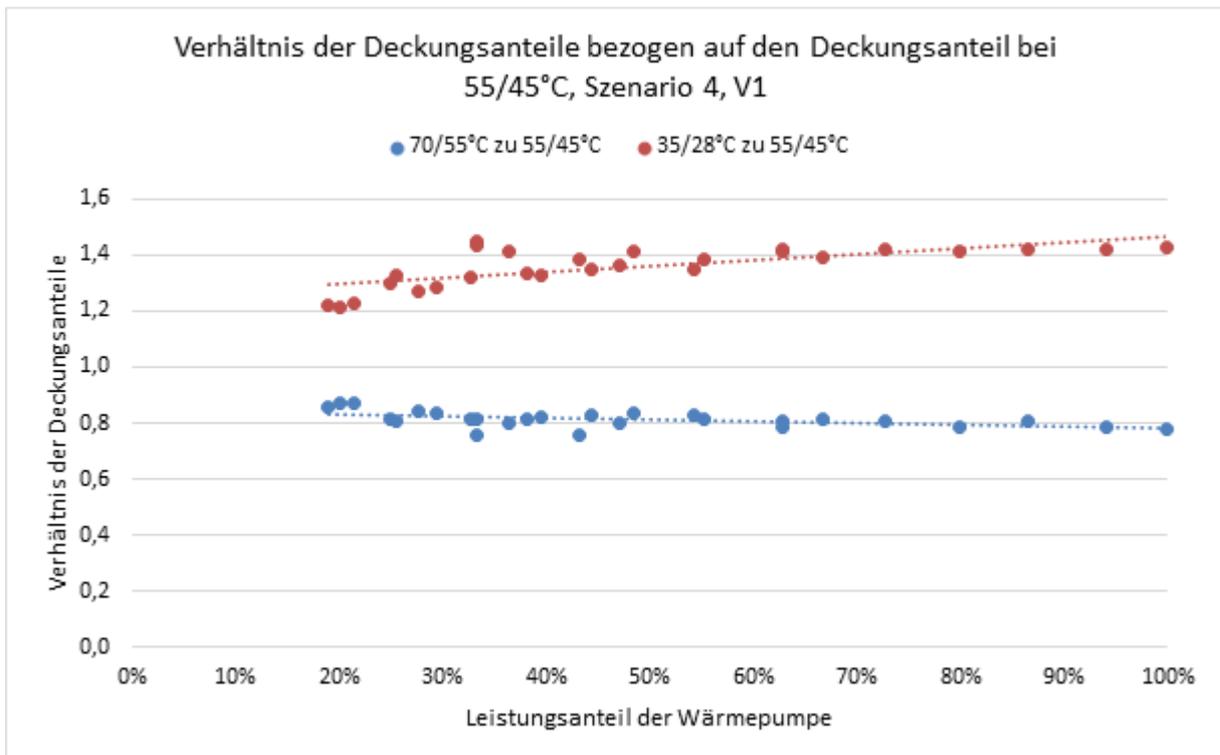


Abbildung 65: Verhältnis der Deckungsanteile bei Systemtemperatur von 70/55°C und 35/28°C bezogen auf den Deckungsanteil bei 55/45°C, Szenario 4, V1, wenn Kennwert Strom 4-fach so hoch ist wie Kennwert Gas

5.4.2.3.3 TWE ausschließlich über Brennwertkessel

Im Folgenden werden die Ergebnisse für resultierende Deckungsanteile der Wärmepumpe im Fall einer übergeordneten Regelungsstrategie, die die Trinkwarmwassererwärmung ausschließlich über den Brennwertkessel vorsieht, ausgewiesen. Den Berechnungen werden die Gerätevarianten V5 und V6 aus Tabelle 28 zugrunde gelegt, da diese unter den aktuell marktverfügbaren Hybrid-Kompaktgeräten mit dieser übergeordneten Regelungsstrategie betrieben werden.

Dabei werden die Ergebnisse nur für Szenarien 1 bis 3 dargestellt, da bei den Szenarien 4 und 5 die Warmwassererwärmung ohnehin vollständig über den Brennwertkessel erfolgt.

Für die zwei betrachteten Gerätetypen werden die resultierenden Deckungsanteile einer Wärmepumpe unter Berücksichtigung der übergeordneten Regelungsstrategie zur Trinkwassererwärmung und des Verhältnisses der aktuellen Primärenergiefaktoren für die Energieträger Strom und Erdgas als zusätzliches Regelungskriterium in folgender Abbildung dargestellt. Die gleichen Ergebnisse resultieren im Szenario 2, bei dem der Kennwert von Strom doppelt so hoch ist, wie der Kennwert von Erdgas. Erwartungsgemäß steigt der Deckungsanteil der Wärmepumpe mit steigendem Leistungsanteil der Wärmepumpe an der Gebäudeheizlast, erreicht jedoch ab einem Leistungsanteil von ca. 60% maximal 85%. Auffällig ist, dass bei den hohen Leistungsanteilen, insbesondere bei 100%, die Spannweite der erreichbaren Deckungsanteile relativ groß ist. Die differierenden Deckungsanteile sind insbesondere auf die Höhe des Anteils der Erzeugernutzwärmeabgabe für Trinkwarmwasser an der gesamten Erzeugernutzwärmeabgabe zurückzuführen (vgl. Abbildung 67). Darüber hinaus beeinflussen die Systemtemperaturen den Deckungsanteil der Wärmepumpe geringfügig mehr im Vergleich zum Szenario 1 ohne Einschränkung für die Trinkwassererwärmung. Der Deckungsanteil bei einer Systemtemperatur von 70/55°C liegt im Mittel beim 0,91-Fachen des Wertes für eine Systemtemperatur von 55/45°C, bei einer Systemtemperatur von 35/28°C dagegen im Mittel beim 1,12-Fachen (vgl. Abbildung 68).

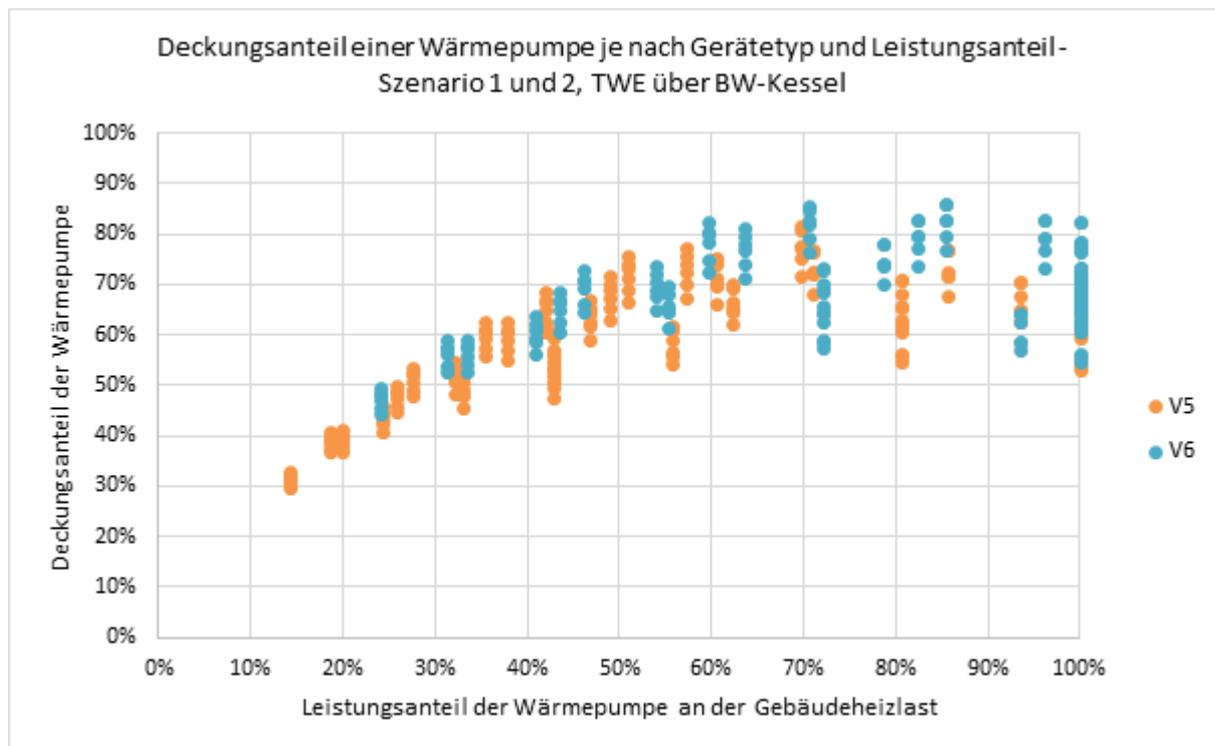


Abbildung 66: Deckungsanteil einer Wärmepumpe nach Gerätetyp (V5, V6) und Leistungsanteil - Szenario 1, entsprechend dem Verhältnis der aktuellen Primärenergiefaktoren für die Energieträger Strom und Erdgas und Szenario 2, wenn Kennwert Strom doppelt so hoch ist wie Kennwert Gas, TWE ausschließlich über Brennwertkessel

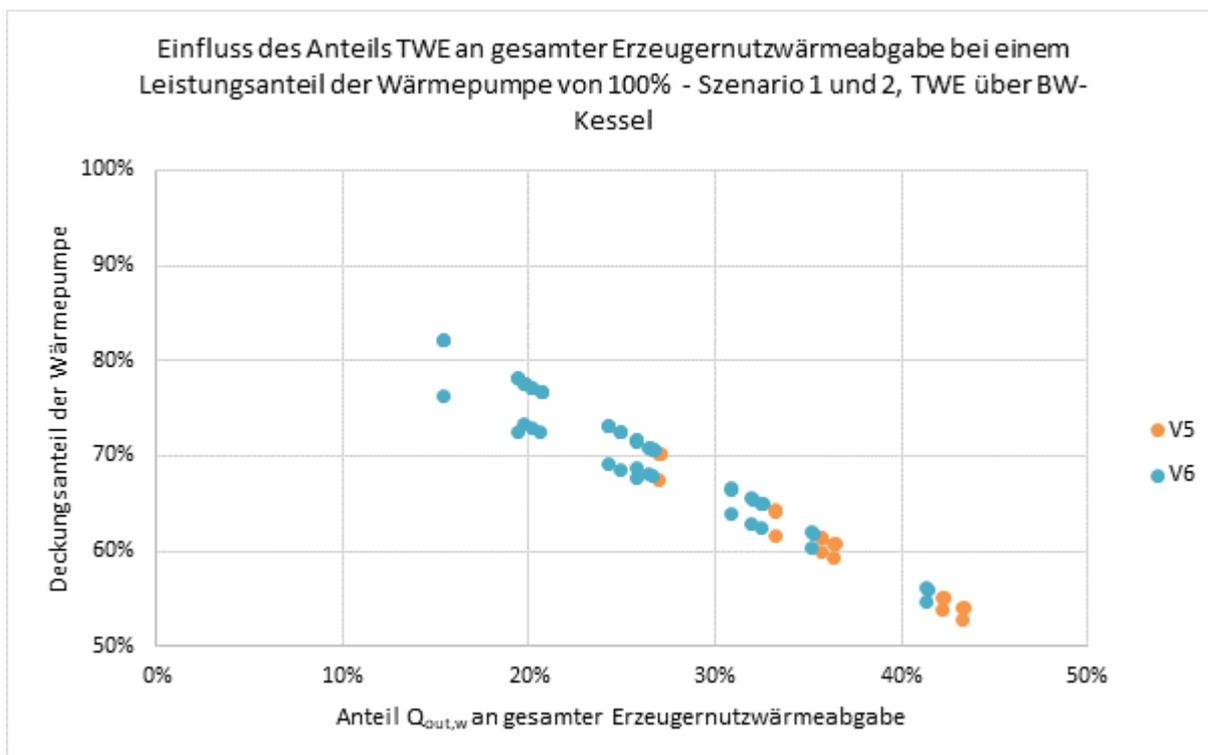


Abbildung 67: Deckungsanteil einer Wärmepumpe nach Gerätetyp (V5, V6) in Abhängigkeit des Anteils der Erzeugernutzwärmeabgabe für Trinkwarmwasser an der gesamten Erzeugernutzwärmeabgabe bei einem Leistungsanteil der Wärmepumpe von 100%- Szenario 1, entsprechend dem Verhältnis der aktuellen Primärenergiefaktoren für die Energieträger Strom und Erdgas und Szenario 2, wenn Kennwert Strom doppelt so hoch ist wie Kennwert Gas, TWE ausschließlich über Brennwärerkessel

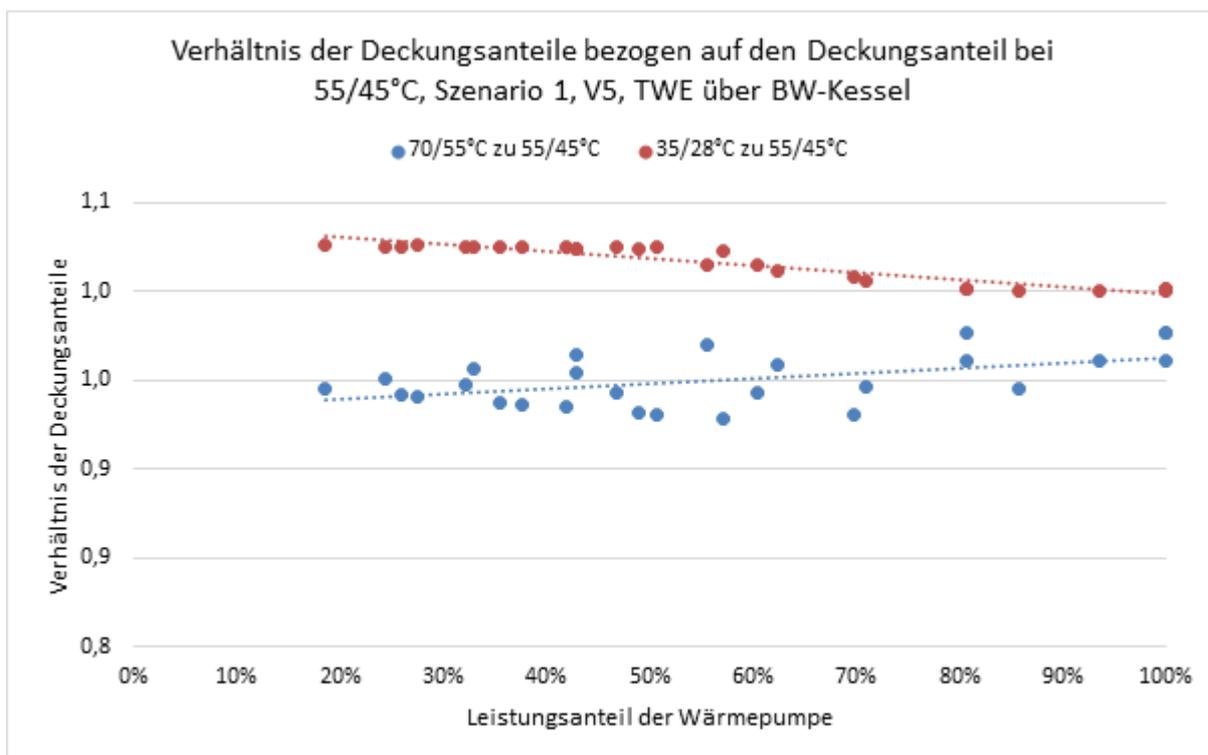


Abbildung 68: Verhältnis der Deckungsanteile bei Systemtemperatur von 70/55°C und 35/28°C bezogen auf den Deckungsanteil bei 55/45°C, Szenario 1, V5, entsprechend dem Verhältnis der aktuellen Primärenergiefaktoren für die Energieträger Strom und Erdgas und Szenario 2, wenn Kennwert Strom doppelt so hoch ist wie Kennwert Gas, TWE ausschließlich über Brennwärerkessel

Im Szenario 3 wird unterstellt, dass der Kennwert von Strom dreifach so hoch ist wie der Kennwert von Gas ($f_{\text{Strom/i}} = 3$). Die resultierenden Deckungsanteile der Wärmepumpe sind damit analog den Ergebnissen im Abschnitt 5.4.2.3.2 tendenziell niedriger als bei den Szenarien 1 und 2, da der Betrieb des Brennwärerkessels insbesondere bei hohen Systemtemperaturen und niedrigen Außentemperaturen günstiger ist als die Wärmebereitstellung über die

Wärmepumpe. Der Deckungsanteil der Wärmepumpe erreicht ab einem Leistungsanteil von ca. 60% maximal ca. 80%. In diesem Bereich ist jedoch die Spannweite der erreichbaren Deckungsanteile relativ groß. Der Einfluss der Höhe des Anteils der Erzeugernutzwärmeabgabe für Trinkwarmwasser an der gesamten Erzeugernutzwärmeabgabe wird am Beispiel des Geräts V6 für den Leistungsanteil 100% für die drei unterstellten Systemtemperaturen in Abbildung 70 verdeutlicht.

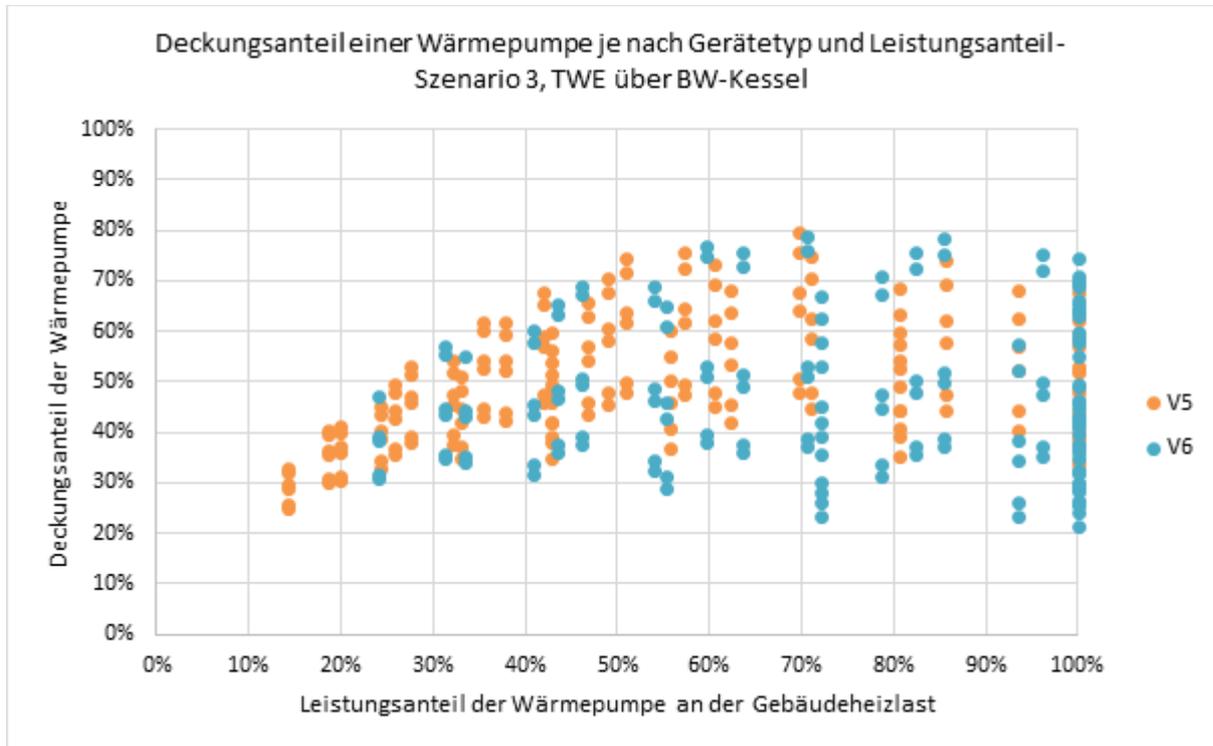


Abbildung 69: Deckungsanteil einer Wärmepumpe nach Gerätetyp (V5, V6) und Leistungsanteil - Szenario 2, wenn Kennwert Strom 3-fach so hoch ist wie Kennwert Gas, TWE ausschließlich über Brennwärtekessel

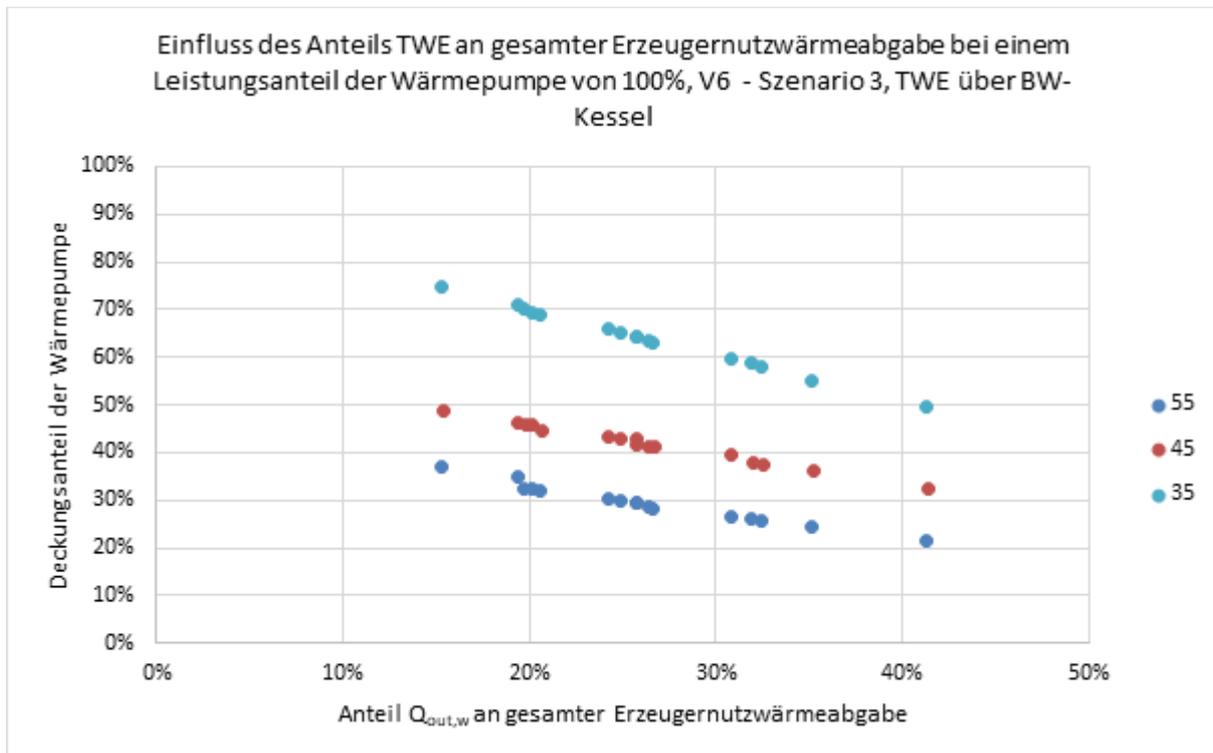


Abbildung 70: Deckungsanteil einer Wärmepumpe (V6) in Abhängigkeit des Anteils der Erzeugernutzwärmeabgabe für Trinkwarmwasser an der gesamten Erzeugernutzwärmeabgabe bei einem Leistungsanteil der Wärmepumpe von 100% - Szenario 3, wenn Kennwert Strom 3-fach so hoch ist wie Kennwert Gas, TWE ausschließlich über Brennwärtekessel

Den grundsätzlichen Zusammenhang zwischen der Systemtemperatur und dem resultierenden Deckungsanteil der Wärmepumpe stellt Abbildung 71 anhand des Geräts V5 dar. Bei dem unterstellten Verhältnis der Kennwerte von Strom und Gas ist der Einfluss der Systemtemperaturen auf den Deckungsanteil stärker ausgeprägt als in den Szenarien 1 und 2. Der Deckungsanteil bei einer Systemtemperatur von 70/55°C liegt im Mittel beim 0,8-Fachen des Wertes für eine Systemtemperatur von 55/45°C, bei einer Systemtemperatur von 35/28°C dagegen im Mittel beim 1,17-Fachen.

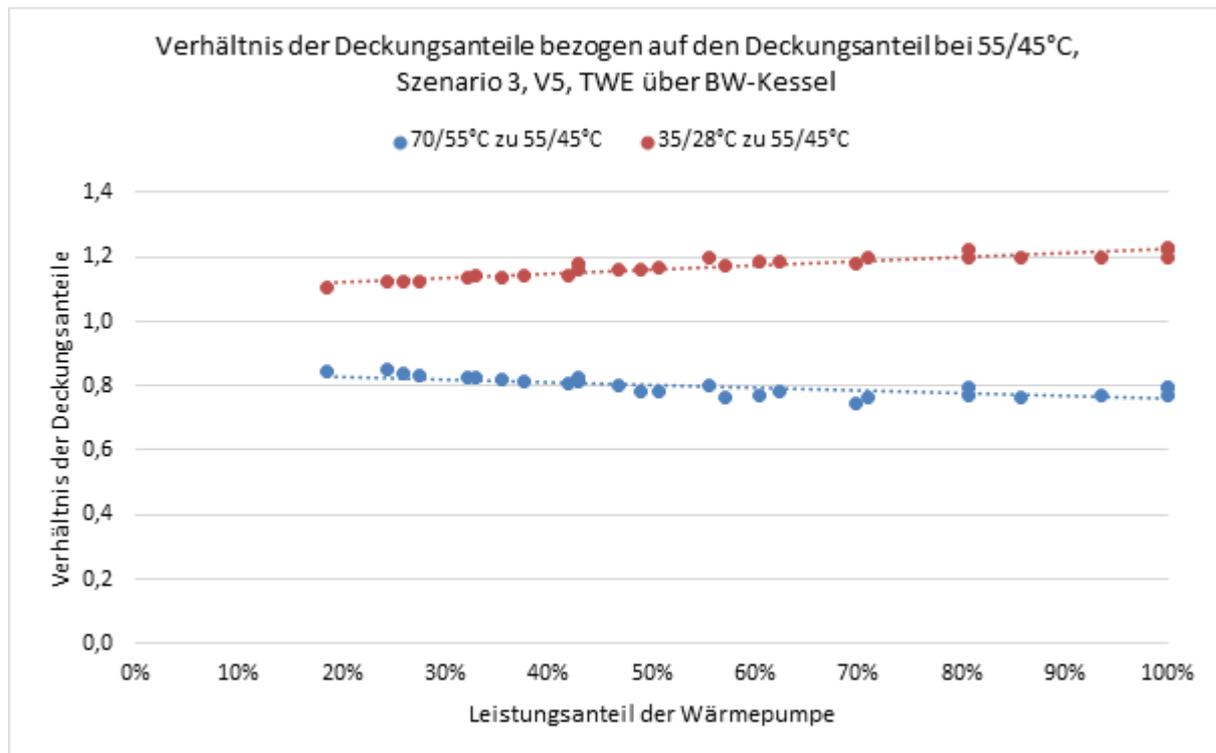


Abbildung 71: Verhältnis der Deckungsanteile bei Systemtemperatur von 70/55°C und 35/28°C bezogen auf den Deckungsanteil bei 55/45°C, Szenario 3, wenn Kennwert Strom 3-fach so hoch ist wie Kennwert Gas, TWE ausschließlich über Brennwärmerkessel

5.4.2.4 Verfahren zur Bestimmung des Deckungsanteils

5.4.2.4.1 Einführende Bemerkungen

Basierend auf den Berechnungsergebnissen wird für die marktüblichen Hybrid-Kompaktgeräte, die eine Luft-Wasser-WP und einen gasbetriebenen Brennwärmerkessel in einem Gerät beinhalten und mit unterschiedlichen Regelungsstrategien betrieben werden können, ein vereinfachter Ansatz zur Bestimmung des Deckungsanteils der Wärmepumpe vorgeschlagen.

Der Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem $\kappa_{h, hp}$ wird dabei in Abhängigkeit des Leistungsanteils der Wärmepumpe an der Gebäudeheizlast α_{hp} und des Verhältnisses der Kennwerte für Strom und Gas $f_{Strom/i}$ sowie der Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingungen θ_{VA} berechnet.

Der Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Trinkwarmwassersystem $\kappa_{w, hp}$ ist in Abhängigkeit der übergeordneten Regelungsstrategie, des Leistungsanteils der Wärmepumpe an der Gebäudeheizlast α_{hp} und des Verhältnisses der Kennwerte für Strom und Gas $f_{Strom/i}$ zu bestimmen.

Alternativ zu Abschnitt 5.4.2.4.2, der eine Berechnung mit unterschiedlichen Deckungsanteilen der Wärmepumpe für Heizung $\kappa_{h, hp}$ und Trinkwarmwasser $\kappa_{w, hp}$ vorsieht, wird in Abschnitt 5.4.2.4.3 ein Vorschlag für eine Berechnung mit einem einheitlichen Deckungsanteil der Wärmepumpe κ_{hp} für Heizung und Trinkwarmwasser abgebildet, dieser kann allerdings nur dann angewendet werden, wenn die Trinkwarmwassererwärmung über beide Wärmeerzeuger des Hybrid-Kompaktgeräts grundsätzlich möglich ist.

Erfolgt die Trinkwassererwärmung bedingt durch eine übergeordnete Vorgabe ausschließlich über den Brennwertkessel, ist der Berechnungsansatz nach Abschnitt 5.4.2.4.2 zu verwenden.

5.4.2.4.2 Deckungsanteile der Wärmepumpe für Heizung und Trinkwarmwasser

Heizung – DIN V 18599-5

Der Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem $\kappa_{h, hp}$ ist in Abhängigkeit des Leistungsanteils der Wärmepumpe an der Gebäudeheizlast α_{hp} und des Verhältnisses der Kennwerte für Strom und Gas $f_{Strom/i}$ sowie der Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingungen θ_{VA} zu bestimmen.

Bei einer ökonomisch optimierten Betriebsweise ist das Verhältnis der Kennwerte anhand der Energiepreise wie folgt zu bestimmen

$$f_{Strom/i} = \frac{k_{Strom}}{k_{Gas}}$$

Dabei ist

$f_{Strom/i}$	Verhältnis der Kennwerte von Strom und Gas
k_{Strom}	Arbeitspreis von Strom, in ct/kWh
k_{Gas}	heizwertbezogener Arbeitspreis von Gas, in ct/kWh

Bei einer ökologisch optimierten Betriebsweise sind anstelle der Energiepreise die Primärenergiefaktoren bzw. die THG-Emissionsfaktoren für Strom und Gas einzusetzen.

Der Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem $\kappa_{h, hp}$ berechnet sich zu

$$\kappa_{h, hp} = \kappa_{h, hp, 55} \cdot f_{\theta, VA}$$

Dabei ist

$\kappa_{h, hp}$	auf die projektspezifische Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingungen korrigierte Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem
$\kappa_{h, hp, 55}$	der Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem für eine Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingungen von $\theta_{VA} = 55^\circ\text{C}$ nach Tabelle 30 unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors für den Anteil der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Trinkwarmwassersystem $Q_{w, outg}$ an der gesamten Erzeugernutzwärmeabgabe Q_{outg} nach Tabelle 31, Zwischenwerte sind zu interpolieren.
$f_{\theta, VA}$	der Korrekturfaktor für die Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingungen nach Tabelle 32, Zwischenwerte sind zu interpolieren.

Für Auslegungstemperaturen $\theta_{VA} < 35^\circ\text{C}$ sind die Werte für $\theta_{VA} = 35^\circ\text{C}$ zu verwenden. Für Auslegungstemperaturen $\theta_{VA} > 70^\circ\text{C}$ ist der pauschale Ansatz nicht geeignet. Der Deckungsanteil muss projektspezifisch berechnet werden.

Der Leistungsanteil der Wärmepumpe ist wie folgt zu ermitteln:

$$\alpha_{hp} = \frac{\Phi_{hp, A-7/W35}}{\Phi_{h, max}}$$

Dabei ist

- α_{hp} der Leistungsanteil der Wärmepumpe
- $\Phi_{hp, A-7/W35}$ die Heizleistung der Wärmepumpe am Prüfpunkt A-7/W35, in kW
- $\Phi_{h,max}$ die maximale Gebäudeheizlast bei Auslegungsbedingungen, in kW

Tabelle 30: Deckungsanteil der Wärmepumpe in Abhängigkeit des Leistungsanteils und des Verhältnisses der Kennwerte

Deckungsanteil der Wärmepumpe $\kappa_{h, hp}$ bei $\theta_{VA} = 55^\circ\text{C}$						
Leistungsanteil der Wärmepumpe α_{Hp}	Verhältnis der Kennwerte $f_{Strom/i}$					
	$\leq 1,64$	2	3	4	5	> 5
0,15	0,4	0,4	0,37	$0,21 \cdot f_w$	0,04	0
0,2	0,51	0,51	0,39	$0,21 \cdot f_w$	0,04	0
0,3	0,65	0,65	0,41	$0,21 \cdot f_w$	0,04	0
0,4	0,75	0,75	0,42	$0,21 \cdot f_w$	0,04	0
0,5	0,85	0,85	0,43	$0,22 \cdot f_w$	0,04	0
0,6	0,92	0,92	0,44	$0,22 \cdot f_w$	0,04	0
0,7	0,96	0,96	0,44	$0,22 \cdot f_w$	0,04	0
0,8	0,96	0,96	0,44	$0,22 \cdot f_w$	0,03	0
1	0,96	0,96	0,44	$0,23 \cdot f_w$	0,03	0

Tabelle 31: Korrekturfaktor f_w für den Anteil $Q_{w, outg}$ an der gesamten Erzeugernutzwärmeabgabe Q_{outg}

Trinkwarmwasseranteil $\alpha_{w, outg}$	Korrekturfaktor für Trinkwarmwasseranteil f_w
0,1	1,40
0,2	1,15
0,3	0,95
0,35	0,85
$> 0,35$	0,85

Tabelle 32: Korrekturfaktor für die Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingungen $f_{\theta, VA}$

Korrekturfaktor für die Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingungen $f_{\theta, VA}$									
Leistungsanteil der Wärmepumpe α_{hp}	Verhältnis der Kennwerte $f_{Strom/i}$								
	alle	≤ 2		3		4		5	
	$\theta_{VA}=55^\circ\text{C}$	$\theta_{VA}=70^\circ\text{C}$	$\theta_{VA}=35^\circ\text{C}$	$\theta_{VA}=70^\circ\text{C}$	$\theta_{VA}=35^\circ\text{C}$	$\theta_{VA}=70^\circ\text{C}$	$\theta_{VA}=35^\circ\text{C}$	$\theta_{VA}=70^\circ\text{C}$	$\theta_{VA}=35^\circ\text{C}$
0,15	1,0	0,95	1,03	0,88	1,33	0,84	1,20	0	4,3
0,2	1,0	0,95	1,02	0,88	1,35	0,83	1,22	0	4,2
0,3	1,0	0,95	1,02	0,86	1,50	0,83	1,31	0	4,0
0,4	1,0	0,95	1,02	0,85	1,60	0,82	1,33	0	3,8
0,5	1,0	0,96	1,01	0,83	1,70	0,81	1,35	0	3,6
0,6	1,0	0,96	1,01	0,81	1,80	0,81	1,37	0	3,5
0,7	1,0	0,96	1,01	0,80	1,90	0,80	1,40	0	3,3
0,8	1,0	0,96	1,00	0,78	2,00	0,80	1,40	0	3,1
1	1,0	0,97	1,00	0,75	2,00	0,80	1,40	0	2,8

Randbedingungen für die Standardwerte

Ist die Regelungsstrategie (ökonomisch bzw. ökologisch) bzw. sind die dazugehörigen Kennwerte nicht bekannt, kann als Standardwert das Verhältnis der Kennwerte $f_{\text{Strom/i}} = 3$ angenommen werden.

Liegen keine Produktkennwerte vor, so kann für die Berechnung des Leistungsanteils der Wärmepumpe die Heizleistung der Wärmepumpe am Prüfpunkt A-7/W35 mit $\Phi_{hp, A-7/W35} 3,0 \text{ kW}$ angenommen werden.

Trinkwarmwasser – DIN V 18599-8

Erfolgt die Trinkwassererwärmung bedingt durch eine übergeordnete Vorgabe ausschließlich über den Brennwertkessel, dann ist der Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe für das Trinkwarmwassersystem $\kappa_{w, hp} = 0$.

Wenn die Trinkwarmwassererwärmung über beide Wärmeerzeuger des Hybrid-Kompaktgeräts grundsätzlich möglich ist, wird der Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Trinkwarmwassersystem $\kappa_{w, hp}$ in Abhängigkeit des Leistungsanteils der Wärmepumpe an der Gebäudeheizlast α_{hp} und des Verhältnisses der Kennwerte für Strom und Gas $f_{\text{Strom/i}}$ nach Tabelle 33 bestimmt.

Tabelle 33: Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Trinkwarmwassersystem $\kappa_{w, hp}$ in Abhängigkeit des Leistungsanteils und des Verhältnisses der Kennwerte

Deckungsanteil der Wärmepumpe an das Trinkwarmwassersystem $\kappa_{w, hp}$						
Leistungsanteil der Wärmepumpe α_{hp}	Verhältnis der Kennwerte $f_{\text{Strom/i}}$					
	$\leq 1,64$	2	3	4	5	> 5
0,15	0,45	0,45	0,52	0	0	0
0,2	0,54	0,54	0,55	0	0	0
0,3	0,64	0,64	0,66	0	0	0
0,4	0,72	0,72	0,69	0	0	0
0,5	0,8	0,8	0,72	0	0	0
0,6	0,86	0,86	0,73	0	0	0
0,7	0,95	0,95	0,74	0	0	0
0,8	0,97	0,97	0,74	0	0	0
1	0,99	0,99	0,74	0	0	0

Randbedingungen für die Standardwerte

Ist die Regelungsstrategie (ökonomisch bzw. ökologisch) bzw. sind die dazugehörigen Kennwerte nicht bekannt, kann als Standardwert das Verhältnis der Kennwerte $f_{\text{Strom/i}} = 3$ angenommen werden.

Liegen keine Produktkennwerte vor, so kann für die Berechnung des Leistungsanteils der Wärmepumpe die Heizleistung der Wärmepumpe am Prüfpunkt A-7/W35 mit $\Phi_{hp, A-7/W35} 3,0 \text{ kW}$ angenommen werden.

5.4.2.4.3 Deckungsanteil der Wärmepumpe an gesamter Erzeugernutzwärmeabgabe

Wenn die Trinkwarmwassererwärmung über beide Wärmeerzeuger des Hybrid-Kompaktgeräts grundsätzlich möglich ist, kann alternativ zu den Ausführungen in Abschnitt 5.4.2.4.2 der Deckungsanteil der Wärmepumpe an der gesamter Erzeugernutzwärmeabgabe bestimmt werden.

Der Deckungsanteil der Wärmepumpe an der gesamten Erzeugernutzwärmeabgabe κ_{hp} ist in Abhängigkeit des Leistungsanteils der Wärmepumpe an der Gebäudeheizlast α_{hp} und des Verhältnisses der Kennwerte für Strom und Gas $f_{\text{Strom/i}}$ sowie der Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingungen θ_{VA} zu bestimmen.

Bei einer ökonomisch optimierten Betriebsweise ist das Verhältnis der Kennwerte anhand der Energiepreise wie folgt zu bestimmen

$$f_{\text{Strom/i}} = \frac{k_{\text{Strom}}}{k_{\text{Gas}}}$$

Dabei ist

$f_{\text{Strom/i}}$	Verhältnis der Kennwerte von Strom und Gas
k_{Strom}	Arbeitspreis von Strom, in ct/kWh
k_{Gas}	heizwertbezogener Arbeitspreis von Gas, in ct/kWh

Bei einer ökologisch optimierten Betriebsweise sind anstelle der Energiepreise die Primärenergiefaktoren bzw. die THG-Emissionsfaktoren für Strom und Gas einzusetzen.

Vereinfachend wird der berechnete Deckungsanteil der Wärmepumpe an gesamter Erzeugernutzwärmeabgabe κ_{hp} in gleicher Höhe als Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem $Q_{\text{h,outg}}$ und als Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Trinkwarmwassersystem $Q_{\text{w,outg}}$ angenommen.

$$\kappa_{\text{hp}} = \kappa_{\text{h, hp}} = \kappa_{\text{w, hp}}$$

Dabei ist

- κ_{hp} der Deckungsanteil der Wärmepumpe an gesamter Erzeugernutzwärmeabgabe
- $\kappa_{\text{h, hp}}$ der Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem
- $\kappa_{\text{w, hp}}$ der Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Trinkwarmwassersystem

Der Deckungsanteil der Wärmepumpe an gesamter Erzeugernutzwärmeabgabe κ_{hp} berechnet sich zu

$$\kappa_{\text{hp}} = \kappa_{\text{hp,55}} \cdot f_{\theta, \text{VA}}$$

Dabei ist

- κ_{hp} auf die projektspezifische Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingungen korrigierte Deckungsanteil der Wärmepumpe an gesamter Erzeugernutzwärmeabgabe
- $\kappa_{\text{hp,55}}$ der Deckungsanteil der Wärmepumpe an gesamter Erzeugernutzwärmeabgabe für eine Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingungen von $\theta_{\text{VA}} = 55^\circ\text{C}$ nach Tabelle 34 unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors für den Anteil der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Trinkwarmwassersystem $Q_{\text{w,outg}}$ an der gesamten Erzeugernutzwärmeabgabe Q_{outg} nach Tabelle 35, Zwischenwerte sind zu interpolieren.
- $f_{\theta, \text{VA}}$ der Korrekturfaktor für die Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingungen nach Tabelle 36, Zwischenwerte sind zu interpolieren.

Für Auslegungstemperaturen $\theta_{\text{VA}} < 35^\circ\text{C}$ sind die Werte für $\theta_{\text{VA}} = 35^\circ\text{C}$. Für Auslegungstemperaturen $\theta_{\text{VA}} > 70^\circ\text{C}$ ist der pauschale Ansatz nicht geeignet. Der Deckungsanteil muss projektspezifisch berechnet werden.

Der Leistungsanteil der Wärmepumpe ist wie folgt zu ermitteln:

$$\alpha_{hp} = \frac{\Phi_{hp,A-7/W35}}{\Phi_{h,max}}$$

Dabei ist

α_{hp} der Leistungsanteil der Wärmepumpe

$\Phi_{hp,A-7/W35}$ die Heizleistung der Wärmepumpe am Prüfpunkt A-7/W35, in kW

$\Phi_{h,max}$ die maximale Gebäudeheizlast bei Auslegungsbedingungen, in kW

Tabelle 34: Deckungsanteil der Wärmepumpe in Abhängigkeit des Leistungsanteils und des Verhältnisses der Kennwerte

Deckungsanteil der Wärmepumpe $K_{hp,55}$ bei $\theta_{VA} = 55^\circ\text{C}$						
Leistungsanteil der Wärmepumpe α_{hp}	Verhältnis der Kennwerte $f_{Strom/i}$					
	$\leq 1,64$	2	3	4	5	> 5
0,15	0,37	0,37	0,35	$0,2 \cdot f_w$	0,04	0
0,2	0,5	0,5	0,4	$0,2 \cdot f_w$	0,04	0
0,3	0,64	0,64	0,45	$0,2 \cdot f_w$	0,03	0
0,4	0,75	0,75	0,48	$0,2 \cdot f_w$	0,03	0
0,5	0,84	0,84	0,50	$0,2 \cdot f_w$	0,03	0
0,6	0,91	0,91	0,52	$0,2 \cdot f_w$	0,03	0
0,7	0,95	0,95	0,52	$0,2 \cdot f_w$	0,03	0
0,8	0,97	0,97	0,52	$0,2 \cdot f_w$	0,03	0
1	0,97	0,97	0,52	$0,2 \cdot f_w$	0,02	0

Tabelle 35: Korrekturfaktor f_w für den Anteil $Q_{w,outg}$ an der gesamten Erzeugernutzwärmeabgabe Q_{outg}

Trinkwarmwasseranteil $\alpha_{w,outg}$	Korrekturfaktor für Trinkwarmwasseranteil f_w
0,1	1,35
0,2	0,95
0,3	0,65
0,35	0,55
$> 0,35$	0,55

Tabelle 36: Korrekturfaktor für die Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingungen $f_{\theta,VA}$

Korrekturfaktor für die Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingungen $f_{\theta,VA}$									
Leistungs- anteil der Wärme- pumpe a_{hp}	Verhältnis der Kennwerte $f_{Strom/i}$								
	alle	≤ 2		3		4		5	
	$\theta_{VA}=55^{\circ}\text{C}$	$\theta_{VA}=70^{\circ}\text{C}$	$\theta_{VA}=35^{\circ}\text{C}$	$\theta_{VA}=70^{\circ}\text{C}$	$\theta_{VA}=35^{\circ}\text{C}$	$\theta_{VA}=70^{\circ}\text{C}$	$\theta_{VA}=35^{\circ}\text{C}$	$\theta_{VA}=70^{\circ}\text{C}$	$\theta_{VA}=35^{\circ}\text{C}$
0,15	1,0	0,96	1,02	0,90	1,25	0,84	1,28	0	4,2
0,2	1,0	0,96	1,02	0,90	1,30	0,83	1,29	0	4,0
0,3	1,0	0,96	1,02	0,90	1,35	0,83	1,31	0	3,8
0,4	1,0	0,97	1,02	0,90	1,42	0,82	1,34	0	3,6
0,5	1,0	0,97	1,01	0,90	1,48	0,82	1,36	0	3,4
0,6	1,0	0,97	1,01	0,90	1,50	0,81	1,38	0	3,2
0,7	1,0	0,97	1,01	0,90	1,50	0,80	1,40	0	3,0
0,8	1,0	0,97	1,00	0,90	1,50	0,80	1,43	0	2,8
1	1,0	0,98	1,00	0,90	1,50	0,78	1,43	0	2,3

Randbedingungen für Standardwerte

Ist die Regelungsstrategie (ökonomisch bzw. ökologisch) bzw. die dazugehörigen Kennwerte nicht bekannt, kann als Standardwert das Verhältnis der Kennwerte $f_{Strom/i} = 3$ angenommen werden.

Liegen keine Produktkennwerte vor, so kann für die Berechnung des Leistungsanteils der Wärmepumpe die Heizleistung der Wärmepumpe am Prüfpunkt A-7/W35 mit $\Phi_{hp, A-7/W35} 3,0 \text{ kW}$ angenommen werden.

Die unter Verwendung dieses pauschalen Ansatzes resultierenden Deckungsanteile in Abhängigkeit des Kennwertes zwischen Strom und Gas werden in Abbildung 72 und Abbildung 73 dargestellt. Dabei werden für das Verhältnis der Kennwerte $f_{Strom/i} = 4$ die Deckungsanteile für unterschiedliche Anteile des Trinkwarmwassers an der gesamten Erzeugernutzwärmeabgabe angegeben.

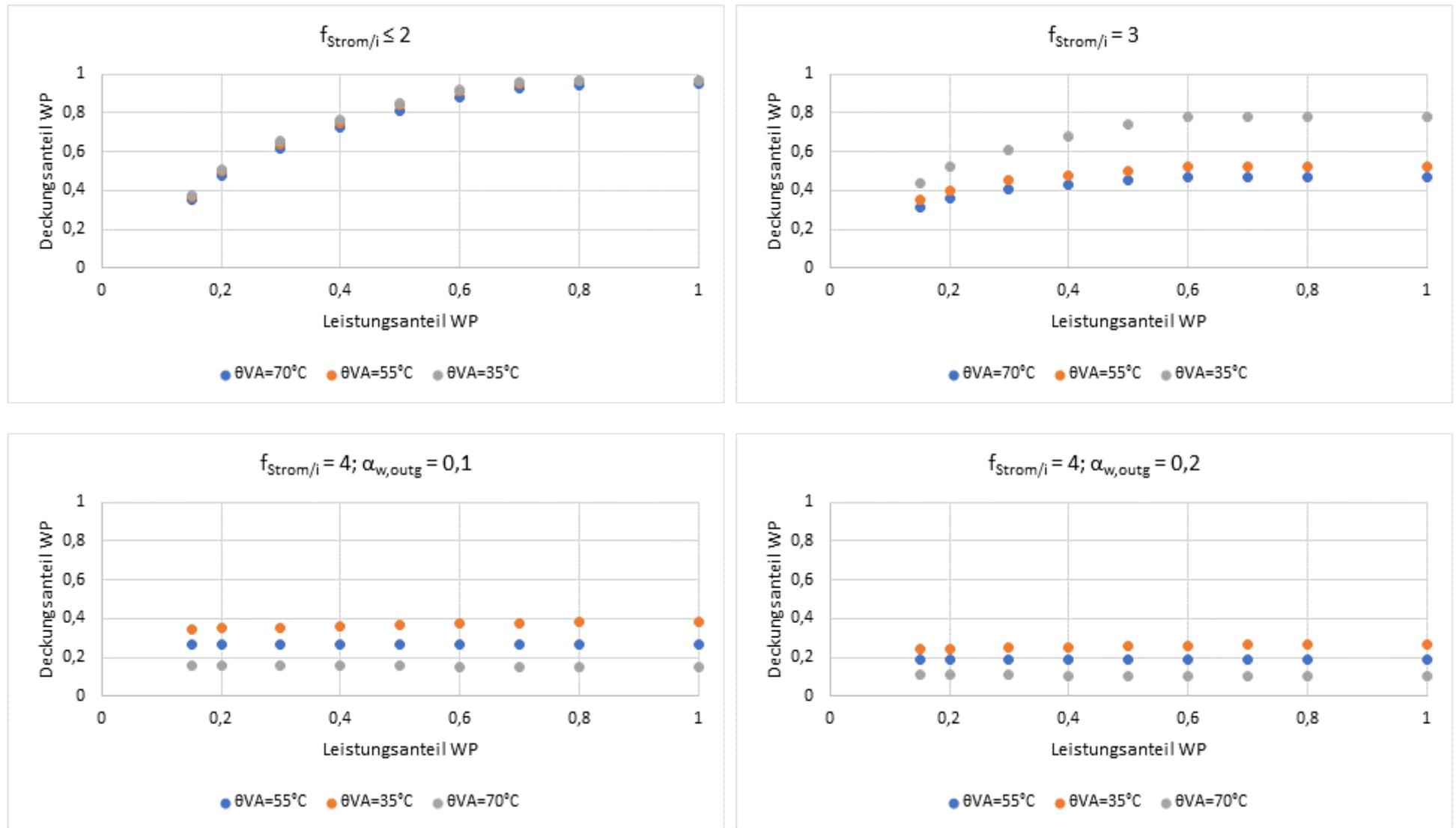


Abbildung 72: Resultierende Deckungsanteile – Teil 1

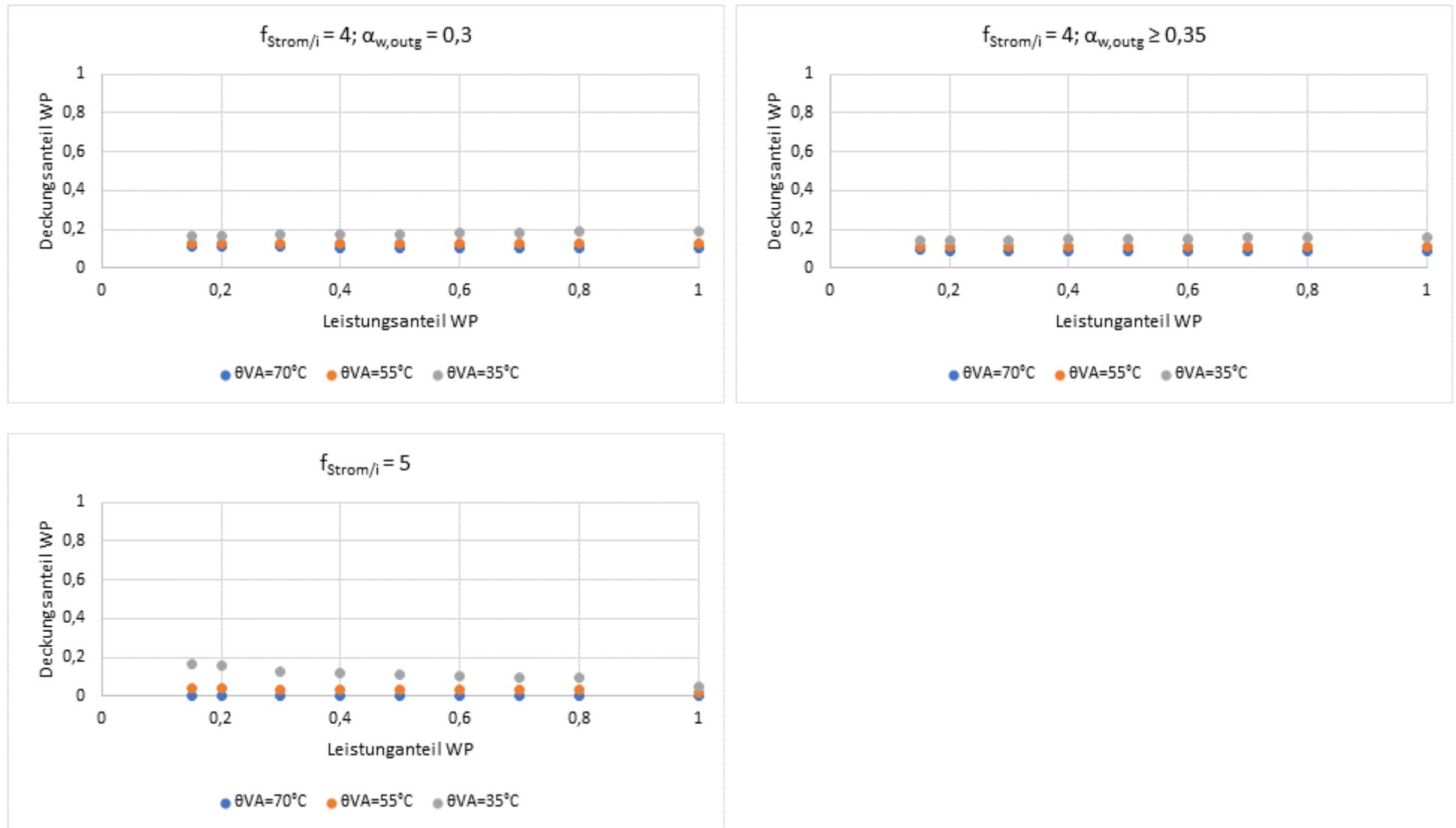


Abbildung 73: Resultierende Deckungsanteile – Teil 2

5.4.3 Kombination aus Einzelgeräten (L/W-WP + BW)

5.4.3.1 Hintergrund

Für die Kombination aus Einzelgeräten – eine elektrisch betriebene Luft/Wasser-Wärmepumpe und ein gas- oder ölbetriebener Brennwertkessel – kann der Deckungsanteil der Wärmepumpe in Abhängigkeit von der eingesetzten Steuereinheit entweder wie für die marktüblichen Hybrid-Kompaktgeräte nach Abschnitt 5.4.2.4 oder entsprechend dem Berechnungsansatz nach DIN V 18599 Teil 5 und 8 für Wärmepumpen bestimmt werden. Aus technischer Sicht sind beide Fälle möglich. Die Deckungsanteile bzw. die resultierende Wärmeabgabe der Wärmepumpe sind damit von der Regelstrategie abhängig.

5.4.3.2 Normvorschlag

Für die Kombination aus Einzelgeräten – eine elektrisch betriebene Luft/Wasser-Wärmepumpe und ein gas- oder ölbetriebener Brennwertkessel – wird der Deckungsanteil der Wärmepumpe in Abhängigkeit von der gewählten Regelstrategie bestimmt.

Die Bestimmung des Deckungsanteils bzw. der Wärmeabgabe der Wärmepumpe erfolgt wie folgt:

1. Regelung über die Bivalenztemperatur - Standardverfahren nach DIN V 18599 Teil 5 und 8 für motorische Wärmepumpen

Wird die Betriebsweise der Wärmepumpe über die Bivalenztemperatur bestimmt und keine zusätzlichen Kriterien die Betriebsweise aus ökologischer bzw. ökonomischer Sicht optimieren, ist das Bewertungsverfahren nach DIN V 18599-5 Abschnitt 6.5.3 für die gewählte Betriebsweise der Wärmepumpe (alternativer, paralleler oder teilparalleler Betrieb) anzuwenden. Wird die Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung eingesetzt, ist sie nach DIN V 18599-8 Abschnitt 6.4.5 zu bewerten.

2. Regelung anhand ökologischer oder ökonomischer Kennwerte – Deckungsanteil der Wärmepumpe analog Hybrid-Kompaktgeräten

Ist die Wahl verschiedener Regelungsstrategien und die Hinterlegung der entsprechenden Kennwerte (Energiepreis, THG-Emissionsfaktor oder Primärenergiefaktor für Strom, Erdgas bzw. Heizöl) möglich, wird der Deckungsanteil der Wärmepumpe wie für die marktüblichen Hybrid-Kompaktgeräte nach Abschnitt 5.4.2.4 bestimmt.

Wird ein ölbetriebener Brennwertkessel mit einer Wärmepumpe kombiniert, sind unter Zugrundelegung der nach GEG gültigen Primärenergiefaktoren und THG-Emissionsfaktoren für Strom und Heizöl die Deckungsanteile für ökologisch optimierte Betriebsweise wie folgt zu bestimmen:

- Optimierung anhand der Primärenergiefaktoren: Deckungsanteil beim Verhältnis der Kennwerte $f_{\text{Strom}/i}=1,64$
- Optimierung anhand der THG-Emissionsfaktoren: Deckungsanteil beim Verhältnis der Kennwerte $f_{\text{Strom}/i}=1,8$

Wird ein mit Erdgas betriebener Brennwertkessel mit einer Wärmepumpe kombiniert, sind unter Zugrundelegung der nach GEG gültigen Primärenergiefaktoren und THG-Emissionsfaktoren für Strom und Erdgas die Deckungsanteile für ökologisch optimierte Betriebsweise wie folgt zu bestimmen:

- Optimierung anhand der Primärenergiefaktoren: Deckungsanteil beim Verhältnis der Kennwerte $f_{\text{Strom}/i}=1,64$

- Optimierung anhand der THG-Emissionsfaktoren: Deckungsanteil beim Verhältnis der Kennwerte $f_{\text{Strom}/i}=2,33$

Bei einer ökonomisch optimierten Betriebsweise ist das Verhältnis der Kennwerte anhand der Energiepreise wie folgt zu bestimmen

$$f_{\text{Strom}/i} = \frac{k_{\text{Strom}}}{k_i}$$

Dabei ist

$f_{\text{Strom}/i}$	Verhältnis der Kennwerte von Strom und des zweiten Energieträgers
k_{Strom}	Arbeitspreis von Strom, in ct/kWh
k_i	heizwertbezogener Energiepreis des zweiten Energieträgers, in ct/kWh (Arbeitspreis bei Gas)

5.4.4 Kombination eines Kessels mit Power-to-Heat-Lösungen

5.4.4.1 Hintergrund

Im aktuellen Gebäudeenergiegesetz GEG ist eine Anrechnung von erneuerbarem Strom, welcher über ein öffentliches Netz bezogen wird, grundsätzlich nicht vorgesehen. Diese grundsätzlichen Vorbehalte gegenüber einer nicht limitierten Berücksichtigung erneuerbaren Stroms sind nachvollziehbar. Erneuerbarer Strom wird mit technischem und finanziellem Aufwand erzeugt und steht nur in begrenzten Mengen zur Verfügung, was bei dem im GEG üblichen Bezug auf den nicht erneuerbaren Anteil des Primärenergiefaktors von 0,0 nicht erfasst werden würde. Gleichzeitig gilt es ein „Greenwashing“ von Gebäuden mit schlechtem baulichem Wärmeschutz und ineffizienter Anlagentechnik zu verhindern. Im öffentlich-rechtlichen Nachweis ist daher Elektroenergie, welche über ein öffentliches Netz bezogen wird, bisher immer mit dem Primärenergiefaktor des deutschen Strommixes von $f_P = 1,8$ zu bewerten.

Eine von GEG bzw. aktueller DIN V 18599:2018 losgelöste Betrachtung offenbart jedoch schnell, dass die bisherige Bewertung nicht zielführend ist, wenn die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen abgeregelt wird, weil keine geeigneten Abnehmer zur Verfügung stehen.

Mit Blick auf

- den steigenden Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung,
- den nicht in gleichem Maß voranschreitenden Netzausbau und
- die hierdurch im Mittel absolut und relativ zunehmende Ausfallarbeit

erscheint es sowohl ökologisch als auch volkswirtschaftlich sinnvoll, Möglichkeit zur besseren Ausnutzung des EE-Potenzials (d. h. besonders Verringerung von Ausfallarbeit) und zur Schonung der noch nicht hinreichend ausgebauten Netze zu nutzen. Damit wird ein Beitrag zur erforderlichen Sektorkopplung geleistet. Power-to-Heat-Hybridheizungen, welche in potenziellen Abregelsituationen einen wesentlichen Anteil der andernfalls abzuregelnden Elektroenergie aus erneuerbaren Quellen ortsnahe verbrauchen – und hierdurch fossile Energieträger substituieren – können dabei einen wesentlichen Anteil leisten. Die Nutzung von sonst abgeregeltem EE-Strom kann sowohl in größeren Anlagen (z.B. Fernwärmenetzen) als auch dezentral in Gebäudeheizungen erfolgen.

Modellprojekte wie die Wind-und-Wärme-Modellregion Friedrich-Wilhelm-Lübke-Koog zeigen, dass eine PtH-Nutzung anderweitig abgeregelter EE-Strommengen technisch realisierbar ist und dabei etwa 10% der Brennstoffmenge substituiert werden.

Der folgende Vorschlag für die DIN V 18599 beschreibt die Umsetzung für gebäudeintegrierte Lösungen in der nächsten Ausgabe der DIN V 18599.

5.4.4.2 Normvorschlag

Allgemeines – DIN V 18599-1

Abschnitt 5.6.1 „Primärenergiebewertung der von außen zugeführten Energieträger“ ist am Ende wie folgt zu ergänzen:

PtH-Nutzung von sonst abgeregeltem erneuerbarem Strom

Strom aus erneuerbaren Energien, der über ein öffentliches Netz nachweislich nur in der Zeit und Menge bezogen wird, in der er andernfalls aus Gründen des Einspeisemanagements abgeregelt werden müsste, darf mit einem Primärenergiefaktor von 0,0 in der Bilanz berücksichtigt werden. Für die Anwendung des PE-Faktors von 0,0 müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- *Im Fall des netzgebundenen Bezugs von Strom aus erneuerbaren Energien muss dieser besonders im Überschuss /Abregelszenario nachweislich bis zum Ort des elektrischen Verbrauchers durchleitbar sein.*
- *Wird Strom aus erneuerbaren Energien in elektrischen Widerstandsheizungen eingesetzt, dann muss die elektrische Widerstandsheizung in Kombination mit einem weiteren Wärmeerzeuger, welcher keine elektrische Widerstandsheizung ist, betrieben werden und die Heizungsanlage so ausgeführt und dimensioniert sein, dass sie die Heizaufgabe (Raumheizung/Trinkwassererwärmung, ggf. Versorgung von Klimageräten) auch ohne Einsatz der elektrischen Widerstandsheizung vollständig erfüllen kann, und die elektrische Widerstandsheizung im Informationsverbund mit der Stromerzeugungsanlage geregelt, zu- und abgeschaltet wird und hierbei die elektrische Momentanleistung der elektrischen Widerstandsheizung die an ihrem Einbauort verfügbare elektrische Momentanleistung der stromproduzierenden Anlage nicht überschreitet.*

Die Anforderungen sind auf Kombinationen von mehr als zwei Wärmeerzeugern sinngemäß anzuwenden. Weitere Informationen sind in der DIN SPEC 91410-2 Energieflexibilität –Teil 2: Identifizierung und Bewertung von Flexibilität in Gebäuden und Quartieren enthalten.

Heizung – DIN V 18599-5

Der Abschnitt 6.5.1 Allgemeines ist wie folgt zu ergänzen.

PtH-Nutzung von sonst abgeregeltem erneuerbarem Strom ist nach 6.5.8.3 zu berücksichtigen.

Im Abschnitt 6.5.8 „Elektrisch beheizte Wärmeerzeuger“ ist ein neuer Unterabschnitt 6.5.8.3 „PtH-Nutzung von sonst abgeregeltem erneuerbarem Strom“ zu ergänzen.

6.5.8.3 PtH-Nutzung von sonst abgeregeltem erneuerbarem Strom

Wenn die in DIN V 18599-1 beschriebenen Anforderungen an eine PtH-Nutzung von sonst abgeregeltem erneuerbarem Strom erfüllt sind, dann kann die Erzeugernutzwärmeabgabe des primären Wärmeerzeugers pauschal um 10% verringert werden.

$$Q_{h,outg}^* = Q_{h,outg} \cdot 0,9$$

Die für PtH genutzte Strommenge ist wie folgt zu berechnen

$$Q_{h,f,PtH} = Q_{h,outg} \times 0,1$$

Speicher- und Erzeugerverluste werden für die Power-to-Heat -Erzeugung nicht bilanziert.

Trinkwarmwasser - DIN V 18599-8

Der Abschnitt 6.4.1 „Allgemeines“ ist wie folgt zu ergänzen.

PtH-Nutzung von sonst abgeregeltem erneuerbarem Strom ist für Heizkessel nach 6.4.12 zu berücksichtigen.

Im Abschnitt 6.4.12 „Heizkessel zur Trinkwassererwärmung“ ist nach dem Satz „Wird zusätzlich Wärme durch eine Solaranlage bereitgestellt, so ist $Q_{w,outg}$ durch $Q_{w,outg}^*$ aus Gleichung (51) in 6.4.1 zu ersetzen.“

wie folgt zu ergänzen.

PtH-Nutzung von sonst abgeregeltem erneuerbarem Strom

Wenn die in DIN V 18599-1 beschriebenen Anforderungen an eine PtH-Nutzung von sonst abgeregeltem erneuerbarem Strom erfüllt sind und PtH auch für eine anteilige Trinkwassererwärmung zum Einsatz kommt, dann kann die Erzeugernutzwärmeabgabe des primären Wärmeerzeugers pauschal um 10% verringert werden.

$$Q_{w,gen}^* = Q_{w,gen} \cdot 0,9$$

Die für PtH genutzte Strommenge ist wie folgt zu berechnen

$$Q_{w,f,PtH} = Q_{w,gen} \cdot 0,1$$

Speicher- und Erzeugerverluste werden für die Power-to-Heat -Erzeugung nicht bilanziert.

5.5 Weitere Vorschläge

Im Folgenden werden weitere Vorschläge für eine Verbesserung der Formulierung und der Formelzeichen in DIN V 18599-2 erarbeitet.

In Abschnitt 5.4.5 der DIN V 18599-2 ist im Text zu Gl. (20) das Formelzeichen für die unregulierten Wärmeeinträge definiert sowie ein erläuternder Text enthalten:

$Q_{I,source,h}$ der Wärmeeintrag durch Heiz- und Kühlsysteme nach 6.5.6 (durch Verteilleitungen und Luftkanäle mit Temperaturen über der Bilanz-Innentemperatur sowie Wärmeeinträge aus Erzeugung und Speicherung).

Ebenfalls im Text nach Gl. (20) (letzter Satz) wird für Wohngebäude festgelegt, dass die Ermittlung der Wärmeeinträge durch die Verteilung für Leitungen und Luftkanäle getrennt zu erfolgen hat:

Für Wohngebäude kann ein Gesamtwert für die internen Wärmequellen $Q_{I,source,p}$, $Q_{I,source,l}$, $Q_{I,source,fa}$ und $Q_{I,source,goods}$ veranschlagt werden (siehe DIN V 18599-10). Die Wärmeeinträge durch Verteilleitungen und Luftkanäle $Q_{I,source,h}$ sind auch für Wohngebäude getrennt zu ermitteln.

Die Bestimmungsgleichung für die unterregulierten Wärmequellen und -senken in Abschnitt 6.5.6 der Norm umfasst die Prozessbereiche Trinkwarmwasser (w), Heizung (h), Kühlung (ch) und Lüftung (vh, vc):

$$(131): Q_{I,source,h} = Q_{I,w} + Q_{I,h} + Q_{I,vh} + Q_{I,ch}$$

$$(132): Q_{I,sink,c} = Q_{I,vc} + Q_{I,c}$$

Vorschlag 1: Das **Formelzeichen** $Q_{I,source,h}$ enthält den Index "h", welcher reserviert ist für "Heizung für Raumwärme". Da hier das gesamte Anlagensystem (ohne Beleuchtung) gemeint ist, sollte eine klärende Anpassung

erfolgen. Bisher gibt es keinen Index für die Gesamtheit des Anlagensystems, einzig der Index "mech" für "mechanisch, maschinell" käme dem nahe. Die im Englischen übliche Abkürzung HVAC für die Anlagentechnik könnte hier Verwendung finden, allerdings wird sie in erster Linie mit Klimatechnik in Verbindung gebracht und die Trinkwassererwärmung ist nicht enthalten.

Vorschlag 2: Im **erläuternden Text** zu Gl. (20) sind nur die Heiz- und Kühlsysteme genannt, das Trinkwarmwassersystem fehlt und sollte ergänzt werden. Zudem ist zu entscheiden, ob bei den Systemen für Heizen und Kühlen jeweils auch die luftgeführten Systeme mit gemeint sind, oder ob sie durch Nennung des Begriffs Lüftung in die Auflistung aufgenommen werden sollen.

Vorschlag 3: Im letzten Satz des **Textes** nach Gl. (20) werden für die Bestimmung der Wärmequellen für Wohngebäude Wärmeinträge durch Luftkanäle erwähnt. In den Bestimmungsgleichungen sind aber nur Systeme enthalten, welche sich auf die Lüftung von Nichtwohngebäuden beziehen (Index vh und vc, nach DIN V 18599-3). Für Wohnungslüftungssysteme wird der Index rv verwendet (nach DIN V 18599-6), dieser sollte hier ergänzt oder eine Erläuterung im Text aufgenommen werden. Die Wärmeinträge durch Verteilungen und Luftkanäle sollen getrennt ermittelt werden. Der Grund hierfür erschließt sich nicht.

Vorschlag 4: In DIN V 18599-1 wird bei den Indizes für die inneren Wärmequellen nur "I" verwendet, d.h. ohne "source". Die Verwendung des **Index** sollte **vereinheitlicht** werden:

- *innere Wärmequellen aus dem Trinkwarmwassersystem: $Q_{I,w}$*
- *innere Wärmequellen/-senken aus der RLT (luftseitig): $Q_{I,vh}$, $Q_{I,vc}$*
- *innere Wärmequellen/-senken aus der Wohnungslüftung: $Q_{I,rv}$*
- *innere Wärmequellen aus der Wärme-/Kälteversorgung der Raumluftechnik: Q_{I,h^*} , Q_{I,c^*} , $Q_{I,sl}$*
- *innere Wärmequellen aus dem Heizungssystem: $Q_{I,h}$*
- *innere Wärmequellen aus dem Kühlsystem und der Wohnungskühlung: $Q_{I,c}$; $Q_{I,rc}$.*

6 Untersuchung der Auswirkungen der vorgesehenen Änderungen / Vereinfachungen auf den Teil 12

6.1 Iteration

Die erarbeiteten Vorschläge für den Wegfall der Iteration im Hauptverfahren der DIN V 18599 haben keinen direkten Einfluss auf den Teil 12 der DIN V 18599 (Tabellenverfahren). Dies liegt darin begründet, dass das Tabellenverfahren keine Iteration von Wärmeeinträgen aus der Anlagentechnik aufweist. Der Ansatz des Verzichts auf die Iteration im Tabellenverfahren bildet eine Grundlage für den Iterationsverzicht im Hauptverfahren. Je nachdem welcher der im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Ansätze für das Hauptverfahren übernommen wird ist zu prüfen, ob gegebenenfalls eine Anpassung im Tabellenverfahren vorgenommen wird, um beide Verfahrensansätze aufeinander abzugleichen.

6.2 Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste

Der erarbeitete Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste hat nur sehr geringe Auswirkungen auf den Teil 12 der DIN V 18599. Zum einen ist dies begründet dadurch, dass der erarbeitete Berechnungsalgorithmus im Wesentlichen durch eine Umstrukturierung und Zusammenfassung bereits vorhandener Gleichungen resultiert und zum anderen wird in Teil 12 der DIN V 18599 bereits der Ansatz zur Bestimmung eines Gesamt-Luftwechsels verfolgt. Der Gesamt-Luftwechsel aus dem zukünftig möglichen Teil 2 und dem aktuellen Teil 12 unterscheiden sich dabei im Bilanzzeitraum (monatlicher/jährlicher Wert). Obwohl die Vergleichsrechnungen für Teil 2 nur äußerst geringe Abweichungen zwischen altem und neuem Algorithmus ergeben haben, sollte bei einer Übernahme des Vorschlages bezüglich des Berechnungsalgorithmus für Lüftungswärmeverluste in Teil 2 der DIN V 18599:202X der im Teil 12 umgesetzte Algorithmus im Detail geprüft werden.

6.3 Bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen

Die zur Vereinfachung der Anwendbarkeit des Bewertungsverfahrens für elektrische Wärmepumpen erarbeiteten Vorschläge für aktuell fehlende Standardwerte, Zuordnungs- und Berechnungsregeln im Teil 5 und 8 der DIN V 18599 sollten, wenn überhaupt, nur geringe Auswirkungen auf den Teil 12 der DIN V 18599 haben. Hinsichtlich der Bestimmung der Nennleistung der Wärmepumpe weicht der aktuelle Vorschlag vom im Tabellenverfahren angesetzten Standardwert für die Nennleistung geringfügig ab. Bei einer Übernahme des Vorschlages bezüglich der Anpassungen im bewertungsverfahren für elektrische Wärmepumpen sollte der im Teil 12 umgesetzte Algorithmus im Detail geprüft werden.

6.4 Verfahren zur Bestimmung des Deckungsanteils bei unterschiedlichen Wärmeerzeugern bei bivalenten und multivalenten Systemen

Der erarbeitete Berechnungsalgorithmus zur Bestimmung des Deckungsanteils der Wärmepumpe beim Einsatz eines Hybrid-Kompaktgerätes bzw. einer Kombination aus Einzelgeräten – eine elektrisch betriebene Luft/Wasser-Wärmepumpe und ein gas- oder ölbetriebener Brennwertkessel – sowie der Berechnungsansatz für Kombination mit Power-to-Heat-Lösungen haben keinen direkten Einfluss auf den Teil 12 der DIN V 18599. Dies liegt darin begründet, dass das Tabellenverfahren diese Kombinationen bisher nicht berücksichtigt. Perspektivisch ist jedoch zu überprüfen, ob die betrachteten Anlagenkombinationen in geeigneter Form in das Tabellenverfahren aufgenommen werden können.

7 Literatur

- [1] Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013 Teil I Nr. 67, ausgegeben am 21. November 2013, S. 3951
- [2] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teile 1-11, Ausgabe Dezember 2011
- [3] DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Ausgabe August 2003
- [4] DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, Ausgabe Juni 2003
- [5] Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz–GEG) vom 8. August 2020, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020 Teil I Nr. 37, ausgegeben am 13. August 2020
- [6] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden — Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teile 1-11, Ausgabe September 2018
- [7] DIN V 18599-5: Energetische Bewertung von Gebäuden — Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen, Ausgabe September 2018
- [8] DIN V 18599-8: Energetische Bewertung von Gebäuden — Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen, Ausgabe September 2018
- [9] S. Klauß und W. Kirchhof, "Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit" Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., Hg., Kassel, 2010.
- [10] T. Schoch und J. Trapp, „Erarbeitung einer Software-Lösung für die Anwendung der DIN V 18599 für den Wohnungsbau für Zwecke der Vergleichsrechnung für Förderfälle“ 18599 Gütegemeinschaft e.V., 2014
- [11] Produktprospekt: Altherma, DAIKIN, https://www.daikin.de/de_de/produktfamilien/altherma-hybrid-waermepumpentechnik/daikin-altherma-hybrid.html#!#H_Hybrid
- [12] Produktprospekt: CalentaHP, Remeha, https://www.remeha.de/fachpartner/produkte/neubau-modernisierung/hybridsystem-waermepumpe/calentahp-390-690#downloads_service
- [13] Produktdatenblatt: VITOCALDENS 222-F, Gas-Hybrid-Kompaktgerät, <https://www.viessmann.de/de/wohngebaeude/hybridheizung/gas-hybridgeraete/vitocaldens-222-f.html>

Anhang A

Tabelle A. 1: Übersicht der Gliederungsstruktur der DIN V 18599-2:2018-09 und der DIN V 18599-2:20XX bezüglich des Abschnitts zur Bestimmung der Lüftungswärmesenken und Lüftungswärmequellen

DIN V 18599-2:2018-09	Bemerkung	DIN V 18599-2:20XX	Bemerkung
6.3 Lüftungswärmesenken/-quellen		6.3 Luftwechsel	
6.3.1 Infiltration		6.3.1 Luftwechsel ohne mechanische Lüftung	
6.3.1.1 Allgemeines		6.3.1.1 Bestimmung des Infiltrationsluftwechsels	
6.3.1.2 Bestimmung des Infiltrationsluftwechsels		6.3.1.2 Bestimmung des Fensterluftwechsels	
6.3.1.3 Bewertung der Infiltration bei mechanischen Lüftungsanlagen		6.3.1.3 Bestimmung des Gesamtluftwechsels	
6.3.2 Fensterlüftung		6.3.2 Luftwechsel mit mechanischer Lüftung	
6.3.2.1 Allgemeines		6.3.2.1 Bestimmung des Infiltrationsluftwechsels	
6.3.2.2 Bestimmung des Fensterluftwechsels		6.3.2.2 Bestimmung des Anlagenwechsels	
6.3.2.3 Nutzungsbedingter Mindestaußenluftwechsel		6.3.2.3 Gesamtnutzungsgrad der Wärmerückgewinnung und der regenerativen Luftvorwärmung	Aus Teil 6 der DIN V 18599:2018-09
6.3.3 Mechanische Lüftung		6.3.2.4 Bestimmung des Fensterluftwechsels	
6.3.3.1 Allgemeines		6.3.2.5 Bestimmung des Gesamtluftwechsels	
6.3.3.2 Bestimmung des mittleren Anlagenluftwechsels		6.3.2.6 Berücksichtigung von Teillüftung	
6.3.3.3 Zuluft-Luftwechsel der mechanischen Lüftung		6.4 Lüftungswärmesenken/-quellen	
6.3.3.4 Abluft-Luftwechsel der mechanischen Lüftung			
6.3.3.5 Zulufttemperatur der mechanischen Lüftung			
6.3.3.6 Hinweise für die Bewertung von Wohnungslüftungsanlagen (WLA) mit Wärmeübertragern zwischen Zu- und Abluft			
6.3.4 Lüftung in unbeheizten oder ungekühlten Gebäudezonen	Für Wohngebäude nicht relevant		
6.3.5 Luftwechsel zwischen Zonen	Für Wohngebäude nicht relevant		
6.3.5.1 Allgemeines			
6.3.5.2 Zuluft-Luftwechsel aus benachbarten Gebäudezonen			
6.3.5.3 Abluft-Luftwechsel in benachbarte Zonen			

Im nachfolgenden Textentwurf für DIN V 18599-2 sind folgende Abschnitte farblich gekennzeichnet:

- Blaue Schriftfarbe: neue Textbausteine bzw. Formeln
- Orangene Schriftfarbe: Textbausteine aus DIN V 18599-6:2018-09, teilweise direkt übernommen, teilweise überarbeitet
- Schwarze Schriftfarbe: Textbausteine aus DIN V 18599:2018-09, minimale Änderungen wie neusortiert oder mit Formeln ergänzt

Textentwurf für DIN V 18599-2:202X – Berechnung des Luftwechsels und Lüftungswärmesenken/ -quellen für Wohngebäude

6.3 Luftwechsel für Wohngebäude

6.3.1 Luftwechsel ohne mechanische Lüftung

6.3.1.1 Bestimmung des Infiltrationsluftwechsels

Der Infiltrationsluftwechsel wird in Abhängigkeit von der Gebäudedichtheit als Tagesmittelwert bestimmt. Als Maß für die Gebäudedichtheit gilt dabei der gemessene Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz (n_{50} -Wert). Für ungeprüfte Gebäude sind Standardwerte festgelegt.

Der mittlere tägliche Infiltrationsluftwechsel ohne mechanische Lüftung ist nach Gleichung (1) zu bestimmen:

$$n_{inf} = n_{50} \cdot e \cdot f_{ATD} \quad (1)$$

Dabei ist

n_{inf} der Tagesmittelwert des Infiltrationsluftwechsels

n_{50} der Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz

- Nach erfolgter Dichtheitsprüfung: gemessener Wert,
- Ohne erfolgte bzw. bei geplanter, aber noch ausstehender Dichtheitsprüfung: Standardwerte, vorgegeben nach Tabelle 1 bzw. nach Gleichung (4) in Verbindung mit Tabelle 1 berechneter Wert;

e der Volumenstromkoeffizient, als Standardwert gilt: $e = 0,07$ (entspricht Abschirmungskoeffizient nach DIN EN ISO 13789 bei gemäßigter Abschirmung, mehr als eine Fassade dem Wind ausgesetzt);

f_{ATD} ein Faktor zur Berücksichtigung von Außenluftdurchlässen (en: air transfer device, ATD) nach Gleichung (2) bzw. (3)

Der Faktor zur Berücksichtigung von Außenluftdurchlässen wird bei Vorhandensein nach Gleichung (3) bestimmt, ohne Außenluftdurchlässe gilt Gleichung (2).

$$\text{Ohne ALD} \quad f_{ATD} = 1 \quad (2)$$

$$\text{Mit ALD} \quad f_{ATD} = \min \left(16; \frac{n_{50} + 1,5h^{-1}}{n_{50}} \right) \quad (3)$$

Tabelle 1 enthält eine Kategorisierung zur Einschätzung der Luftdichtheit. Bei Gebäuden mit einem Nettoraumvolumen bis 1500m^3 kommt der Bemessungswert n_{50} zur Anwendung, für größere Gebäude die hüllflächenbezogene Größe q_{50} . Die Umrechnung der q_{50} -Bemessungswerte in n_{50} -Werte erfolgt anhand Gleichung (4).

$$n_{50} = \frac{q_{50} \cdot A_E}{V} \quad (4)$$

Dabei ist

q_{50} die hüllflächenbezogene Luftdurchlässigkeit bei 50 Pa Druckdifferenz nach Tabelle 1;

- A_E die Hüllfläche nach DIN EN ISO 9972. Vereinfacht kann die nach DIN V 18599-1 ermittelte wärmeübertragende Umfassungsfläche A angesetzt werden;
- V das Nettoraumvolumen.

Tabelle 1 – n_{50} - und q_{50} -Bemessungswerte (Standardwerte für ungeprüfte Gebäude)

Kategorien zur pauschalen Einschätzung der Gebäudedichtheit	Gebäude mit einem Nettoraumvolumen $\leq 1500\text{m}^3$ n_{50} in h^{-1}	Gebäude mit einem Nettoraumvolumen $> 1500\text{m}^3$ q_{50} in $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$
I	2	3
II	4	6
III	6	9
IV	10	15

Die Einstufung der Gebäudedichtheit ist in Tabelle 1 festgelegt:

- Kategorie I: Einhaltung der Anforderung an die Gebäudedichtheit nach DIN 4108-7 (d.h., die Dichtheitsprüfung wird entsprechend den Kriterien dieser Norm nach Fertigstellung durchgeführt);
- Kategorie II: zu errichtende Gebäude oder Gebäudeteile, bei denen keine Dichtheitsprüfung vorgesehen ist;
- Kategorie III: Fälle, die nicht den Kategorien I, II oder IV entsprechen;
- Kategorie IV: Vorhandensein offensichtlicher Undichtheiten, wie z.B. offene Fugen in der Luftdichtheitsschicht der wärmeübertragenden Umfassungsfläche.

Kann die Einstufung in o.g. Kategorien nicht eindeutig qualifiziert vorgenommen werden, muss eine Dichtheitsprüfung zur Bestimmung des n_{50} -Wertes erfolgen.

6.3.1.2 Bestimmung des Fensterluftwechsels

In den Fensterluftwechsel ist der Luftwechsel durch Fenster, Türen und andere Öffnungen nach außen, einschließlich Nachströmöffnungen für Lüftungsanlagen einzubeziehen. Der Fensterluftwechsel ist als Tagesmittelwert aus dem vorgegebenen nutzungsbedingt notwendigen Außenluftwechsel zu bestimmen. Anzurechnen ist dabei eine Verminderung des Fensterluftwechsels in Abhängigkeit von der Infiltration.

Der Faktor zur saisonalen Anpassung des Fensterluftwechsels ist als Funktion der monatlichen Außenlufttemperatur definiert:

$$f_{win,seasonal} = 0,04 \cdot \theta_e + 0,8 \quad (5)$$

Dabei ist

$f_{win,seasonal}$ der Faktor zur saisonalen Anpassung (en: seasonal) des Fensterluftwechsels

θ_e die durchschnittliche monatliche Außentemperatur, in °C.

Der Faktor für die saisonale Anpassung des Fensterluftwechsels für die Heizmonate i wird berechnet zu:

$$f_{win} = f_{win,seasonal,i} \quad (6)$$

Dabei ist

f_{win} der Faktor für die saisonale Anpassung des Fensterluftwechsels für die Heizmonate i ;

$f_{win,seasonal,i}$ der Faktor zur saisonalen Anpassung (en: seasonal) des Fensterluftwechsels im Heizmonat i .

Als Heizmonat gelten die Monate, für die ein Nutzwärmebedarf $Q_{h,b,mth} > 0$ gilt.

Soweit in der Zone Öffnungen (z. B. öffnbare Fenster oder Außenluftdurchlässe) zur Außenluft vorhanden sind, ist unabhängig von Infiltrations- und Anlagenluftwechsel ein Mindestwert von $n_{win,min} = 0,1 \text{ h}^{-1}$ für den Fensterluftwechsel anzusetzen. Bei Zonen, die keine Durchlässe nach außen haben, ist der Fensterluftwechsel zu vernachlässigen.

$$\text{Mit Öffnungen zur Außenluft} \quad n_{win,min} = 0,1 \text{ h}^{-1} \quad (7)$$

$$\text{Ohne Öffnungen zur Außenluft} \quad n_{win,min} = 0 \text{ h}^{-1} \quad (8)$$

Der mittlere tägliche Fensterluftwechsel für eine Zone ohne mechanische Lüftung ist nach Gleichung (9) und Gleichung (10) zu ermitteln:

$$n_{win} = (n_{win,min} + \Delta n_{win} \cdot \frac{t_{nutz}}{24h}) \cdot f_{win} \quad (9)$$

$$\Delta n_{win} = \max[0; n_{nutz} - \frac{n_{nutz} - 0,2 \text{ h}^{-1}}{h^{-1}} \cdot n_{inf} - 0,1 \text{ h}^{-1}] \quad (10)$$

Dabei ist

n_{win} der mittlere tägliche Fensterluftwechsel

$n_{win,min}$ der Mindestwert Fensterluftwechsel, $n_{win,min} = 0,1 \text{ h}^{-1}$

Δn_{win} der zusätzliche Fensterluftwechsel während der Nutzungszeit

t_{nutz} die tägliche Nutzungsdauer nach DIN V 18599-10

f_{win} der Faktor für die saisonale Anpassung des Fensterluftwechsels für die Heizmonate i , nach Gleichung (6)

n_{nutz} der nutzungsbedingte Mindestaußenluftwechsel, $n_{nutz} = 0,5 \text{ h}^{-1}$

6.3.1.3 Bestimmung des Gesamtluftwechsels

Der Gesamtluftwechsel einer Zone wird nach Gleichung (11) ermittelt:

$$n = n_{inf} + n_{win} \quad (11)$$

Dabei ist

n der Gesamtluftwechsel der Zone;

n_{inf} der Tagesmittelwert des Infiltrationsluftwechsels, nach Gleichung (1);

n_{win} der mittlere tägliche Fensterluftwechsel, nach Gleichung (9).

Wird die Zone flächengewichtet unterschiedlich belüftet, dann ist Abschnitt 6.3.2.6 zu berücksichtigen.

6.3.2 Luftwechsel mit mechanischer Lüftung

6.3.2.1 Bestimmung des Infiltrationsluftwechsels

Der Infiltrationsluftwechsel wird in Abhängigkeit von der Gebäudedichtheit als Tagesmittelwert bestimmt. Als Maß für die Gebäudedichtheit gilt dabei der gemessene Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz (n_{50} -Wert). Für ungeprüfte Gebäude sind Standardwerte festgelegt.

Der mittlere tägliche Infiltrationsluftwechsel mit einer mechanischen Lüftungsanlage ist nach Gleichung (12) zu bestimmen:

$$n_{inf} = n_{50} \cdot e \cdot f_{ATD} \cdot f_e \quad (12)$$

Dabei ist

n_{inf} der Tagesmittelwert des Infiltrationsluftwechsels;

n_{50} der Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz

- Nach erfolgter Dichtheitsprüfung: gemessener Wert,
- Ohne erfolgte bzw. bei geplanter, aber noch ausstehender Dichtheitsprüfung: Standardwerte, vorgegeben nach Tabelle 2 bzw. nach Gleichung (15) in Verbindung mit Tabelle 2 berechneter Wert;

e der Volumenstromkoeffizient, als Standardwert gilt: $e = 0,07$ (entspricht Abschirmungskoeffizient nach DIN EN ISO 13789 bei gemäßigter Abschirmung, mehr als eine Fassade dem Wind ausgesetzt);

f_{ATD} der Faktor zur Berücksichtigung von Außenluftdurchlässen (en: air transfer device, ATD) nach Gleichung (14) bzw. Gleichung (13);

f_e der Faktor zur Bewertung der durch die mechanische Lüftungsanlage vermehrten oder verminderten Infiltration nach Gleichung (16) bzw. Gleichung (17);

Der Faktor zur Berücksichtigung von Außenluftdurchlässen wird bei Vorhandensein nach Gleichung (14) bestimmt, ohne Außenluftdurchlässe gilt Gleichung (13).

$$\text{Ohne ALD} \quad f_{ATD} = 1 \quad (13)$$

$$\text{Mit ALD} \quad f_{ATD} = \min \left(16; \frac{n_{50} + 1,5h^{-1}}{n_{50}} \right) \quad (14)$$

Tabelle 2 enthält eine Kategorisierung zur Einschätzung der Luftdichtheit. Bei Gebäuden mit einem Nettoraumvolumen bis 1500m^3 kommt der Bemessungswert n_{50} zur Anwendung, für größere Gebäude die hüllflächenbezogene Größe q_{50} . Die Umrechnung der q_{50} -Bemessungswerte in n_{50} -Werte erfolgt anhand Gleichung (15).

$$n_{50} = \frac{q_{50} \cdot A_E}{V} \quad (15)$$

Dabei ist

q_{50} die hüllflächenbezogene Luftdurchlässigkeit bei 50 Pa Druckdifferenz nach Tabelle 2;

A_E die Hüllfläche nach DIN EN ISO 9972. Vereinfacht kann die nach DIN V 18599-1 ermittelte wärmeübertragende Umfassungsfläche A angesetzt werden;

V das Nettoraumvolumen.

Tabelle 2 – n_{50} - und q_{50} -Bemessungswerte (Standardwerte für ungeprüfte Gebäude)

Kategorien zur pauschalen Einschätzung der Gebäudedichtheit	Gebäude mit einem Nettoraumvolumen $\leq 1500\text{m}^3$ n_{50} in h^{-1}	Gebäude mit einem Nettoraumvolumen $> 1500\text{m}^3$ q_{50} in $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$
I	1	2
II	4	6
III	6	9
IV	10	15

Die Einstufung der Gebäudedichtheit ist in Tabelle 2 festgelegt:

- Kategorie I: Einhaltung der Anforderung an die Gebäudedichtheit nach DIN 4108-7 (d.h., die Dichtheitsprüfung wird entsprechend den Kriterien dieser Norm nach Fertigstellung durchgeführt);
- Kategorie II: zu errichtende Gebäude oder Gebäudeteile, bei denen keine Dichtheitsprüfung vorgesehen ist;
- Kategorie III: Fälle, die nicht den Kategorien I, II oder IV entsprechen;
- Kategorie IV: Vorhandensein offensichtlicher Undichtheiten, wie z.B. offene Fugen in der Luftdichtheitsschicht der wärmeübertragenden Umfassungsfläche.

Kann die Einstufung in o.g. Kategorien nicht eindeutig qualifiziert vorgenommen werden, muss eine Dichtheitsprüfung zur Bestimmung des n_{50} -Wertes erfolgen.

Der Faktor zur Bewertung der durch die mechanische Lüftungsanlage vermehrten bzw. verminderten Infiltration wird nach Gleichung (16) bzw. Gleichung (17) bestimmt:

Balancierte Zu-/Abluftanlage:

$$f_e = 1 \quad (16)$$

Alle anderen Lüftungsanlagen:

$$f_e = \frac{1}{1 + \frac{f}{e} \cdot \left(\frac{n_{ETA,mech} - n_{SUP,mech}}{n_{50} \cdot f_{ATD}} \right)^2} \quad (17)$$

Dabei ist

f der Koeffizient zur Windexposition, als Standardwert gilt: $f = 15$ (entspricht Abschirmungskoeffizient nach DIN EN ISO 13789 bei gemäßiger Abschirmung, mehr als eine Fassade dem Wind ausgesetzt);

- $n_{mech,ETA}$ der Abluftwechsel der mechanischen Lüftungsanlage, nach Abschnitt 6.1.2.2;
- $n_{mech,SUP}$ der Zuluftwechsel der mechanischen Lüftungsanlage, nach Abschnitt 6.1.2.2.

6.3.2.2 Bestimmung des Anlagenluftwechsels

Der Anlagenluftwechsel ist als die über den Tag gemittelte durch die mechanische Lüftungsanlage in die Zone eingebrachte Zuluftmenge, bezogen auf das austauschbare Luftvolumen der Zone, zu bestimmen.

Für alle ventilatorgestützten Lüftungssysteme ist deren bestimmungsgemäßer Betrieb nach den anerkannten Regeln der Technik unter Beachtung von DIN 1946-6 sicherzustellen.

Für $n_{mech,SUP} = 0h^{-1}$ gilt

$$n_{mech,sink} = 0h^{-1} \quad (18)$$

$$n_{mech,source} = 0h^{-1} \quad (19)$$

Für $n_{mech,SUP} \neq 0h^{-1}$ gilt

$$n_{mech,sink} = \max\left(0; \left[1 - \eta_{regLV} \cdot \frac{\theta_{ETA} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} - \eta_{WRG} \cdot (1 - \eta_{regLV}) \cdot \frac{\theta_{ETA} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \cdot \frac{\min(n_{mech,SUP}; n_{mech,ETA})}{n_{mech,SUP}}\right] \cdot n_{mech,SUP}\right) \quad (20)$$

$$n_{mech,source} = \max\left(0; \left[-1 + \eta_{regLV} \cdot \frac{\theta_{ETA} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} + \eta_{WRG} \cdot (1 - \eta_{regLV}) \cdot \frac{\theta_{ETA} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \cdot \frac{\min(n_{mech,SUP}; n_{mech,ETA})}{n_{mech,SUP}}\right] \cdot n_{mech,SUP}\right) \quad (21)$$

Dabei ist

- $n_{mech,sink}$ der über den Tag gemittelte Luftwechsel durch die Lüftungsanlage für die Bestimmung der Wärmesenken;
- $n_{mech,source}$ der über den Tag gemittelte Luftwechsel durch die Lüftungsanlage für die Bestimmung der Wärmequellen;
- $n_{mech,SUP}$ der Zuluft-Luftwechsel während der Betriebszeit der Lüftungsanlage;
- η_{WRG} der Gesamtnutzungsgrad der Wärmerückgewinnung, nach Tabelle 3;
- η_{regLV} der Gesamtnutzungsgrad der regenerativen Luftvorwärmung, nach Tabelle 3;
- θ_{ETA} die mittlere Ablufttemperatur, in °C (Standwert 21°C);
- θ_e die durchschnittliche monatliche Außentemperatur, in °C;
- θ_i die Bilanz-Innentemperatur der Zone, $\theta_{i,h}$ nach 6.1.2 für die Heizwärmebilanz bzw. $\theta_{i,c}$ nach 6.1.3 für die Kühlbilanz, in °C.

Liegt keine Wärmerückgewinnung oder regenerative Luftvorwärmung vor, dann sind die Gesamtnutzungsgrade jeweils null zu setzen:

$$\eta_{WRG} = 0 \quad (22)$$

$$\eta_{regLV} = 0 \quad (23)$$

Der Gesamtnutzungsgrad der Wärmerückgewinnung und der regenerativen Luftvorwärmung ist bei einer mechanischen Lüftungsanlage nach Gleichung (24) zu ermitteln.

$$\eta_t = \eta_{WRG} \cdot (1 - \eta_{regLV}) + \eta_{regLV} \quad (24)$$

Dabei ist

η_{WRG} der Gesamtnutzungsgrad der Wärmerückgewinnung, nach Tabelle 3 bzw. nach Abschnitt 6.1.2.2.5;

η_{regLV} der Gesamtnutzungsgrad der regenerativen Luftvorwärmung, nach Tabelle 3 bzw. nach Abschnitt 6.1.2.2.5.

Anmerkung: Bei einer Kombination von Wärmeübertrager und Abluft-Wärmepumpe muss hier vereinfacht mit $\eta_{WRG} = 0$ gerechnet werden. Die Berücksichtigung dieser Kombination erfolgt komplett in Teil 6 der DIN V 18599.

Wird die Zone flächengewichtet unterschiedlich belüftet, dann ist Abschnitt 6.3.2.6 zu berücksichtigen.

Tabelle 3 – Standardwerte für Nutzungsgrade der Wärmerückgewinnung und der regenerativen Luftvorwärmung bei einer mechanischen Lüftungsanlage

	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
$\eta_{WRG,Standard}$	0,60											
$\eta_{WRG,Verbessert}$	0,80											
η_{regLV}^a	0,15	0,07	0,00						0,10	0,24	0,25	0,22
^a Erdreich-Zuluft-Wärmeübertrager (Auslegung nach VDI 4640 Blatt 4, feuchtes Erdreich mit Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 1,5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, Verlegetiefe 1m, Luftleitung aus PVC). Unter Standardbedingungen liegt für die Monate März bis August die monatsmittlere Erdreichtemperatur unter der monatsmittleren Außenlufttemperatur. Für diese Monate kann mit den Zulufttemperaturen ohne Erdreich-Zuluft-Wärmeübertrager gerechnet werden.												

Die Zulufttemperatur wird für den Heizfall ($\theta_{ETA} > \theta_e$) mit Gleichung (25) ermittelt:

$$\theta_{v,mech} = \theta_e + \eta_t \cdot (\theta_{ETA} - \theta_e) \quad (25)$$

Dabei ist

$\theta_{v,mech}$ die mittlere monatliche Zulufttemperatur, in °C;

θ_e die durchschnittliche monatliche Außentemperatur, in °C;

η_t der Gesamtnutzungsgrad der Wärmerückgewinnung und der regenerativen Luftvorwärmung bei einer mechanischen Lüftungsanlage, nach Gleichung (24);

θ_{ETA} die mittlere Ablufttemperatur, in °C (Standardwert 21°C).

Wird die Zone flächengewichtet unterschiedlich belüftet, dann ist Abschnitt 6.3.2.6 zu berücksichtigen.

Bei Zu- und Abluftsystemen mit konstantem Luftvolumenstrom oder bei Zuluftsystemen mit konstantem Luftvolumenstrom erfolgt die Berechnung des gesamten mittleren täglichen Zuluftwechsels nach Gleichung (26).

$$n_{mech,SUP} = \sum_j \left(n_{mech,SUP,j} \cdot \frac{t_{V,mech,j}}{t_d} \right) \quad (26)$$

Dabei ist

$n_{mech,SUP}$ der gesamte mittlere tägliche Zuluftwechsel (bezogen auf das Nettovolumen V der gesamten Zone), in h⁻¹;

$n_{mech,SUP,j}$ der Zuluftwechsel des Lüftungssystems j während der Betriebszeit der Anlage (bezogen auf das Nettovolumen V der gesamten Zone), in h⁻¹;

$t_{V,mech,j}$ die tägliche Betriebsdauer des Lüftungssystems j, in h/d (aus DIN V 18599-10)

t_d die Anzahl der Stunden je Tag.

Die Berücksichtigung zusätzlicher Effekte, wie

- Saisonale Abschaltung,
- Intermittierender Betrieb (Nacht- und Wochenendbetrieb),
- Mehrstufig wählbarer Anlagenvolumenstrom (z.B. Reduzierte, Nenn- und Intensivlüftung nach DIN 1946-6)
- Nutzerunabhängige Bedarfsregelung des Anlagenvolumenstroms anhand einer geeigneten Führungsgröße unter Nachweis von unbedenklichen hygienischen und bauphysikalischen Luftverhältnissen nach anerkannten Regeln der Technik

ermöglicht monatsweise Gleichung (27).

$$n_{mech,SUP} = \sum_j n_{mech,SUP,j} = \sum_j \frac{\sum_i (n_{mech,SUP,i,j} \cdot t_{rv,mech,day,i,j} \cdot d_{rv,mech,i,j})}{t_d \cdot d_{mth}} \quad (27)$$

Dabei ist

$n_{mech,SUP}$ der gesamte mittlere Zuluftwechsel (im Monat) (bezogen auf das Nettovolumen V der gesamten Zone), in h⁻¹;

$n_{mech,SUP,j}$ der mittlere tägliche Zuluftwechsel des Lüftungssystems j (bezogen auf das Nettovolumen V der gesamten Zone), in h⁻¹;

$n_{mech,SUP,i,j}$	der Zuluftwechsel in Ventilatorstufe i des Lüftungssystems j (bezogen auf das Nettovolumen V der gesamten Zone), in h^{-1} ;
$t_{rv,mech,day,i,j}$	die Betriebsstunden in Ventilatorstufe i des Lüftungssystems j je Tag (siehe Tabelle 4), in h/d ;
$d_{rv,mech,i,j}$	die Betriebstage in Ventilatorstufe i des Lüftungssystems j im Monat (siehe Tabelle 4), in d/mth ;
t_d	die Anzahl der Stunden je Tag;
d_{mth}	die Anzahl der Tage im Monat, in d/mth .

Die monatliche Gesamtbetriebszeit des Lüftungssystems j berechnet sich nach Gleichung (28).

$$t_{rv,mech,j} = \sum_i (t_{rv,mech,day,i,j} \cdot d_{rv,mech,i,j}) \quad (28)$$

Dabei ist

$t_{rv,mech,j}$	die monatliche Gesamtbetriebszeit des Lüftungssystems j , in h/mth ;
$t_{rv,mech,day,i,j}$	die Betriebsstunden in Ventilatorstufe i des Lüftungssystems j je Tag (siehe Tabelle 4), in h/d ;
$d_{rv,mech,i,j}$	die Betriebstage in Ventilatorstufe i des Lüftungssystems j im Monat (siehe Tabelle 4), in d/mth .

Tabelle 4 – Allgemeine Randbedingungen zur Bestimmung der Betriebszeit $t_{rv,mech,mth}$

Kennwerte	Zeichen	Einheit	Wert
Betriebsstunden je Tag	$t_{rv,mech,day}$	h/d	24
Betriebstage je Monat	$d_{rv,mech}$	d/mth	Sept. bis Mai
- Betrieb mit Sommerabschaltung der Lüftungsanlage - Ganzjahresbetrieb			Jan bis Dez ^a
^a Betrieb ganzjährig: an allen Tagen von Januar bis Dezember (in Verbindung mit Außerbetriebnahme des Wärmeübertragers im Sommer, z.B. durch Bypass oder Sommerkassette).			

Der Abluft-Luftwechsel ist bei einer Abluftanlage mit konstantem Luftvolumenstrom oder einer Zu-/Abluftanlage mit konstantem Luftvolumenstrom wie folgt anzusetzen und resultiert aus Planungswerten:

$$n_{mech,ETA} = \sum_j \left(n_{mech,ETA,j} \cdot \frac{t_{v,mech,j}}{t_d} \right) \quad (29)$$

Dabei ist

- $n_{mech,ETA}$ der gesamte mittlere tägliche Abluftwechsel (bezogen auf das Nettovolumen V der gesamten Zone), in h^{-1} ;
- $n_{mech,ETA,j}$ der Abluftwechsel des Lüftungssystems j während der Betriebszeit der Anlage (bezogen auf das Nettovolumen V der gesamten Zone), in h^{-1} ;
- $t_{V,mech,j}$ die tägliche Betriebsdauer des Lüftungssystems j , in h/d (aus DIN V 18599-10)
- t_d die Anzahl der Stunden je Tag.

Die Berücksichtigung zusätzlicher Effekte, wie

- Saisonale Abschaltung,
- Intermittierender Betrieb (Nacht- und Wochenendbetrieb),
- Mehrstufig wählbarer Anlagenvolumenstrom (z.B. Reduzierte, Nenn- und Intensivlüftung nach DIN 1946-6)
- Nutzerunabhängige Bedarfsregelung des Anlagenvolumenstroms anhand einer geeigneten Führungsgröße unter Nachweis von unbedenklichen hygienischen und bauphysikalischen Luftverhältnissen nach anerkannten Regeln der Technik

ermöglicht monatsweise Gleichung (30).

$$n_{mech,ETA} = \sum_j n_{mech,ETA,j} = \sum_j \frac{\sum_i (n_{mech,ETA,i,j} \cdot t_{rv,mech,day,i,j} \cdot d_{rv,mech,i,j})}{t_d \cdot d_{mth}} \quad (30)$$

Dabei ist

- $n_{mech,ETA}$ der gesamte mittlere Abluftwechsel (im Monat) (bezogen auf das Nettovolumen V der gesamten Zone), in h^{-1} ;
- $n_{mech,ETA,j}$ der mittlere tägliche Abluftwechsel des Lüftungssystems j (bezogen auf das Nettovolumen V der gesamten Zone), in h^{-1} ;
- $n_{mech,ETA,i,j}$ der Abluftwechsel in Ventilatorstufe i des Lüftungssystems j (bezogen auf das Nettovolumen V der gesamten Zone), in h^{-1} ;
- $t_{rv,mech,day,i,j}$ die Betriebsstunden in Ventilatorstufe i des Lüftungssystems j je Tag (siehe Tabelle 4), in h/d ;
- $d_{rv,mech,i,j}$ die Betriebstage in Ventilatorstufe i des Lüftungssystems j im Monat (siehe Tabelle 4), in d/mth ;
- t_d die Anzahl der Stunden je Tag;
- d_{mth} die Anzahl der Tage im Monat, in d/mth .

Standardwerte für Abluftanlage

Der Zuluft-Luftwechsel ist nach Gleichung (31) zu ermitteln:

$$n_{mech,SUP} = 0h^{-1} \quad (31)$$

Der Abluft-Luftwechsel ist nach Gleichung (32) bzw. Gleichung (33) anzusetzen:

$$n_{mech,ETA} = n_{mech,ETA,dc} = 0,35h^{-1} \quad (32)$$

$$n_{mech,ETA} = n_{mech,ETA,ndc} = 0,4h^{-1} \quad (33)$$

Standardwerte für Zuluftanlage

Der Zuluft-Luftwechsel ist nach Gleichung (34) bzw. Gleichung (35) anzusetzen:

$$n_{mech,SUP} = n_{mech,SUP,dc} = 0,35h^{-1} \quad (34)$$

$$n_{mech,SUP} = n_{mech,SUP,ndc} = 0,40h^{-1} \quad (35)$$

Der Abluft-Luftwechsel ist bei einer Zuluftanlage wie folgt anzusetzen:

$$n_{mech,ETA} = 0h^{-1} \quad (36)$$

Standardwerte für Zu-/Abluftanlage

Der Zuluft-Luftwechsel ist nach Gleichung (37) bzw. Gleichung (38) anzusetzen:

$$n_{mech,SUP} = n_{mech,SUP,dc} = 0,35h^{-1} \quad (37)$$

$$n_{mech,SUP} = n_{mech,SUP,ndc} = 0,40h^{-1} \quad (38)$$

Der Abluft-Luftwechsel ist bei einer balancierten Zu-/Abluftanlage wie folgt anzusetzen:

$$n_{mech,ETA} = n_{mech,SUP} \quad (39)$$

Der Abluft-Luftwechsel resultiert bei einer unbalancierten Zu-/Abluftanlage aus Planungswerten mit Gleichung (29) oder Gleichung (30).

6.3.2.3 Gesamtnutzungsgrad der Wärmerückgewinnung und der regenerativen Luftvorwärmung

Für die Bestimmung des Gesamtnutzungsgrad der Wärmerückgewinnung ist der Prüfwert des Temperaturänderungsgrades η'_{WRG} zu verwenden. Der Prüfwert des Temperaturänderungsgrades charakterisiert die Temperaturerhöhung der Zuluft, bezogen auf die maximal mögliche Temperaturerhöhung. Der Temperaturänderungsgrad kann als Heizperiodenmittel angegeben werden. In den Prüfwert des Temperaturänderungsgrades des Lüftungsgerätes gehen neben der Betriebscharakteristik des Wärmeübertragers (WÜT) auch die Abwärme von elektrischen Komponenten (Ventilatoren, Regelung) und die thermischen Auswirkungen von inneren Geräteleckagen ein.

Als Prüfwert des Temperaturänderungsgrades des Lüftungsgerätes können die im Rahmen der nationalen Zulassung der Lüftungsgeräte bestimmten Kennwerte

- Wärmebereitstellungsgrad, oder

- Temperaturänderungsgrad auf Basis europäischer Prüfnormen (DIN EN 13142 in Verbindung mit DIN EN 308 bzw. DIN EN 13141-7 sowie DIN EN 13141-8)

eingesetzt werden. Diese Kennwerte sind mit hinreichender Genauigkeit vergleichbar, eine Umrechnung muss nicht erfolgen.

Bei Verwendung anderer Prüfwerte sind diese unter Beachtung der eventuell abweichenden Prüfbedingungen entsprechend umzurechnen.

Bei der Berechnung der Zulufttemperatur ist das Verhalten des Lüftungsgerätes während des Abtaubetriebes zu beachten. Prinzipiell kann unterschieden werden zwischen:

- a) Abschaltung bzw. Reduzierung der Drehzahl des Zuluftventilators;
- b) Vorwärmung der Außenluft mit einem Heizregister (elektrisch oder Wasserheizung);
- c) Vorwärmung der Außenluft mit einem Erdreich-Zuluft-Wärmeübertrager.

Die Abschaltung des Zuluftventilators zum Abtauen des Lüftungsgerätes in Abhängigkeit von der Außentemperatur wird in Gleichung (40) durch einen Abschlag berücksichtigt.

Erfolgt die Vorwärmung der Außenluft mit einem Heizregister, ist keine Korrektur des Gesamtnutzungsgrades der Wärmerückgewinnung in Gleichung (40) erforderlich.

Die Wärmeverluste über die Geräteoberfläche sind nach Gleichung (40) in Abhängigkeit von der Wärmedämmung des Gerätegehäuses und vom Aufstellungsort des Lüftungsgerätes zu berücksichtigen.

Die Dichtheit des Lüftungsgerätes und die daraus resultierenden Leckageverluste sind ebenfalls in Gleichung (40) zu berücksichtigen.

Die Zuluft- und Abluftvolumenströme sind mit geeigneten Komponenten so einzustellen, dass dadurch dauerhaft eine Volumenstrombalance sichergestellt ist. Eine Abweichung des Abluftvolumenstroms um $\pm 10\%$ vom Zuluftvolumenstrom ist zulässig.

Die in Gleichung (40) enthaltenen Korrekturen des Prüfwertes des Temperaturänderungsgrades sind nur durchzuführen, wenn

- sie nicht bei der Prüfung der Lüftungsgeräte berücksichtigt worden sind oder
- die Einbaubedingungen von den Prüfbedingungen abweichen

$$\eta_{WRG,j} = \eta'_{WRG,j} \cdot (1 - f_{v,exch,frost,j} - f_{v,exch,loss,j} - f_{v,exch,tight,j}) \quad (40)$$

Dabei ist

- $\eta_{WRG,j}$ der Gesamtnutzungsgrad der Wärmerückgewinnung im Lüftungsgerät j;
- $\eta'_{WRG,j}$ der Prüfwert des Temperaturänderungsgrades des Lüftungsgerätes j im Heizperiodenmittel (ohne Berücksichtigung Frostbetrieb, Wärmeverluste und Gerätedichtheit);
- $f_{v,exch,frost,j}$ der Faktor zur Berücksichtigung des Abtaubetriebes des Lüftungsgerätes j;
- $f_{v,exch,loss,j}$ der Faktor zur Berücksichtigung der Wärmeverluste des Lüftungsgerätes j;
- $f_{v,exch,tight,j}$ der Faktor zur Berücksichtigung der Dichtheit des Lüftungsgerätes j.

Für allgemeine Randbedingungen zur Bestimmung des Gesamtnutzungsgrads der Wärmerückgewinnung siehe Tabelle 5.

Tabelle 5 – Allgemeine Randbedingungen zur Bestimmung des Gesamtnutzungsgrads η_{WRC}

Kennwerte		Zeichen	Einheit	Wert		
Frostschutzbetrieb						
Abschalten Zuluftventilator bei Außentemperaturen	$\geq -6^{\circ}\text{C}$	$f_{v,exch,frost}$	-	0,060		
	$< -6^{\circ}\text{C}$			0,040		
	$< -9^{\circ}\text{C}$			0,020		
	$< -12^{\circ}\text{C}$			0,000		
Reduzierung Zuluftvolumenstrom bei Außentemperaturen	$\geq -6^{\circ}\text{C}$			0,015		
	$< -6^{\circ}\text{C}$			0,010		
	$< -9^{\circ}\text{C}$			0,000		
Regenerative Luftvorwärmung ^a						0,000
Heizregister zur Luftvorwärmung						0,000
Abluft-Zuluft-WP mit 2. Kondensator zur Luftvorwärmung ^b						0,000
Wärmeverluste des Lüftungsgerätes						
Aufstellung im beheizten Bereich		$f_{v,exch,loss}$	-	0,000		
Aufstellung im unbeheizten Bereich mit $R_{\lambda}^c \geq 0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$				0,000		
Aufstellung im unbeheizten Bereich mit $R_{\lambda}^c < 0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$				0,020		
Dichtheit des Lüftungsgerätes						
Leckage $< 2,5\% \cdot \dot{V}_{mech,m}^d$ bei Über- /Unterdruck von 100Pa		$f_{v,exch,tight}$	-	0,000		
Leckage $< 5\% \cdot \dot{V}_{mech,m}^d$ bei Über- /Unterdruck von 100Pa				0,010		
^a Die regenerative Luftvorwärmung wird separat berücksichtigt. ^b Der 2. Kondensator befindet sich im Außenluftvolumenstrom vor dem Wärmeübertrager und verhindert dessen Vereisung. ^c Wärmeleitwiderstand des Gehäuses des Lüftungsgerätes. ^d Mittelwert des Volumenstrombereichs des Lüftungsgerätes.						

Bei Lüftungsanlagen, die bis 1999 errichtet worden sind, ist der Gesamtnutzungsgrad der Wärmerückgewinnung des Lüftungsgerätes um 10% (Standard: 0,54/verbessertes Standard: 0,72) zu reduzieren.

Eine Erhöhung der Zulufttemperatur durch regenerative Luftvorwärmung kann durch

- Erdreich-Zuluft-Wärmeübertrager (EWÜT),
- Erdreich-Sole-Zuluft-Wärmeübertrager (E-S-WÜT) oder
- Solar-Zuluft-Kollektoren (S-KOL)

erfolgen.

Die monatweise Bilanzierung der mittleren Erhöhung der Zulufttemperatur durch Erdreich-Zuluft-Wärmeübertrager (bzw. der Zulufttemperatur nach dem Erdreich-Zuluft-Wärmeübertrager) kann nach DIN EN 15241:2007-09, Anhang A in Abhängigkeit von

- (monatsmittlerer) Außentemperatur,
- (monatsmittlerer) Erdreichtemperatur,
- Beschaffenheit Erdreich,
- Länge, Querschnitt und Verlegetiefe des Erdreich-Zuluft-Wärmeübertragers,
- Material und Wanddicke des Erdreich-Zuluft-Wärmeübertragers und
- Luftvolumenstrom

erfolgen. Standardwerte für den Gesamtnutzungsgrad der regenerativen Luftvorwärmung durch Erdreich-Zuluft-Wärmeübertrager sind in Tabelle 3 angegeben (Randbedingungen: Auslegung nach VDI 4640 Blatt 4, feuchtes Erdreich mit Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 1,5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, Verlegetiefe 1m, Luftleitung aus PVC).

Die mittlere Erhöhung der Zulufttemperatur bzw. der Gesamtnutzungsgrad der regenerativen Luftvorwärmung durch Erdreich-Sole-Zuluft-Wärmeübertrager kann mit sinngemäßer und physikalisch begründeter Anwendung des Bilanzverfahrens nach DIN EN 15241:2007-09, Anhang A, unter Beachtung des zusätzlichen Sole-Zuluft-Wärmeübertragers erfolgen.

Die mittlere Erhöhung der Zulufttemperatur bzw. der Gesamtnutzungsgrad der regenerativen Luftvorwärmung durch Solar-Zuluft-Kollektoren kann mit sinngemäßer und physikalisch begründeter Anwendung des Bilanzverfahrens nach DIN V 18599-5 und DIN V 18599-8, auf Basis von Prüfwerten nach DIN EN 12976-1, DIN EN 12976-2 und DIN EN ISO 9806 erfolgen.

6.3.2.4 Bestimmung des Fensterluftwechsels

In den Fensterluftwechsel ist der Luftwechsel durch Fenster, Türen und andere Öffnungen nach außen, einschließlich Nachströmöffnungen für Lüftungsanlagen einzubeziehen. Der Fensterluftwechsel ist als Tagesmittelwert aus dem vorgegebenen nutzungsbedingt notwendigen Außenluftwechsel zu bestimmen. Anzurechnen ist dabei eine Verminderung des Fensterluftwechsels in Abhängigkeit der Infiltration.

Der Faktor zur saisonalen Anpassung des Fensterluftwechsels ist als Funktion der monatlichen Außenlufttemperatur definiert:

$$f_{win,seasonal} = 0,04 \cdot \theta_e + 0,8 \quad (41)$$

Dabei ist

$f_{win,seasonal}$ der Faktor zur saisonalen Anpassung (en: seasonal) des Fensterluftwechsels

θ_e die durchschnittliche monatliche Außentemperatur, in °C.

Der Faktor für die saisonale Anpassung des Fensterluftwechsels für die Heizmonate i wird berechnet zu:

$$f_{win} = f_{win,seasonal,i} \quad (42)$$

Dabei ist

f_{win} der Faktor für die saisonale Anpassung des Fensterluftwechsels für die Heizmonate i ;

$f_{win,seasonal,i}$ der Faktor zur saisonalen Anpassung (en: seasonal) des Fensterluftwechsels im Heizmonat i ;

Als Heizmonat gelten die Monate, für die ein Nutzwärmebedarf $Q_{h,b,mth} > 0$ gilt.

Soweit in der Zone Öffnungen (z.B. öffnbare Fenster oder Außenluftdurchlässe) zur Außenluft vorhanden sind, ist unabhängig von Infiltrations- und Anlagenluftwechsel ein Mindestwert von $n_{win,min} = 0,1 \text{ h}^{-1}$ für den Fensterluftwechsel anzusetzen. Bei Zonen, die keine Durchlässe nach außen haben, ist der Fensterluftwechsel zu vernachlässigen.

$$\text{Mit Öffnungen zur Außenluft} \quad n_{win,min} = 0,1 \text{ h}^{-1} \quad (43)$$

$$\text{Ohne Öffnungen zur Außenluft} \quad n_{win,min} = 0 \text{ h}^{-1} \quad (44)$$

Der mittlere tägliche Fensterluftwechsel für eine Zone mit mechanischer Lüftungsanlage ist nach Gleichung (45) zu ermitteln.

$$n_{win} = n_{win,min} \cdot f_{win} + \Delta n_{win,mech} \quad (45)$$

Dabei ist

n_{win} der mittlere tägliche Fensterluftwechsel;

$n_{win,min}$ der Mindestwert Fensterluftwechsel, $n_{win,min} = 0,1 \text{ h}^{-1}$;

f_{win} der Faktor für die saisonale Anpassung des Fensterluftwechsels für die Heizmonate i , nach Gleichung (42).

$\Delta n_{win,mech}$ der zusätzliche Fensterluftwechsel während der Betriebszeit der mechanischen Lüftungsanlage;

Unter Berücksichtigung der Infiltration gilt für den zusätzlichen, nutzungsbedingt notwendigen Luftwechsel $\Delta n_{win,mech,0}$:

$$\Delta n_{win,mech,0} = \max \left[0; n_{nutz} - \frac{n_{nutz} - 0,2 \text{ h}^{-1}}{\text{h}^{-1}} \cdot n_{inf,0} \cdot f_e - 0,1 \text{ h}^{-1} \right] \quad (46)$$

Dabei ist

$\Delta n_{win,mech,0}$ der zusätzliche nutzungsbedingt notwendige Luftwechsel;

$n_{inf,0}$ der mittlere tägliche Infiltrationsluftwechsel bei abgeschalteter mechanischen Lüftungsanlage nach Gleichung (47);

f_e der Faktor zur Bewertung der durch die mechanische Lüftungsanlage vermehrten bzw. verminderten Infiltration nach Gleichung (16) bzw. Gleichung (17).

Der mittlere tägliche Infiltrationsluftwechsel bei abgeschalteter mechanischen Lüftungsanlage ist nach Gleichung (47) zu bestimmen:

$$n_{inf,0} = n_{50} \cdot e \cdot f_{ATD} \quad (47)$$

Dabei ist

n_{50} der Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz

e der Volumenstromkoeffizient, als Standardwert gilt: $e = 0,07$ (entspricht Abschirmungskoeffizient nach DIN EN ISO 13789 bei gemäßigter Abschirmung, mehr als eine Fassade dem Wind ausgesetzt);

f_{ATD} der Faktor zur Berücksichtigung von Außenluftdurchlässen (en: air transfer device, ATD) nach Gleichung (14) bzw. Gleichung (13).

Abluftanlage

Der zusätzliche Fensterluftwechsel während der Betriebszeit der Abluftanlage ist nach Gleichung (48) bzw. Gleichung (49) unter Berücksichtigung der beschriebenen Bedingungen zu ermitteln.

Der nutzungsbedingte Mindestluftwechsel wird nicht über die Zuluft der Abluftanlage und durch Infiltration gedeckt oder es ist keine Zuluft vorhanden und

A1) der notwendige Frischluftwechsel wird über den Fensterluftwechsel ergänzt. Zum Ausgleich des Abluftvolumenstroms ist keine zusätzliche Nachströmung erforderlich,

A2) der Abluftvolumenstrom übersteigt den über den nutzungsbedingt vorgegebenen Luftvolumenstrom. Eine zusätzliche Nachströmung (z.B. über ATD) ist erforderlich.

$$A1) n_{mech,ETA} \leq (\Delta n_{win,mech,0} + n_{inf,0}):$$

$$\Delta n_{win,mech} = \Delta n_{win,mech,0} - n_{mech,SUP} \quad (48)$$

$$A2) n_{mech,ETA} > (\Delta n_{win,mech,0} + n_{inf,0}):$$

$$\Delta n_{win,mech} = n_{mech,ETA} - n_{mech,SUP} - n_{inf,0} \quad (49)$$

Dabei ist

$\Delta n_{win,mech}$ der zusätzliche Fensterluftwechsel während der Betriebszeit der Abluftanlage

$n_{mech,ETA}$ der Abluftwechsel der Abluftanlage, nach Gleichung (32) bzw. Gleichung (33);

$\Delta n_{win,mech,0}$ der zusätzliche nutzungsbedingt notwendige Luftwechsel nach Gleichung (46);

$n_{inf,0}$ der mittlere tägliche Infiltrationsluftwechsel bei abgeschalteter Abluftanlage nach Gleichung (47);

$n_{mech,SUP}$ der Zuluftwechsel der Abluftanlage, nach Gleichung (31);

Zuluftanlage

Der zusätzliche Fensterluftwechsel während der Betriebszeit der Zuluftanlage ist nach Gleichung (50) bzw. Gleichung (51) unter Berücksichtigung der beschriebenen Bedingungen zu ermitteln.

Z1) Der nutzungsbedingte Mindestluftwechsel wird über die Zuluft durch die Zuluftanlage und zum Teil durch Infiltration gedeckt und zum Ausgleich des Abluftvolumenstroms ist keine zusätzliche Nachströmung erforderlich,

Z2) Der nutzungsbedingte Mindestluftwechsel wird nicht über die Zuluft der Zuluftanlage und durch Infiltration gedeckt oder es ist keine Zuluft vorhanden und der notwendige Frischluftwechsel wird über den Fensterluftwechsel ergänzt. Zum Ausgleich des Abluftvolumenstroms ist keine zusätzliche Nachströmung erforderlich.

$$Z1) \Delta n_{win,mech,0} \leq n_{mech,SUP}$$

$$\Delta n_{win,mech} = 0h^{-1} \quad (50)$$

$$Z2) \Delta n_{win,mech,0} > n_{mech,SUP}$$

$$\Delta n_{win,mech} = \Delta n_{win,mech,0} - n_{mech,SUP} \quad (51)$$

Dabei ist

$\Delta n_{win,mech}$ der zusätzliche Fensterluftwechsel während der Betriebszeit der Zuluftanlage;

$n_{mech,ETA}$ der Abluftwechsel der Zuluftanlage, nach Gleichung (36);

$\Delta n_{win,mech,0}$ der zusätzliche nutzungsbedingt notwendige Luftwechsel nach Gleichung (46);

$n_{inf,0}$ der mittlere tägliche Infiltrationsluftwechsel bei abgeschalteter Zuluftanlage nach Gleichung (47);

$n_{mech,SUP}$ der Zuluftwechsel der Zuluftanlage, nach Gleichung (34) bzw. Gleichung (35);

Zu-/Abluftanlage

Der zusätzliche Fensterluftwechsel während der Betriebszeit der Zu-/Abluftanlage ist nach Gleichung (52) bis Gleichung (55) unter Berücksichtigung der beschriebenen Bedingungen zu ermitteln.

ZA1) Der nutzungsbedingte Mindestluftwechsel wird über die Zuluft der Zu-/Abluftanlage und zum Teil durch Infiltration gedeckt und zum Ausgleich des Abluftvolumenstroms ist keine zusätzliche Nachströmung erforderlich.

ZA2) Der nutzungsbedingte Mindestluftwechsel wird über die Zuluft der Zu-/Abluftanlage und zum Teil durch Infiltration gedeckt und der Abluftvolumenstrom übersteigt die durch Zuluft und Infiltration einströmende Luft. Eine zusätzlich Nachströmung (z.B. über ATD) ist erforderlich.

ZA3) Der nutzungsbedingte Mindestluftwechsel wird nicht über die Zuluft durch die Zu-/Abluftanlage und durch Infiltration gedeckt und der notwendige Frischluftwechsel wird über den Fensterluftwechsel ergänzt. Zum Ausgleich des Abluftvolumenstroms ist keine zusätzliche Nachströmung erforderlich,

ZA4) Der nutzungsbedingte Mindestluftwechsel wird nicht über die Zuluft durch die Zu-/Abluftanlage und durch Infiltration gedeckt und der Abluftvolumenstrom übersteigt den über den nutzungsbedingt vorgegebenen Luftstrom. Eine zusätzliche Nachströmung (z.B. über ATD) ist erforderlich.

$$\text{ZA1)} \Delta n_{win,mech,0} \leq n_{mech,SUP} \text{ UND } n_{mech,ETA} \leq (n_{mech,SUP} + n_{inf,0})$$

$$\Delta n_{win,mech} = 0h^{-1} \quad (52)$$

$$\text{ZA2)} \Delta n_{win,mech,0} \leq n_{mech,SUP} \text{ UND } n_{mech,ETA} > (n_{mech,SUP} + n_{inf,0})$$

$$\Delta n_{win,mech} = n_{mech,ETA} - n_{mech,SUP} - n_{inf,0} \quad (53)$$

$$\text{ZA3)} \Delta n_{win,mech,0} > n_{mech,SUP} \text{ UND } n_{mech,ETA} \leq (\Delta n_{win,mech,0} + n_{inf,0}):$$

$$\Delta n_{win,mech} = \Delta n_{win,mech,0} - n_{mech,SUP} \quad (54)$$

$$\text{ZA4)} \Delta n_{win,mech,0} > n_{mech,SUP} \text{ UND } n_{mech,ETA} > (\Delta n_{win,mech,0} + n_{inf,0}):$$

$$\Delta n_{win,mech} = n_{mech,ETA} - n_{mech,SUP} - n_{inf,0} \quad (55)$$

Dabei ist

$\Delta n_{win,mech}$ der zusätzliche Fensterluftwechsel während der Betriebszeit der Zu-/Abluftanlage

$n_{mech,ETA}$ der Abluftwechsel der Zu-/Abluftanlage, nach Gleichung (39) bzw. nach Gleichung (29) oder Gleichung (30);

$\Delta n_{win,mech,0}$ der zusätzliche nutzungsbedingt notwendige Luftwechsel nach Gleichung (46);

$n_{inf,0}$ der mittlere tägliche Infiltrationsluftwechsel bei abgeschalteter Zu-/Abluftanlage nach Gleichung (47);

$n_{mech,SUP}$ der Zuluftwechsel der Zu-/Abluftanlage, nach Gleichung (37) bzw. Gleichung (38).

6.3.2.5 Bestimmung des Gesamluftwechsels

Der energetisch wirksame Gesamluftwechsel einer Zone wird nach Gleichung (56) für die Bestimmung der Wärmesenken und nach Gleichung (57) für die Bestimmung der Wärmequellen ermittelt:

$$n_{sink} = n_{inf} + n_{win} + n_{mech,sink} \quad (56)$$

$$n_{source} = n_{mech,source} \quad (57)$$

Dabei ist

n_{sink} der Gesamluftwechsel der Zone zur Bestimmung der Wärmesenken;

n_{source}	der Gesamtluftwechsel der Zone zur Bestimmung der Wärmequellen;
n_{inf}	der Tagesmittelwert des Infiltrationsluftwechsels, nach Gleichung (12);
n_{win}	der mittlere tägliche Fensterluftwechsel, nach Gleichung (45);
$n_{mech,sink}$	der über den Tag gemittelte Luftwechsel durch die mechanische Lüftungsanlage für die Bestimmung der Wärmesenken;
$n_{mech,source}$	der über den Tag gemittelte Luftwechsel durch die mechanische Lüftungsanlage für die Bestimmung der Wärmequellen.

Anmerkung: Zur Bestimmung der Wärmequellen wird für den Gesamtluftwechsel der Zone n_{source} der Tagesmittelwert des Infiltrationsluftwechsels und der mittlere tägliche Fensterluftwechsel vernachlässigt, da die monatsmittlere Außentemperatur in der Regel kleiner als die Bilanz-Innentemperatur ist.

Anmerkung: Der tatsächliche bzw. hygienisch wirksame Gesamtluftwechsel kann als Summe aus dem Infiltrationsluftwechsel n_{inf} , dem Fensterluftwechsel n_{win} und dem Zuluftwechsel der Lüftungsanlage $n_{mech,SUP}$ berechnet werden.

Wird die Zone flächengewichtet unterschiedlich belüftet, dann ist Abschnitt 6.3.2.6 zu berücksichtigen.

6.3.2.6 Berücksichtigung von Teillüftung

Wird die Zone nur flächenanteilig ventilatorgestützt gelüftet (z.B. zentrales Zu-/Abluftsystem nicht für alle Räume (Lüftungsbereich 1) und Fensterlüftung in den übrigen Räumen (Lüftungsbereich 2)) oder existieren unterschiedliche ventilatorgestützte Lüftungssysteme (z.B. dezentrale Zu-/Abluftgeräte für einzelne Räume in Kombination mit einer Abluftanlage), dann wird der Luftwechselanteil für Infiltration, Fensteröffnen und mechanische Lüftung flächengewichtet bestimmt:

$$n_k = \frac{n_{k,1} \cdot A_{NGF,rv,1} + n_{k,2} \cdot A_{NGF,rv,2} + \dots}{A_{NGF}} = \frac{\sum_j n_{k,j} \cdot A_{NGF,rv,j}}{A_{NGF}} \quad (58)$$

Dabei ist

n_k	der Luftwechsel der Zone unter Berücksichtigung von Teillüftung für Infiltration oder Fensteröffnen oder mechanische Lüftung (bezogen auf das Nettovolumen V der gesamten Zone);
$n_{k,j}$	der Luftwechsel (Lüftungsart k: Infiltration oder Fensteröffnen oder mechanische Lüftung) des Lüftungsbereichs j, unter Berücksichtigung von Abschnitt 6.3.1 für einen Luftwechsel ohne mechanische Lüftung und unter Berücksichtigung von Abschnitt 6.3.2 für einen Luftwechsel mit mechanischer Lüftung (bezogen auf das Nettovolumen V der gesamten Zone);
$A_{NGF,rv,j}$	die mit dem Lüftungsbereich j gelüftete Nettogrundfläche (nach Auslegung), in m^2 ;
A_{NGF}	die Nettogrundfläche (aus DIN V 18599-2), in m^2 .

Für die Bestimmung der Kenngrößen $n_{mech,sink}$ und $n_{mech,source}$ nach Gleichung (20) und (21) erfolgt die Berechnung der Gesamtnutzungsgrade für die regenerative Luftvorwärmung und Wärmerückgewinnung nach Gleichung (59) und Gleichung (60):

$$\eta_{regLV} = \sum_j \frac{n_{k,j}}{n_k} \eta_{regLV,j} \quad (59)$$

$$\eta_{WRG} = \sum_j \frac{n_{k,j}}{n_k} \eta_{WRG,j} \quad (60)$$

Für Ermittlung der Wärmequellen nach Gleichung (66) erfolgt die Berechnung der mittleren Zulufttemperatur unter Berücksichtigung von Teillüftung nach Gleichung (61).

$$\theta_{v,mech} = \theta_e + \sum_j \eta_{t,j} \cdot (\theta_{ETA} - \theta_e) \quad (61)$$

Dabei ist

$\theta_{v,mech}$ die mittlere monatliche Zulufttemperatur, in °C;

θ_e die durchschnittliche monatliche Außentemperatur, in °C;

$\eta_{t,j}$ der Gesamtnutzungsgrad der Wärmerückgewinnung und der regenerativen Luftvorwärmung bei einer mechanischen Lüftungsanlage für den Lüftungsbereich j, nach Gleichung (24);

θ_{ETA} die mittlere Ablufttemperatur, in °C (Standardwert 21°C).

6.4 Lüftungswärmesenken/ -quellen für Wohngebäude

Der Wärmetransferkoeffizient berechnet sich nach Gleichung für die Wärmesenken und nach Gleichung für die Wärmequellen

$$H_{V,sink} = n_{sink} \cdot V \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a \quad (62)$$

$$H_{V,source} = n_{source} \cdot V \cdot c_{p,a} \cdot \rho_a \quad (63)$$

Dabei ist

$H_{V,sink}$ der Wärmetransferkoeffizient für die Bestimmung der Wärmesenken;

$H_{V,source}$ der Wärmetransferkoeffizient für die Bestimmung der Wärmequellen;

n_{sink} der Gesamtluftwechsel des Gebäudes nach Gleichung (11), Gleichung (56) bzw. Gleichung (58);

n_{source} der Gesamtluftwechsel des Gebäudes nach Gleichung (11), Gleichung (56) bzw. Gleichung (58);

V das Nettovolumen der Zone;

$c_{p,a}$ die spezifische Wärmekapazität von Luft;

ρ_a die Dichte von Luft.

$c_{p,a} \cdot \rho_a$ ist zu $0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ zu setzen.

Wärmesenken und Wärmequellen infolge von Lüftung einer Zone ohne/mit mechanische Lüftungsanlage sind wie folgt zu berechnen:

Wärmesenke:

Für $\theta_i > \theta_e$ ohne mechanische Lüftung und für $\theta_i > \theta_e$ mit mechanischer Lüftung:

$$Q_{V,sink} = H_{V,sink} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad (64)$$

Wärmequelle:

Ohne mechanische Lüftung:

$$Q_{V,source} = 0 \quad (65)$$

Für $\theta_i < \theta_{v,mech}$ mit mechanischer Lüftung:

$$Q_{V,source} = H_{V,source} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad (66)$$

Dabei ist

- | | |
|----------------|---|
| $H_{V,sink}$ | der Wärmetransferkoeffizient nach Gleichung (62) für die Bestimmung der Wärmesenken; |
| $H_{V,source}$ | der Wärmetransferkoeffizient nach Gleichung (63) für die Bestimmung der Wärmequellen; |
| θ_i | die Bilanz-Innentemperatur der Zone, $\theta_{i,h}$ nach 6.1.2 für die Heizwärmebilanz bzw. $\theta_{i,c}$ nach 6.1.3 für die Kühlbilanz; |
| θ_e | die durchschnittliche monatliche Außentemperatur; |
| t | die Dauer des Berechnungszeitraums ($t = 24h$). |

Entwurf eines Anhangs für DIN V 18599-2:202X

Anhang A

(informativ)

Lüftungssysteme

A.1 Darstellung und Kennzeichnung der Lüftungssysteme

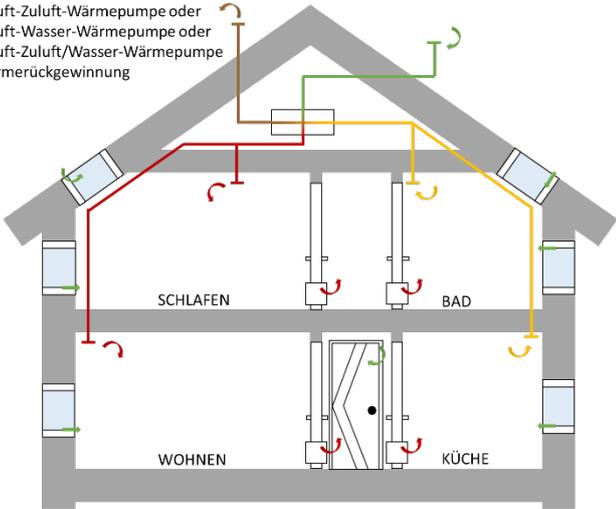
A.1.1 Luftwechsel ohne mechanische Lüftung

A.1.2 Luftwechsel mit mechanischer Lüftung

A.1.2.1 Zuluftanlage

A.1.2.2 Abluftanlage

A.1.2.3 Zu-/Abluftanlage

Luftwechsel mit Zu-/Abluftanlage (Zentralgerät)				
<p>Luftwechsel mit mechanischer Lüftung Zu-/Abluftsystem Mit Abluft-Zuluft-Wärmepumpe oder Mit Abluft-Wasser-Wärmepumpe oder Mit Abluft-Zuluft/Wasser-Wärmepumpe Mit Wärmerückgewinnung</p> 				
Kennwert	Zeichen	Einheit	Auswahl (Standardwert)	Gleichung
Infiltrationsluftwechsel				
Tagesmittelwert des Infiltrationsluftwechsel	n_{inf}	h^{-1}	-	(12)
Faktor zur Berücksichtigung von Außenluftdurchlässen	f_{ATD}	-	Ohne ALD Mit ALD	(13) (14)
Faktor zur Bewertung der durch die mechanische Lüftungsanlage vermehrten oder verminderten Infiltration	f_e	-	Balanciert Unbalanciert	(16) (17)
Anlagenluftwechsel				
Über den Tag gemittelte Luftwechsel durch die Zu-/Abluftanlage für die Bestimmung der Wärmesenken	$n_{mech,sink}$	h^{-1}	-	(20)
Über den Tag gemittelte Luftwechsel durch die Zu-/Abluftanlage für die Bestimmung der Wärmequellen	$n_{mech,source}$	h^{-1}	-	(21)
Zuluft-Luftwechsel während der Betriebszeit der Zu-/Abluftanlage	$n_{mech,SUP}$	h^{-1}	Bedarfsgeführt (0,35) Nicht bedarfsgeführt (0,40)	(37) (38)
Abluftwechsel der Zu-/Abluftanlage	$n_{mech,ETA}$	h^{-1}	Balanciert Unbalanciert	(39) (29) / (30)
Fensterluftwechsel				
mittlere tägliche Fensterluftwechsel	n_{win}	h^{-1}	-	(45)
Gesamtluftwechsel				
Gesamtluftwechsel des Wohngebäudes zur Bestimmung der Wärmesenken	n_{sink}	h^{-1}	-	(56)
Gesamtluftwechsel des Wohngebäudes zur Bestimmung der Wärmequellen	n_{source}	h^{-1}	-	(57)

A.2 Übersicht zum Luftwechsel

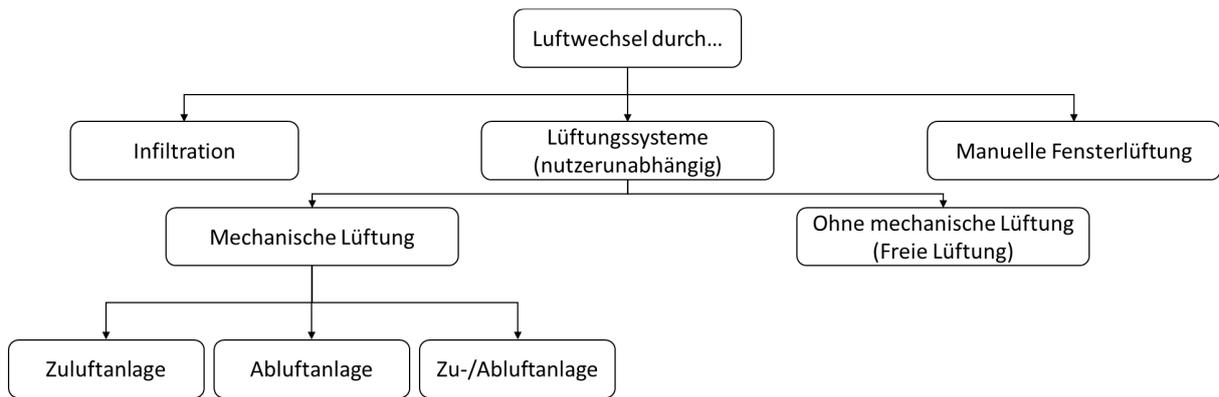


Abbildung 1: Übersicht Luftwechsel zur DIN V 18599-2

A.3 Ablaufpläne für Berechnung des Luftwechsels

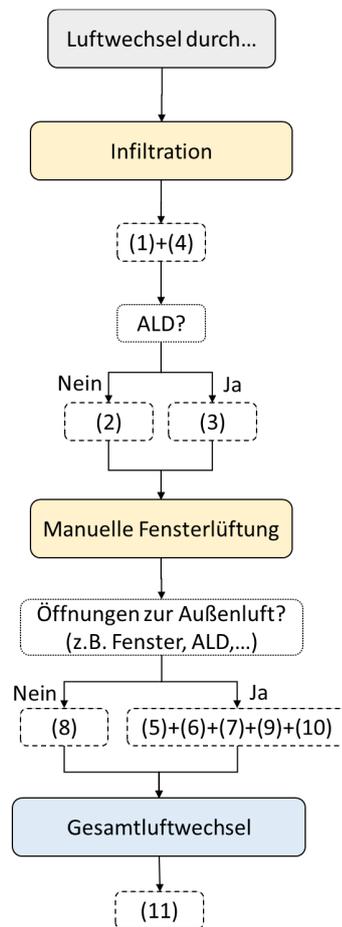


Abbildung 2: Ablaufplan zur Berechnung des Luftwechsels ohne mechanische Lüftung

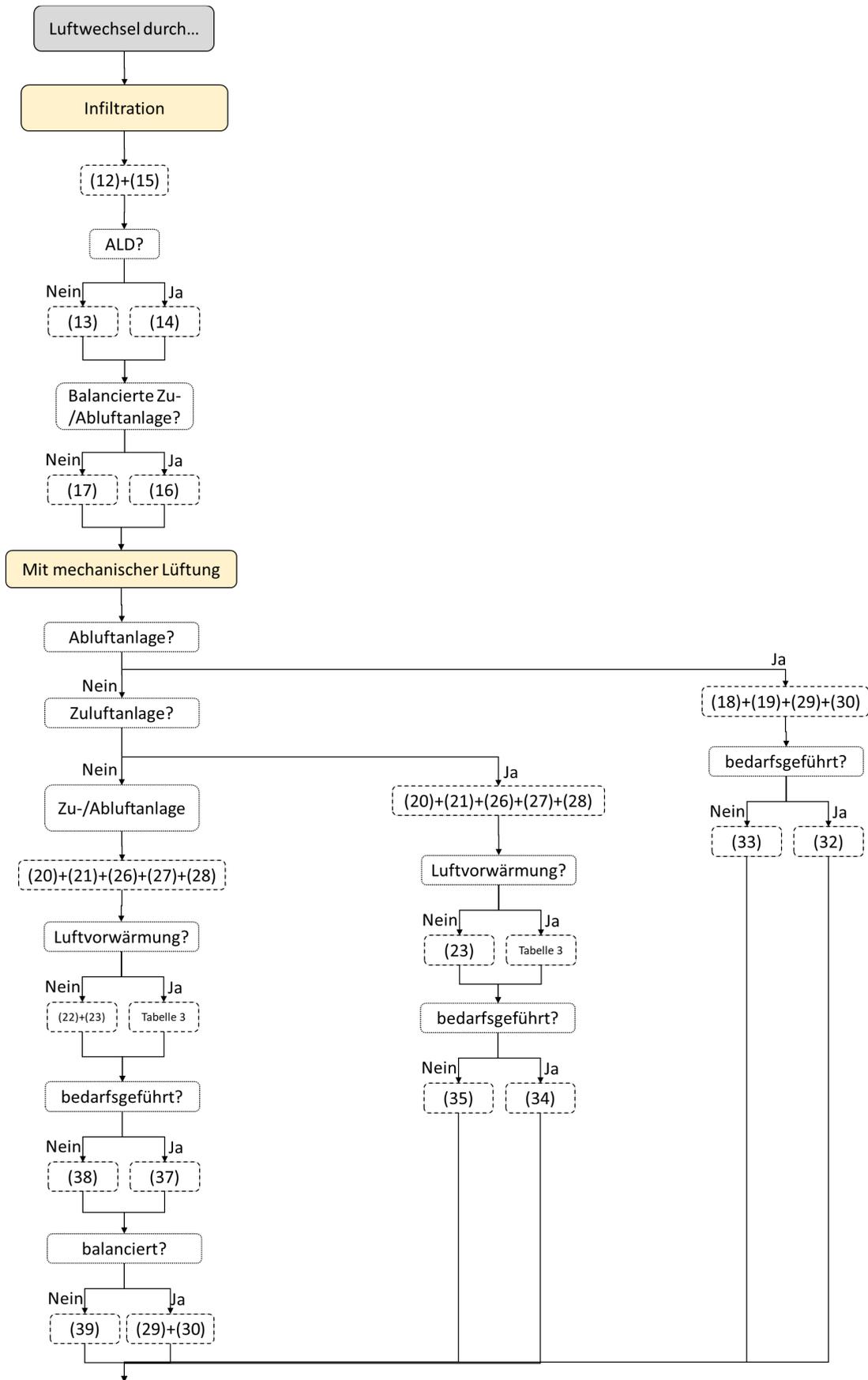


Abbildung 3: Ablaufplan zur Berechnung des Luftwechsels mit mechanischer Lüftung (1/2)

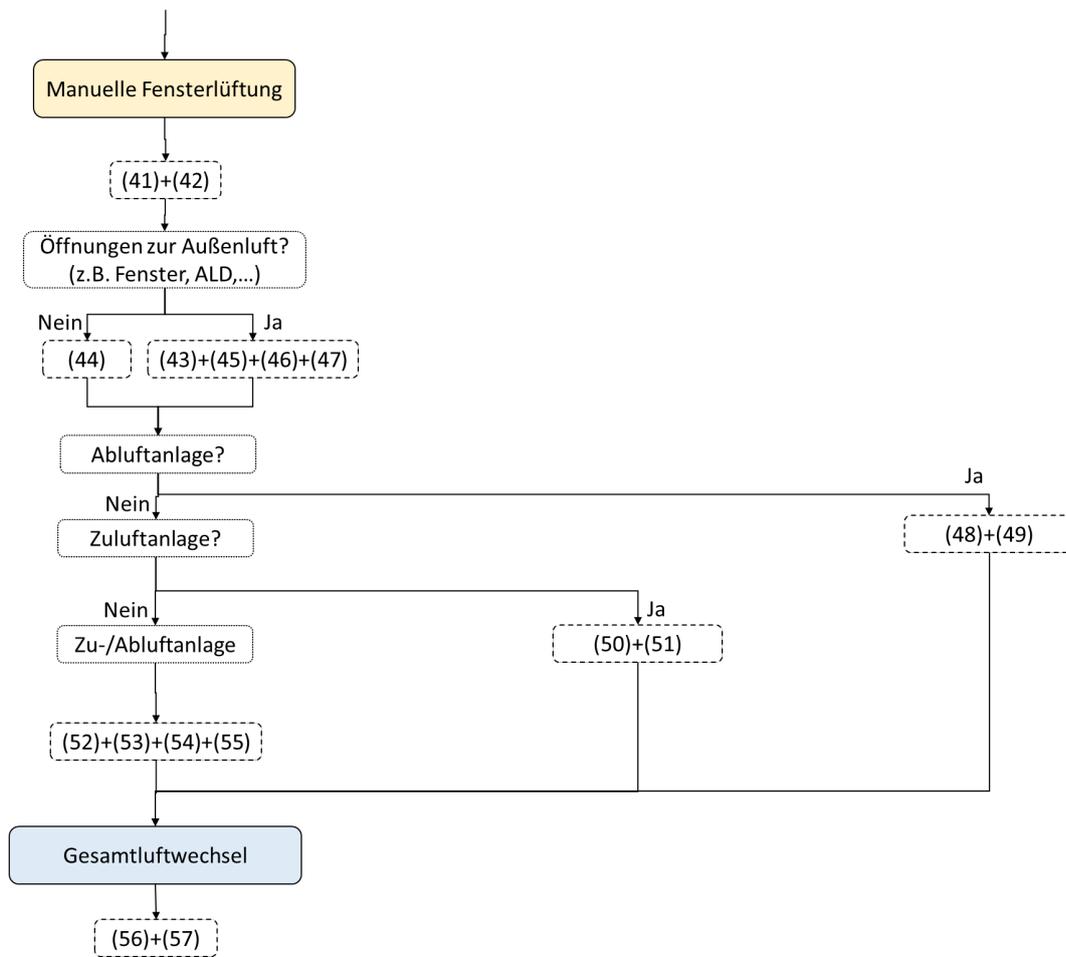


Abbildung 4: Ablaufplan zur Berechnung des Luftwechsels mit mechanischer Lüftung (2/2)

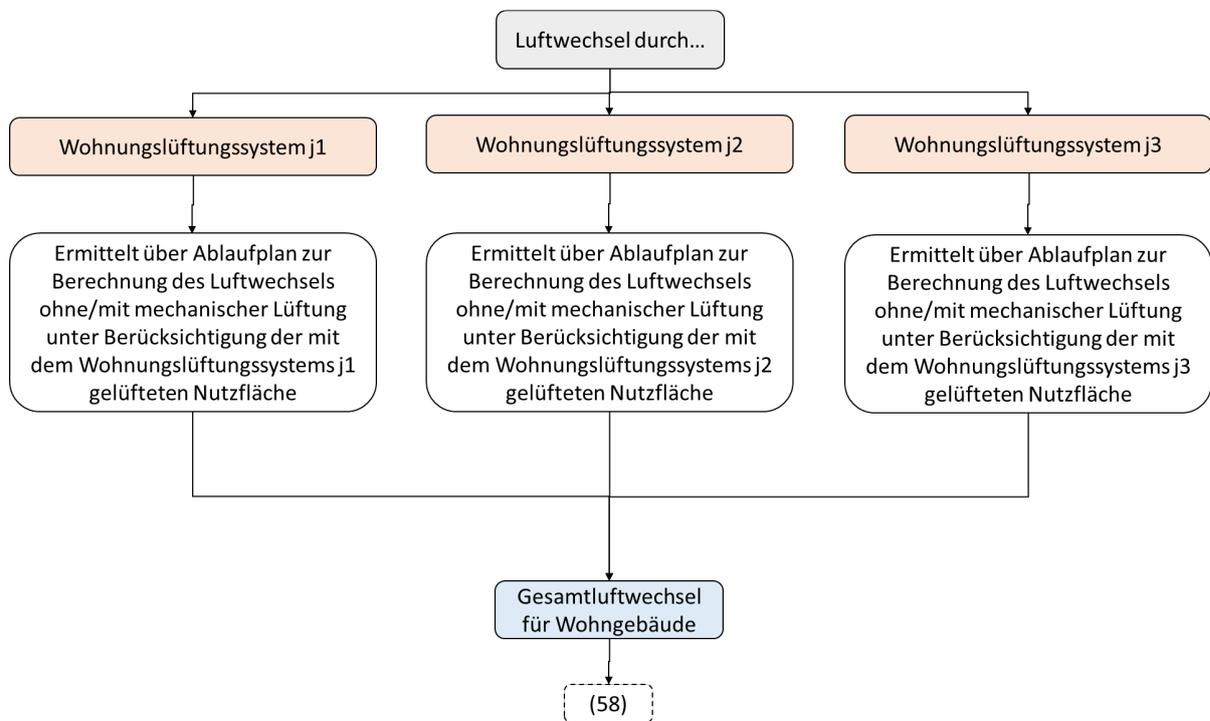


Abbildung 5: Ablaufplan zur Berechnung des Luftwechsels mit Teillüftungssystemen (am Beispiel von drei Wohnungslüftungssystemen)