

## Stadtgrün wirkt!



Aspekte der Pflanzenauswahl  
für eine leistungsfähige  
Vegetation für Klimaanpassung  
und Klimaschutz in der Stadt

## IMPRESSUM

### Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)  
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
Deichmanns Aue 31–37  
53179 Bonn

### Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung  
Referat RS 6 „Stadt-, Umwelt- und Raumbewachung“  
Dr. Fabian Dosch  
fabian.dosch@bbr.bund.de

### Begleitung im Bundesministerium

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB)  
Referat S I 5 „Anpassung an den Klimawandel, Klimaschutz in der Stadt“  
Dr. Lara Steup

### Autorinnen und Autoren

Julius Kühn-Institut  
Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und urbanem Grün  
Dr. Falko Feldmann, falko.feldmann@julius-kuehn.de  
Dr. Mona Quambusch, mona.quambusch@julius-kuehn.de

Urbanizers  
Dr. Gregor Langenbrinck, Inken Ammon, post@urbanizers.de

### Redaktion

Urbanizers  
Julia Felker, Franziska Hollweg

### Stand

April 2023

### Satz und Layout

re.do graphic and design, Dessau

### Druck

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn  
Gedruckt auf Recyclingpapier

### Bestellungen

publikationen.bbsr@bbr.bund.de, Stichwort: Leitfaden Stadtgrün wirkt!

### Bildnachweis

Bundesverband GebäudeGrün, Gunter Mann: Titelbild, S. 45, 46, 47, 49; Falko Feldmann: S. 20, 28, 29, 43, 48, 52, 57;  
Mona Quambusch: S. 12, 26, 27, 30, 42, 62; Anna Eckenweber: S. 8; Gregor Langenbrinck: S. 16, 23, 64; Bundespreis Stadtgrün/Hergen  
Schimpf: S. 38, 60; Franziska Hollweg: S. 14, 58; Julia Felker: S. 18; Hannah Scherreiks: S. 36; Hartmut Balder: S. 39; Reinaldo Coddou H.: S. 54

### Nachdruck und Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten  
Nachdruck nur mit genauer Quellenangabe gestattet.  
Bitte senden Sie uns zwei Belegexemplare zu.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISBN 978-3-98655-042-4

Bonn 2023

## **Stadtgrün wirkt!**

Aspekte der Pflanzenauswahl für eine leistungsfähige Vegetation  
für Klimaanpassung und Klimaschutz in der Stadt

Das Projekt der Initiative „Grün in der Stadt“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) durchgeführt.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Stadtklima im Wandel</b>	<b>8</b>
2.1	Klima auf verschiedenen Maßstabsebenen	9
2.2	Das Stadtklima in der Planung	11
<b>3</b>	<b>Ökosystemleistungen von Pflanzen</b>	<b>12</b>
3.1	Leistungen urbaner Pflanzen	13
3.2	Mehrwert durch Multifunktionalität	14
<b>4</b>	<b>Durch Stadtgrün das Klima regulieren</b>	<b>16</b>
4.1	Stadtquartiere belüften	17
4.2	Thermische Aufheizung von Oberflächen reduzieren	19
4.3	Kühlung durch Verdunstung	22
4.4	Reduktion von CO <sub>2</sub> in der Luft	26
<b>5</b>	<b>Stadtgrün im Stadtklima</b>	<b>28</b>
5.1	Urbane Biotope	29
5.2	Störfaktoren in urbanen Biotopen	29
5.3	Pflanzen unter Stress	31
5.4	Anpassungsfähigkeit der Pflanzen	34
<b>6</b>	<b>Kulturpflanzenwahl für die Stadt im Klimawandel</b>	<b>38</b>
6.1	Gehölze	39
6.2	Hilfestellungen für die Auswahl von Stauden	43
6.3	Dachpflanzen	45
6.4	Fassadenpflanzen	47
6.5	Weiterer Forschungsbedarf	51
<b>7</b>	<b>Leitbilder für die Klimaanpassung von Städten durch urbanes Grün</b>	<b>52</b>
7.1	Schwammstadt – Klimaanpassung durch eine grün-blaue Infrastruktur	54
7.2	Naturstadt – Klimaanpassung durch naturbasierte Lösungen auf Vegetationsebene	56
7.3	Bürgerstadt – Klimaanpassung partizipativ	58
7.4	Essbare Stadt – Klimaanpassung durch produktive grüne Infrastruktur	59
7.5	Grüne Stadt – Klimaanpassung in der nachhaltigen Stadt	61
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>64</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>68</b>



Wir danken für die Mitarbeit und Kommentierung: Bundesverband GebäudeGrün, Bund deutscher Staudengärtner, Stiftung Die grüne Stadt, Institut für Stadtgrün und Bund deutscher Baumschulen-Servicegesellschaft mbH

# 1 Einleitung

Stadtgrün trägt entscheidend zum Wohlbefinden und zur Gesundheit der Stadtbewohnerinnen und -bewohner bei. Es definiert sich wesentlich durch Grünflächen. Dazu zählen private Gärten, öffentliche Parks, Erholungs-, Sport- und Regenerationsflächen sowie Orte sozialer Interaktion. Stadtgrün ist systemrelevant, um in der Zukunft Städte bewohnen zu können – das hat die Nutzung von Grünanlagen und Kleingärten während der COVID-19-Pandemie eindrücklich gezeigt.

Die zentrale Grundlage für eine derart weitreichende Funktion des Stadtgrüns ist dessen Wirkung auf das Klima, das heißt der Beitrag, urbane Räume zu kühlen und zu belüften, um beispielsweise Hitzeinseln zu vermeiden. Es ist deshalb dringend geboten, urbane Räume planerisch an den sich verschärfenden Klimawandel anzupassen und ausreichend gesundes Stadtgrün vorzusehen. Nur so lässt sich ein nachhaltiger bewohnbarer Lebensraum sichern.

Das Weißbuch Stadtgrün der Bundesregierung<sup>1</sup> hebt die besondere Bedeutung der urbanen grünen Infrastruktur hervor, um eine klimagerechte Transformation von Städten zu erreichen. In der vom Bund beschlossenen Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) sowie dem daran anschließenden Fortschrittsbericht wird auf die besondere Bedeutung des Stadtgrüns bei klimangepassten Landschafts- und Stadtentwicklungsplanungen hingewiesen.

Entscheidend für die klimagerechte Transformation von Städten ist eine gesunde Vegetation, die klimabedingten Störungen standhält und dabei die eigene Leistungsfähigkeit erhält. Nicht alle Pflanzenarten können entsprechende Anpassungsleistungen

erbringen. Entsprechend sind neue Kriterien für ihre Auswahl erforderlich. Zwei sehr unterschiedliche Kriterienkomplexe sind für die Auswahl von Pflanzen im Stadtgrün zu unterscheiden: Der erste bezieht sich auf die urbane Vegetation, die klimaresilient sein muss, um im sich wandelnden Stadtklima zu überleben. Der zweite umfasst Kriterien, die eine funktionstüchtige Vegetation ermöglichen, die wirksam die Folgen des Klimawandels für die Stadtbevölkerung mindert. Um resilientes und positiv klimawirksames Stadtgrün zu erhalten und auszubauen, ist also spezielles Wissen zur Anpassungsfähigkeit und Reaktionsbreite einzelner Arten unter verschiedenen Bedingungen gefragt. Hinzu kommt, dass Pflanzen weitere sehr unterschiedliche Funktionen neben der Klimawirkung erfüllen können. Deshalb muss vor der Auswahl abgewogen werden, welche weiteren Funktionen sie im gegebenen Kontext übernehmen sollen und wie sie anschließend unterhalten werden können. Dafür benötigen Stadtgrünakteure aktuelles und anwendbares Fachwissen.

Das Wissen dazu ist zu großen Teilen vorhanden. Für die praktische Umsetzung wird derzeit auf vielen Ebenen der Zugang zu diesem Wissen erschlossen<sup>2,3</sup>. Die vorliegende Broschüre ist eine strukturierte Sammlung von wissenschaftlichen Quellen, Modellprojekten und Datenbanken, die wichtige Hinweise für die geeignete Auswahl urbaner Vegetation zur Anpassung an den Klimawandel gibt.

## 2 Stadtklima im Wandel





Der fortschreitende Klimawandel ist durch viele verschiedene Phänomene spürbar. Steigende Temperaturen, Dürreperioden, vermehrte Starkregen- und Sturmereignisse sowie Überschwemmungen beeinflussen das Klima, aber keineswegs überall in gleichem Ausmaß. Stattdessen lassen sich auf unterschiedlichen Maßstabsebenen verschiedene Ausprägungen der genannten Klimaphänomene beobachten. Das Globalklima wird hier etwa vom Regionalklima, dem Lokalklima und dem Mikroklima unterschieden. Entscheidend für die Vegetation ist außerdem das Bioklima der Pflanzen (Kap. 2.1).

Das Lokalklima in Städten zeichnet sich durch spezielle Gegebenheiten aus. Diese werden zunehmend in Planungsprozesse auf Kommunal-, Landes- und Bundesebene einbezogen, um zukunftsfähige, resiliente Städte zu schaffen (Kap. 2.2).

Wir befinden uns in einem dramatischen Klimawandel<sup>4, 5</sup>. Wir bemerken ihn an steigenden Durchschnittstemperaturen, Hitzerekorden, Dürren, Stürmen, Veränderungen der Niederschlagsmengen bis hin zu Sturzfluten<sup>6, 7, 8, 9, 10</sup>. Wir erklären die Veränderungen dieser Phänomene durch einen menschengemachten Kohlendioxidanstieg in der Atmosphäre und einen dadurch entstehenden globalen Treibhauseffekt. Wasser- und Landmassen erwärmen sich, Polkappen und Gletscher schmelzen ab. Tief- und Hochdruckgebiete ziehen langsamer und verändern unser Wetter spürbar und mit beobachtbar nachteiligen Folgen für Mensch und Natur. Wir sprechen immer häufiger von Extremwetterereignissen<sup>11</sup>.

## 2.1 Klima auf verschiedenen Maßstabsebenen

Trotz dieser scheinbar alles überlagernden Einflüsse des **Globalklimas** (Makroklima)<sup>12</sup>

kommt es zu regional unterschiedlichen Klimabereichen. Es lassen sich **Regionalklimata** (Mesoklimata) mit eigenen Charakteristika voneinander abgrenzen<sup>9, 13</sup>.

Natürlich werden auf unserem Planeten der Städte<sup>14</sup> auch diese stetig wachsenden Lebensräume für einen Großteil der Menschheit vom Klimawandel erfasst<sup>15, 16, 17, 18</sup>. In Städten messen wir innerhalb eines Regionalklimas höhere Temperaturen als im Umland<sup>19, 20</sup>. Städte bilden ein spezielles **Stadtklima**<sup>21</sup> aus und sind Wärmeinseln<sup>22, 23, 24</sup> in der Landschaft. Sie speichern tagsüber Wärme aus der Sonnenstrahlung und geben sie nachts wieder ab. Eine Temperaturdifferenz von 7-11°C zwischen der Innenstadt und dem Umland ist heute keine Seltenheit mehr<sup>25</sup>. Doch die Wärmeinseln wirken sich auch auf das Umland aus: Auf der Windseite der Stadt werden seit vielen Jahren niedrigere Temperaturen gemessen als auf ihrer Windschattenseite. Aus dieser Beobachtung heraus bemühen sich viele Städte, bei der Bebauung Frischluftschneisen freizuhalten<sup>26, 27</sup>.

Die Lage der Stadt in der Landschaft, ihr Aufbau sowie die Verteilung und Höhenstruktur der Gebäude sind maßgeblich für die verschiedenen **Mikroklimata**<sup>28, 29, 30</sup> vor Ort. Für das Mikroklima einer Grünfläche ergeben sich durch die Lage einer Stadt in einer bestimmten Region und die umgebenden Gebäude ein vorgezeichneter Sonnenlauf an jedem einzelnen Tag des Jahres sowie eine maximale Sonneneinstrahlung an jedem einzelnen Punkt der Fläche<sup>31</sup>. Das Mikroklima ist Teil der Faktoren, die auf Pflanzen und Tiere standortspezifisch Einfluss ausüben<sup>32</sup>. Zu diesen Standortfaktoren gehören neben dem Mikroklima die physikalische und biologische Beschaffenheit des Bodens, die Wasserverhältnisse und die Wechselwirkung mit anderen Organismen – sei es mit der Begleitvegetation, mit nützlichen und schädlichen Mikroorganismen oder auch mit Stadttieren. Das

Mikroklima gehört zu einem abgrenzbaren Lebensraum für eine beschreibbare Lebensgemeinschaft, einem Biotop, und ist die wichtigste Ebene für die Vegetation an einem Standort in der Stadt.

Damit nicht genug: Die Pflanzen auf dieser Fläche schaffen sich innerhalb der Bereiche des Mikroklimas selbst ein eigenes **Bioklima**<sup>33</sup>. Von der Bestandsoberfläche des Pflanzenbewuchses bis zur Untergrenze der Wurzel ausbreitung im Boden entsteht ein Eigenklima, das sich nach Art und Höhe der Pflanzendecke ausbildet. Kontaktzonen zwischen Pflanzen, Blattoberflächen, Rindenoberflächen, Hohlräumen in der Streuauflage oder Bodenspalten bestimmen Sonneneinstrahlung, Temperatur und

Feuchte im Meter- bis Zentimetermaßstab. So wird die Fläche, das Biotop, selbst noch einmal in unterschiedliche Klimaräume aufgeteilt. Hier entscheiden sich Entwicklung, Wachstum und Leistungsfähigkeit der einzelnen Pflanzen in den Mikroklimata des Stadtklimas<sup>34</sup>.

Das Stadtklima ist also ein Klimasystem aus zahlreichen kleinen, klimatisch unterschiedlichen Räumen<sup>35, 36, 37, 38, 39, 40</sup>, die mit Tages- und Jahresschwankungen der Lufttemperatur, der Dauer der Tages- und Nachtlänge, des Niederschlags, der Luftfeuchte und der Windverhältnisse beschrieben werden können. Es befindet sich aber über das Regionalklima mit dem Globalklima im Wandel.

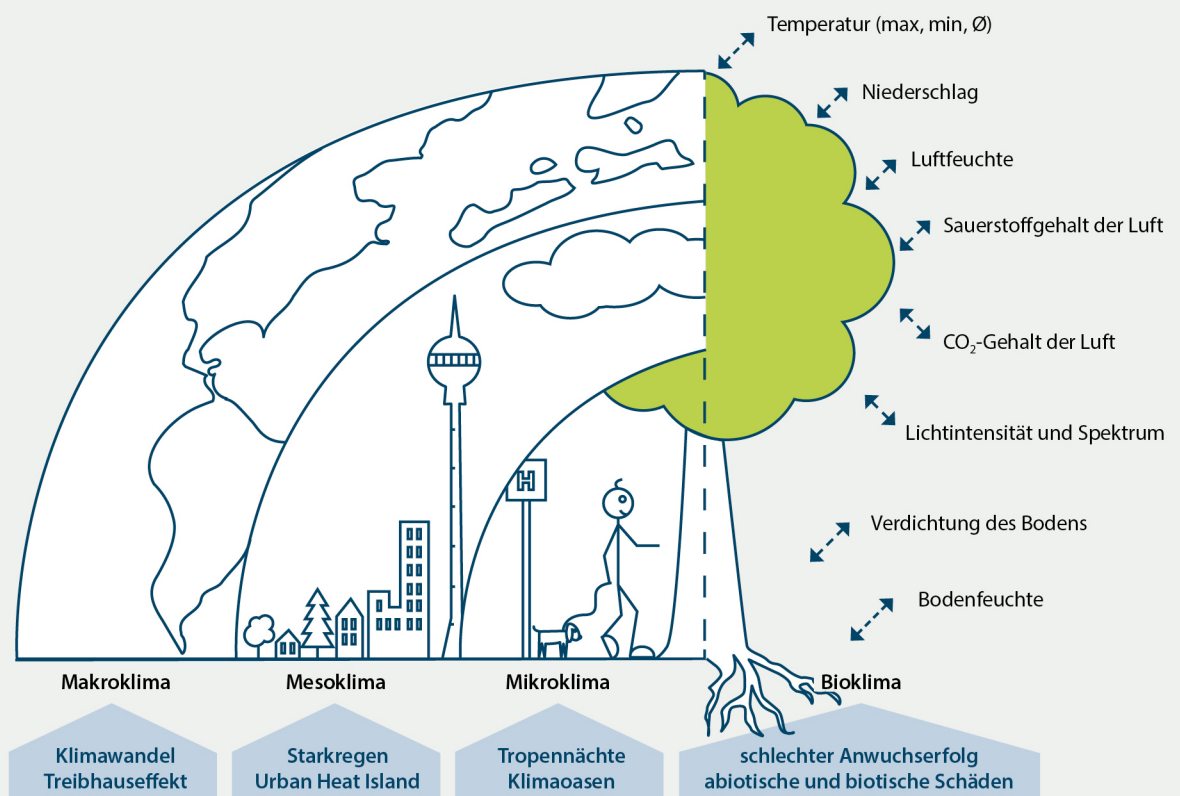


Abbildung 1: Verschiedene Klimabereiche – vom global wirksamen Makroklima bis hin zum standortbezogenen Bioklima – beeinflussen den Lebensraum „Stadt“; Quelle: Eigene Darstellung

## 2.2 Das Stadtklima in der Planung

Diese Charakteristika des Stadtklimas<sup>41, 42, 43, 44</sup> haben zu zahlreichen Überlegungen hinsichtlich der Gestaltung der Stadt von morgen<sup>45</sup> geführt, die man als grüne Stadt der Zukunft<sup>46</sup> definierte und durch Pflanzen im Sinne der Klimaresilienz zu gestalten begann<sup>47, 48, 49</sup>. Die Lebensqualität der Stadtbevölkerung im Blick<sup>50</sup>, wurden zur Verbesserung des Stadtklimas<sup>51</sup> politische Rahmenbedingungen auf Bundesebene<sup>52, 53</sup>, Länderebene<sup>54, 55, 56, 57, 58, 59</sup> und in Städten und Kommunen<sup>60, 61, 62, 63, 64, 65, 66</sup> gesetzt. Durch sie konnte eine Inwertsetzung des Stadtgrüns sehr stark gefördert werden<sup>67</sup>. In einem breit angelegten politischen Prozess entstand parallel das Weißbuch Stadtgrün „Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft“<sup>41</sup>. Es enthält in zehn Handlungsfeldern konkrete Vereinbarungen und Umsetzungsmöglichkeiten zur Förderung von Stadtgrün, einschließlich Maßnahmen, um seinen Ausbau durch Anreize zu unterstützen<sup>68</sup>.

Mit der Definition der grün-blauen Infrastruktur<sup>69, 70</sup> werden bei der Planung von grauen Infrastrukturen (Verkehrswege, Gebäude, Energieversorgung etc.) zunehmend die Bedürfnisse der Pflanzen selbst einbezogen<sup>71, 72, 73, 74, 75</sup>. Dazu gehören das Monitoring und die Modellierung des Stadtklimas<sup>76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88</sup> bis hinunter auf die Quartiersebene<sup>89</sup> und sogar die des einzelnen Baumes<sup>90, 91</sup>. Auf dieser Basis entstehen Konzepte für die klimagerechte Stadt<sup>92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106</sup> und deren Anpassung an das Klima<sup>107, 108, 109, 110, 111</sup>.

Pflanzen für die Stadt der Zukunft auszuwählen bedeutet, einerseits im Blick zu haben, dass diese unter sich wandelnden Witterungsbedingungen gesundes Wachstum zeigen, und andererseits, dass sie die erwarteten Leistungen für die Stadtbevölkerung erbringen.

### Informationen kompakt – Stadtklima im Wandel

- Klimatische Charakteristika können je nach Betrachtungsraum auf verschiedenen Maßstabsebenen beschrieben werden. Unterschieden wird hier zwischen Global-, Regional-, Stadt-, Mikro- und Bioklima.
- Der urbane Raum als Wärmeinsel in der Landschaft bildet ein spezielles Stadtklima. Durch Gebäudeverteilung, Höhenstrukturen und die Lage der Stadt in der Landschaft ergeben sich wiederum unterschiedliche Mikroklimata. Auf Ebene der Vegetation ist zudem das Bioklima entscheidend, das jede Pflanze durch ihre Interaktion mit den Umweltfaktoren prägt und beeinflusst.
- Als wichtige Infrastrukturen mit Einfluss auf klimatische Verhältnisse werden Elemente der grünen Infrastruktur zunehmend in Planungsprozessen berücksichtigt. Ihre Wechselwirkungen und Zusammenhänge mit blauen und grauen Infrastrukturen sind dabei zu beachten und werden in Modellierungen und Monitoring-Prozesse einbezogen. Schäden an der grauen Infrastruktur und Belastungen für die blaue Infrastruktur müssen vermieden werden.

# 3 Ökosystemleistungen von Pflanzen



Um Vegetation ausreichend in Planungen zu berücksichtigen und ein entsprechendes Bewusstsein zu schaffen, ist es entscheidend, die vielfältigen Leistungen von Pflanzen zu kennen. Unterschieden wird in soziale, ökonomische und ökologische Ökosystemleistungen. Dabei reicht der jeweilige Nutzen von der Gesundheitsvorsorge und Bildung über Produktion und Vermarktung bis hin zur für die Anpassung an die Klimawandelfolgen besonders wichtigen Klima- und Wasserregulation.

### 3.1 Leistungen urbaner Pflanzen

Der deutliche Klimaunterschied zwischen Umland und Stadtzentrum ist ein starkes Indiz für die nicht klimaangepasste Lebenssituation der Stadtbevölkerung. Bausubstanz und Bauweise stammen aus einer Zeit des Energieüberflusses: Bis heute gilt weitgehend, dass gegen Kälte geheizt und gegen Wärme gekühlt wird. Häuser werden nicht angemessen isoliert, Böden unachtsam versiegelt und die Anordnung der Bauten oft ohne Berücksichtigung der Stadtbelüftung angelegt. Das Stadtgrün ist oftmals nur architektonische Zierde, seine Vorteile werden nicht genutzt und oft vernachlässigt. Städtebauliche Klimaanpassungsstrategien richten sich heute im Wesentlichen auf die Reduzierung des Energieverbrauchs von Gebäuden und von CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Urbane Pflanzen tragen nennenswert dazu bei, Klimaanpassungsziele zu erreichen. Sie gehen aber oft weit über diesen Aspekt hinaus<sup>112</sup> und sind nicht zuletzt deswegen Gegenstand interdisziplinärer Forschung<sup>113</sup>. Solcher Nutzen oder auch Mehrwert wird als **Ökosystemleistung**<sup>114, 115, 116</sup> dieser Pflanzen verstanden. Er zeigt sich in allen drei Nachhaltigkeitsbereichen der Agenda 21: den sozialen, ökologischen und ökonomischen Belangen<sup>117</sup>. Stadtgrün bildet in vielfältiger Weise einen Lebensraum für die Stadtfauna und dient dem Arten-, Natur- und Pflanzenschutz in der Stadt.

**Soziale Ökosystemleistungen** betreffen Aspekte der Gesundheitsvorsorge, Erholung, Therapie und Bildung<sup>118,119</sup>. Gemeinschaftliches Gärtnern fördert den Zusammenhalt im Quartier und kann soziale Brennpunkte entschärfen helfen. Einflüsse auf unsere Kultur sind mannigfaltig und reichen von der Gedenkkultur bis zur künstlerischen Poiesis<sup>120</sup>.

Urbanisierung bringt für Stadtbewohnerinnen und -bewohner eine reizintensive Umgebung mit sich, die durch übermäßigen Lärm<sup>121, 122, 123</sup>, Luftverschmutzung<sup>124</sup> und ungünstige Klimaverhältnisse zu chronischem Stress als Ursache zahlreicher Gesundheitsbeeinträchtigungen führt. Naturerleben dagegen ist nachweislich stressmindernd<sup>125</sup>.

Die Zugangsmöglichkeit zu Stadtgrün in Parks oder Grünflächen wirkt sich positiv auf die körperliche Aktivität aus<sup>126</sup>, die ihrerseits gesundheitsfördernd ist. Es ist nicht verwunderlich, dass Menschen in der Stadt Grünelemente in ihrer Nähe pflegen (zum Beispiel Baumscheiben) oder Grünflächen aufsuchen, um sich zu erholen. Wir wissen heute, dass Bäume in unmittelbarer Nähe die Gesundheit stärker fördern als ferne Parks<sup>127</sup>.

Seit Langem belegen Studien, dass durch Naturerleben die Aufmerksamkeit von Menschen wiederhergestellt beziehungsweise erhöht werden kann<sup>128,129</sup>. Weitere Untersuchungen legen nahe, dass sich Menschen in einer grünen Umgebung glücklicher fühlen als in einer grauen, bebauten<sup>130</sup>. Pflanzen wirken emotional ausgleichend. Blicken Krankenhauspatienten auf Grün, soll das sogar deren Liegezeiten verkürzen. Natur fördert das Denken und die Kreativität: Gedankliche Leistungen funktionieren besser in der Natur als in bebautem Gelände<sup>131</sup>.



Erholungsort und Klimaregulation, eine Fläche mit mehreren Ökosystemdienstleistungen. Foto: Franziska Hollweg

Die Wirkung der Grünflächen ist offenbar auch vom Gefühl der Kontrolle über die Natur bestimmt: Brachen mit unübersichtlicher Vegetation wirken auf die Gesundheit trotz Artenvielfalt weniger positiv als gemähte Grünflächen<sup>132</sup>. Aber auch das Gefühl der Sicherheit schwingt mit: Im Schatten von Bäumen zu sitzen verleiht ein Gefühl von Sicherheit<sup>133</sup>. Solche Ambivalenzen gilt es bei der Planung auszugleichen.

**Ökonomische Ökosystemleistungen** umfassen die Produktion und Vermarktung zahlreicher Nutzpflanzen, die damit verbundenen Arbeitsplätze und Wertschöpfungsketten. Auch die Aufwertung von Baukultur durch Stadtgrün oder die Erhöhung des monetären Wertes von Häusern im Bereich von Parkanlagen gehören dazu<sup>134</sup>. Hierher gehört auch die Einsparung von Energiekosten für Heizung und Kühlung durch Pflanzen an und auf Gebäuden<sup>135</sup>.

Zu den **ökologischen Ökosystemleistungen** von Stadtgrün gehört insbesondere die **Klimaregulation**<sup>136</sup> von Städten, die von

Pflanzen in besonderer Weise profitieren kann. Weitere Faktoren sind Naturschutz und Förderung der urbanen Biodiversität<sup>137</sup>, Schutz vor Lärm und Emissionen<sup>138, 139, 140</sup> sowie die Wasserregulierung<sup>141, 142</sup> in der Stadt. Gerade über seine ökologischen Ökosystemleistungen wirkt sich Stadtgrün direkt gesundheitsfördernd<sup>143, 144</sup> aus. Dies trifft für unterschiedlichste Pflanzengruppen zu, seien es Bäume<sup>145</sup>, krautige Pflanzen, Kletterpflanzen oder Stauden<sup>146, 147</sup>.

### 3.2 Mehrwert durch Multifunktionalität

Städte und Kommunen sind in der Verantwortung, ausreichend geeignete Grünflächen für die Stadtbevölkerung vorzuhalten. Dazu nutzen sie auch digitale Werkzeuge wie beispielsweise „Stadtgrün ist Mehrwert“<sup>42</sup> oder „i-Tree“<sup>43</sup>. Beide ermöglichen eine anschauliche Darstellung und Einschätzung des monetären Wertes der vielfältigen Ökosystemleistungen. Freiraumstrategien werden entwickelt, öffentliche Beteiligungsprozesse durchgeführt und

die Anlagen zum Teil gemeinsam mit der Bevölkerung gepflegt.

Von Stadt zu Stadt unterscheiden sich der Grünflächenanteil je Person, die Entfernung bis zur nächsten Grünfläche und die Nutzungsgewohnheiten der Bevölkerung. Lokal kann es sogar zur Übernutzung von Grünflächen in der Stadt bis hin zu deren Zerstörung kommen.

Viele Pflanzen müssen multifunktional betrachtet werden<sup>148</sup>. Sie nützen uns oft nicht nur in einer, sondern in vielfältiger Hinsicht. Deswegen wird Stadtgrün in vielen Städten auch als ein wesentlicher Baustein der Daseinsvorsorge begriffen. Ein gutes Beispiel dafür ist die Leistung von Bäumen, die Feinstaubbelastung in Straßenzügen zu reduzieren. Unter bestimmten Bedingungen können falsch angelegte, zu dicht stehende Bäume zu einem Stau bei der Belüftung und damit zu einer Erhöhung der Belastung führen<sup>149</sup>. Nur wenn sorgfältig nach der Nutzung abgewogene, fachgerechte Pflanzungen<sup>150</sup> erfolgen, ist zu erwarten, dass Bäume ein Alter von 80 oder mehr Jahren erreichen und dabei die genannten Funktionen erfüllen können. Sie sollten durch die grün-blaue Infrastruktur unterstützt werden<sup>151</sup>.

## Informationen kompakt – Ökosystemleistungen von Pflanzen

Urbane Vegetation erbringt im Stadtklima verschiedene Ökosystemleistungen:

- **Soziale Ökosystemleistungen** betreffen Aspekte der Gesundheitsvorsorge, Erholung, Therapie und Bildung. Stadtgrün kann unter anderem dazu beitragen, Stress zu reduzieren, die physische und psychische Gesundheit der Menschen in der Stadt zu fördern sowie soziale Interaktion zu ermöglichen.
- **Ökonomische Ökosystemleistungen** betreffen unter anderem die Produktion und Vermarktung von Nutzpflanzen, die Bereitstellung von Arbeitsplätzen sowie die Aufwertung von Baukultur und Energiekosteneinsparungen.
- **Ökologische Ökosystemleistungen** betreffen neben dem Naturschutz und der Förderung der urbanen Biodiversität, dem Schutz vor Lärm und Emissionen und der Wasserregulierung in der Stadt vor allem die Klimaregulation von Städten.

Bei der Entwicklung von Stadtgrün sollten alle Funktionen berücksichtigt und die Multifunktionalität von Grünflächen gewährleistet werden.

# 4 Durch Stadtgrün das Klima regulieren





Eine der wichtigsten Ökosystemleistungen von Stadtgrün ist – in Anbetracht des voranschreitenden Klimawandels und entstehender Wärmeinseln in Städten – die Klimaregulation. Vegetation kann dabei auf verschiedene Weise auf das Klima wirken (Abb. 2). Wichtige Funktionen übernimmt Stadtgrün etwa bei der Belüftung von Stadtquartieren (Kap. 4.1), der Reduktion der thermischen Aufheizung von Oberflächen (Kap. 4.2), der Kühlung durch Verdunstung (Kap. 4.3) und der Reduktion von CO<sub>2</sub> in der Luft (Kap. 4.4).

abhängig von der Region, Historie und Zukunftsplanung. Hohe Gebäude, sogenannte Wolkenkratzer, gibt es wenige, die Bevölkerungsdichte der Städte selbst ist nicht vergleichbar mit den Megastädten dieser Welt. Insofern sind die international diskutierten Probleme in der Stadt oft nicht vergleichbar mit den deutschen Verhältnissen<sup>152</sup>. Wie die graue Infrastruktur einer Stadt aufgebaut ist und in welcher Dichte diese vorhanden ist, beeinflusst unter anderem die Belüftung von Stadtquartieren stark.

#### 4.1 Stadtquartiere belüften

Die Stadt besteht primär aus grauer Infrastruktur. Dazu gehören Gebäude, Verkehrswege und Industrieanlagen, aber auch weniger sichtbare, unterirdische Strukturen für die (Ab-)Wasser- oder Stromversorgung. In Deutschland sind die Städte sehr unterschiedlich strukturiert,

Während die Strahlung der Sonne die Oberflächen der grauen Infrastruktur aufheizt, können Windströmungen des Umlandes Wärme aus der Stadt hinaus transportieren und so spürbare Veränderungen des Stadtklimas bewirken. Diese Belüftungswirkung der Luftströmungen kann durch die Pflanzung von Vegetation in der Stadt unterstützt oder aber beeinträchtigt werden<sup>153</sup>.



Abbildung 2: Pflanzen beeinflussen unter anderem Luft, Boden und Temperatur und wirken deshalb klimaregulierend auf ihr städtisches Umfeld; Quelle: Eigene Darstellung

Betrachtet man die Stadt insgesamt, so lautet das Ziel, die Belüftung über Lüftungsschneisen zu ermöglichen, das heißt, die kühle Luft aus dem Umland in die Stadt hinein- und warme Luft wieder aus der Stadt hinauszutransportieren. Der Luftstrom ist nicht als starker Wind aufzufassen, sondern eher als eine Kriechströmung mit einem bodennahen kühleren Luftpaket, die durch Bebauung, aber auch durch Stadtgrün in ihrer Richtung verändert werden kann. Erreicht die Kriechströmung bestimmte Stadtbezirke nicht, entstehen Hitzeinseln, in denen die Aufenthaltsqualität deutlich abgesenkt sein kann.

#### 4.1.1 Durch Bebauung und Bepflanzung Luftströmungen beeinflussen

Tatsächlich wäre die sanfte Strömung aus dem Umland zu wirkungsschwach, um weit in die Stadt hineinzureichen, wenn sie nicht immer wieder auf Hindernisse stoßen würde, die sie verwirbeln und kühlere Luft aus höheren Luftschichten nach unten an den Boden ziehen würden. In Innenstädten mit ihrer oft massiven Bebauung können an Hochhäusern beispielsweise Fallwinde entstehen, die die Kriechströmung stark beeinflussen.

Pflanzen helfen in der Stadt mit, die Rauigkeit von Oberflächen zu erhöhen<sup>154</sup> und auf diese Weise den Luftstrom mit zu verwirbeln und damit gleichzeitig die Belüftung gezielt zu steuern. In großen Luftschneisen, zu denen große Freiflächen gehören können, aber auch Autobahnen oder Gleisanlagen, müssen Pflanzen sogar besonders angepasst sein, damit sie starke Stoßwinde bei der Vorbeifahrt großer Fahrzeuge unbeschadet überstehen.

Quer zur Strömungsrichtung stehende Alleen oder Baumgruppen<sup>155</sup> können der Belüftung dahinterliegender Stadtteile entgegenstehen, während die Ausrichtung von Grünelementen eine Lenkungsfunktion übernehmen kann<sup>156, 157, 158, 159</sup>.

Die Belüftungsströme, die bis hin zu Gebäuden im Quartier gelangen, haben Auswirkungen nicht nur im Straßenraum zwischen den Gebäuden<sup>160, 161</sup>, sondern bis in das Hausinnere hinein<sup>85</sup>. Abhängig von der Oberfläche der Gebäude, der Windverschattung und der Rauigkeit von Gebäudeoberflächen verändert sich die Temperatur der Rauminnenluft, wenn nachts durch Gebäudeöffnungen (zum Beispiel Ansaugöffnungen, Fenster) gelüftet wird. Begrünte Fassaden<sup>162</sup> können zu günstigeren Belüftungsverhältnissen führen, indem sie Grenzschichten zu glatten Oberflächen ausbilden und dadurch das Vorbeiströmen der am Gebäude aufsteigenden Luft begünstigen. Kühle, grüne Dächer unterstützen den Effekt<sup>163</sup>.



Bäume im Straßenbegleitgrün verwirbeln Luftströme und reduzieren Stoßwinde. Foto: Julia Felker

#### 4.1.2 Mit den richtigen Instrumenten planen

Moderne Stadtplanung berücksichtigt die Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel in Bauleitplänen und Handlungskatalogen zur Hitzebelastung<sup>164</sup>. Ausgangspunkt ist eine Klimanalyse der Stadtbebauung mit ihrer Hitzewirkung auf das Stadtklima. Bewährte Modelle, mit

denen die Veränderung der klimatischen Verhältnisse in einer Stadt dargestellt und prognostiziert werden können, sind umfassend bewertet worden<sup>81, 83</sup> und stehen in großer Vielfalt zur Verfügung<sup>165</sup>.

Das Modell FITNAH (Flow Over Irregular Terrain With Natural And Anthropogenic Heat Sources<sup>83</sup>) etwa legt den Berechnungen die Wind- und Strömungsverhältnisse in der Stadt zugrunde. Es stellt den Einfluss der aktuellen, aber auch der geplanten Bebauung auf die Kanalisierung, Beschleunigung oder Umlenkung von Belüftungsströmungen dar und kann so Planungen erleichtern. Andere Modelle wie ENVI-met<sup>166</sup> simulieren die Wechselwirkungen zwischen kleinräumiger Umweltgestaltung (Gebäudegestaltung, Straßenbegrünung, Hinterhofentsiegelung etc.) und dem Mikroklima in Städten oder im Gelände.

Wichtige Parameter, um mikroklimatische Verhältnisse zu beurteilen, sind Temperaturregimes (Temperaturspannen, Temperatursummen etc.) sowie der Energie- und Feuchtehaushalt. Aus den Modellen lassen sich zu erwartende Klimaänderungen für Quartiere berechnen und erforderliche Maßnahmen ableiten. In die Berechnungen gehen Informationen zur Bepflanzung ebenso wie solche zur Bebauung als Faktor der Strömungsumleitung und der Temperatur- und Feuchtemodifikation ein<sup>167</sup>. Mithilfe entsprechender Analysen können Karten erstellt werden, auf denen sogenannte Klimatope, also Bereiche mit ähnlichen klimatischen Verhältnissen, zu erkennen sind. Auf ihrer Grundlage kann nicht nur eine Vulnerabilitätsanalyse (zum Beispiel unter Berücksichtigung der Altersstruktur der Bevölkerung des Quartiers), sondern auch eine klimaökologische Bewertung der Grün- und Freiflächen durchgeführt werden. Darauf aufbauend kann dann die Ausweisung von Planungshinweisen erfolgen, wie Beispiele aus Modellregionen wie Dresden<sup>168</sup> und Bottrop<sup>169</sup> zeigen.

## Informationen kompakt – Belüftung von Stadtquartieren

Stadtgrün kann die Belüftung von Stadtquartieren begünstigen:

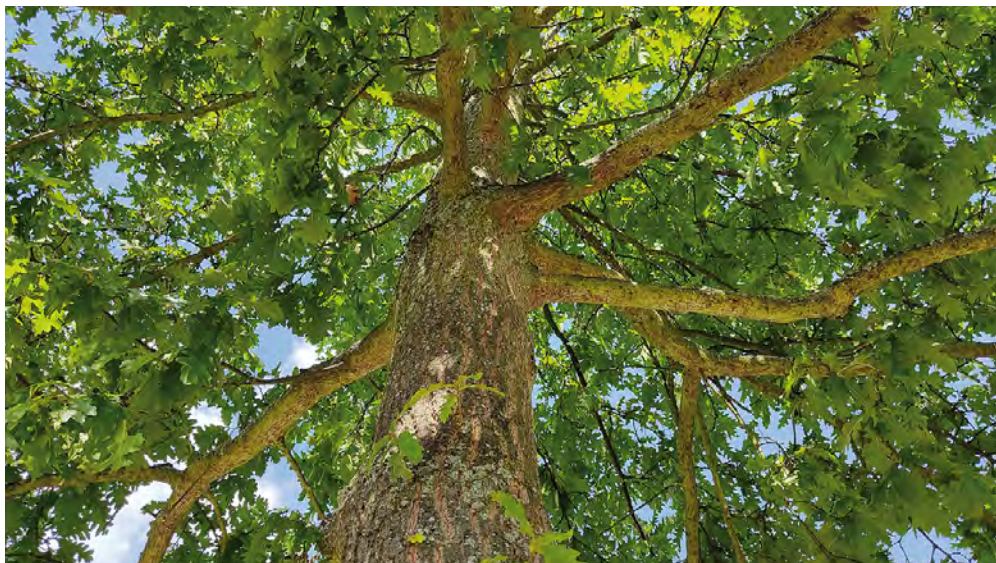
- Pflanzen verlangsamen und verwirbeln Winde in Luftschneisen.
- Pflanzen leiten Luftströmungen.
- Pflanzen schaffen an Gebäuden belüftungstechnisch nutzbare Grenzschichten.
- Pflanzen vermindern Stoßwinde, die durch Fahrzeuge entstehen.

## 4.2 Thermische Aufheizung von Oberflächen reduzieren

### 4.2.1 Durch Bäume Verschattung erzielen

Bäume sind die stadtbildprägenden Pflanzen in der grünen Stadt<sup>170</sup>. In Hamburg werden mehr als 200.000 Straßenbäume gezählt<sup>171</sup>. Gemeinsam mit Eiche und Ahorn gehört die Linde zu den häufigsten Arten unter den Straßenbäumen Hamburgs. Diese drei Arten machen zusammen über die Hälfte des Bestandes aus. Insgesamt sind es mehr als 320 verschiedene Baumarten, die Hamburgs Alleen, Plätze und Straßen säumen<sup>172</sup>. Berlin zählt 434.000 Straßenbäume und sogar eine Million Bäume in 1.500 Parks<sup>173</sup>. Gerade Bäume reduzieren maßgeblich die thermische Aufheizung der Stadt<sup>174, 175, 176, 177, 178, 179</sup>.

Diese Bäume wachsen unter verschiedensten Bedingungen. Wachsen sie auf oder in der Nähe versiegelter<sup>180</sup> oder teilversiegelter Flächen<sup>181</sup>, auf Plätzen, an Straßen oder in Fußgängerzonen, so wirkt ihr Schattenwurf auf die thermische Qualität der beschatteten Flächen<sup>182</sup>.



Die Eiche sorgt mit hoher Belaubungsdichte für Kühlung durch Schattenwurf. Foto: Falko Feldmann

Der Schattenwurf wird hier getrennt von den Kühlungsleistungen der Bäume über Wasserverdunstung diskutiert, da es sich tatsächlich um zwei sehr verschiedene Wirkungen handelt, die bei der Auswahl von sogenannten Klimabäumen zu sehr unterschiedlichen Pflanzensortimenten führen können<sup>183</sup>.

Die Krone eines Laubbaumes besteht aus einander überdeckenden und beschattenden Blattschichten. Sie sind so angeordnet, dass sie die Sonnenstrahlung fast vollständig für sich verwenden können. Die Strahlung gelangt zunächst durch Lücken zwischen den Blättern ins Kroneninnere und in ihre äußeren Bereiche.

Als Streulicht kann sie von Blättern tieferer Schichten zurückgeschickt (remittiert) werden und so im Bestand verbleiben oder durch die Blätter hindurchtreten<sup>184, 185, 186</sup>.

Unter den Baum gelangt also nur stark abgeschwächte Strahlung, die wir als Schatten wahrnehmen. Die Abschwächung der Strahlung (Strahlungsattenuation) ist abhängig von der Belaubungsdichte, die mit dem Blattflächenindex zahlenmäßig erfasst werden kann. Er wird als  $m^2$

Blattfläche pro  $m^2$  Bodenfläche angegeben und ist damit ein Maß für den Überdeckungsgrad durch die Blätter. Er ist wichtig zur Beschreibung der durchdringenden Strahlung, die unter die Krone gelangt.

Je nach Form und Größe der Baumkronen kann der Schattenwurf in Abhängigkeit vom Sonnenstand sehr variieren<sup>187, 188</sup>. Um die Aufheizung versiegelter Oberflächen, zum Beispiel Straßen, nennenswert zu verringern, muss in Planungen also die Größe des Schattenwurfs unter Berücksichtigung der Ausbildung der Krone und des Überdeckungsgrades einbezogen werden. Wichtig ist zudem die Berücksichtigung des Startpunkts der Blattentwicklung im Frühjahr, mit dem wiederum der Zeitpunkt der maximalen Blattentwicklung im Sommer variiert.

Die Strahlungsintensität der Sonne nimmt durch die Laubschichtung exponentiell ab. Die Blätter werfen sie nicht nur zurück, sondern absorbieren einen Teil der sichtbaren Strahlung auch für den eigenen Bedarf. Auf die Bodenoberfläche unter einem Baum trifft nur noch ein Bruchteil der Strahlung und erwärmt diese. Absorbiert werden große Anteile des sichtbaren Lichts, insbesondere im roten und blauen

Wellenlängenbereich, sodass nur 6–10 %, im UV-Bereich sogar nur 3 % wieder an die Umgebung abgegeben (remittiert) werden. Im wärmewirksamen Infrarotbereich remittieren Blätter bis zu 70 % der eintreffenden Strahlung<sup>189</sup>.

Somit liegen die Temperaturen der Bodenoberfläche unter vitalen, vollkronigen Bäumen im Schnitt um 12 °C niedriger als in einer nicht beschatteten Vergleichsfläche<sup>190, 191, 192</sup>. Vor allem unter alten Bäumen kann ein besonders effizienter Beschattungseffekt ausgemacht werden – ein wichtiger Hinweis für die Bedeutung alter Bäume in der Stadt, deren Leistungen nicht ohne Weiteres von jungen, neu gepflanzten Bäumen ersetzt werden können.

Die sich tatsächlich einstellende Oberflächentemperatur im Schatten von Pflanzen ist auch von der Art des Belagmaterials und seinem Rückstrahlvermögen (Albedo), der Beschaffenheit der Oberfläche (Farbigkeit) und ihrem Absorptionsvermögen abhängig. Baumschatten kombiniert mit geeigneten Baumaterialien lässt noch stärkere Effekte erwarten, als bislang gemessen wurden. Diese Veränderungen der thermischen Verhältnisse von versiegelten oder teilversiegelten Oberflächen lassen sich durch die diskutierte Steuerung der Belüftung, also die nächtliche Abkühlung, noch weiter beeinflussen.

#### 4.2.2 Fassaden begrünen

Vergleichbare Leistungen beschattender Pflanzen lassen sich für Oberflächen von Gebäuden nutzen<sup>193, 194</sup>. Fassaden von Gebäuden gehören neben versiegelten Bodenflächen und Dächern zu den am stärksten von der Sonnenstrahlung aufgeheizten Oberflächen in der Stadt<sup>195, 196</sup>. Städte in südlichen Ländern haben deshalb traditionell enge Straßen und Gassen, um die Beschattung der Verkehrswege durch gegenüberliegende Gebäude auszunutzen. In unseren Breiten – mit meist weiten

Abständen zwischen den Gebäudezeilen – wird die Fassadenbegrünung zu einem immer bedeutenderen Element der klimatischen Gebäudeoptimierung<sup>197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209</sup>.

Bei der Fassadenbegrünung kommt es je nach Bauweise zur teilweisen bis vollständigen Verschattung. Sie steht der Leistungsfähigkeit technischer Verschattungssysteme nicht nach<sup>210, 211, 212, 213</sup>. Auch für die Verdunstung von Wasser erbringen Fassadenpflanzen große Vorteile<sup>214, 215, 216</sup>.

Unter der Bepflanzung wird auf der Oberfläche eine Temperaturminderung um 2–10 °C erreicht<sup>217</sup>. Außerdem entsteht bei Begrünung eine Dämmwirkung durch eine zusätzliche abpuffernde Grenzschicht, die 3 °C bei bodengebundener Begrünung erzielt, bei wandgebundener Begrünung sogar bis zu 16 °C betragen kann<sup>218</sup>.

Die Fassade wird durch Begrünung nicht nur davor geschützt, sich stark aufzuheizen, sondern auch vor Witterungseinflüssen wie Starkregen, Wind und Temperaturschwankungen. So kommt es zu Kostenvorteilen durch eine längere Lebensdauer der Materialien (Materialökonomie, Materialschutz (UV,  $\Delta t$ )/Verlängerung der Lebensdauer) und einen geringeren Energiebedarf<sup>219, 220, 221, 222, 223</sup>. Das schließt auch den Wasserverbrauch durch teilweise Nutzung von Grauwasser mit ein<sup>217</sup>.

Am Beispiel des Instituts für Physik der Humboldt-Universität zu Berlin wurde ermittelt, dass der Kühlungsbedarf des Gebäudes mit Begrünung nur halb so hoch war wie bei technischem Sonnenschutz. Gleichzeitig betragen die Ausgaben für die Pflege der Fassadenbegrünung weniger als 10 % der Ausgaben für Wartung und Reparatur des technischen Sonnenschutzes<sup>135</sup>.

Wichtig für die Akzeptanz von Fassadenbegrünungen ist die Vermeidung von Schäden an den Gebäuden<sup>224, 225, 226, 227, 228, 229</sup>.

Dafür stehen viele Techniken bereit<sup>203, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236</sup>, einschließlich der Messmethoden<sup>237, 238, 239</sup>. Wenn Leistungen wie die Feinstaubbindung durch die Fassadenpflanzen und andere Vorteile wie Brandschutz<sup>240</sup> mit einkalkuliert werden<sup>241</sup>, kann das die Akzeptanz weiter fördern.

#### 4.2.3 Dächer begrünen

Dachbegrünung ist eine seit Dekaden akzeptierte und in größerem Umfang umgesetzte Form der Gebäudebegrünung<sup>211, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248</sup>, deren nutzbares Potenzial für das Klima in der Stadt allerdings noch bei Weitem nicht ausgeschöpft ist<sup>249, 250, 251</sup>. In 2020 wurden in Deutschland nur etwa 8 % der neu entstandenen Flachdachflächen begrünt<sup>252</sup>.

Zur Verbesserung dieser Situation hat sich beispielsweise Hamburg das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2024 zusätzliche Dachflächen mit einer Fläche von 100 ha zu begrünen. In seiner Grünflächenstrategie führt Hamburg an, Gründächer vereinten „einen grünen Mehrwert und eine Verbesserung der Freiräume in den Quartieren“<sup>253</sup>.

Nicht nur in Hamburg werden Dachbegrünungen als Kompensation städtischer Bodenversiegelung und im Sinne der Gestaltungsvielfalt als Naturelement im Stadtraum gewertet. Begrünte Dächer werden auch als Gemüsegärten oder Terrassengärten verwendet und verbessern damit das Nutzungsumfeld von Wohn- und Bürogebäuden. Diese Wirkungen gehen weit über das hinaus, was ursprünglich als Grund für Gebäudebegrünung bedeutsam war: ihre Kühlwirkung zur Gebäudeklimatisierung<sup>254</sup>, die Minderung städtischer Aufheizung<sup>255, 256, 257, 258, 259, 260</sup>, Sicht- und Windschutz, Lärmreduktion und Verbesserung der Luftqualität<sup>135</sup>.

Tatsächlich wird eine Reduktion der Oberflächentemperatur im Vergleich zu nicht begrüntem Dächern von bis zu 17 °C

(extensiv begrünt) und 18,5 °C (intensiv begrünt) gemessen. Sogar die lokale Lufttemperatur kann um 1,7 °C sinken, abhängig von Gebäudehöhe und meteorologischen Rahmenbedingungen<sup>162</sup>.

#### Informationen kompakt – Reduktion der thermischen Aufheizung von Oberflächen

Stadtgrün trägt durch Reduktion der thermischen Aufheizung von Oberflächen zur Energieoptimierung und Verbesserung der Ökobilanz von Gebäuden bei:

- Gebäude werden durch Vegetation im Sommer gekühlt – Pflanzen ersetzen Klimageräte.
- Das Material begrünter Oberflächen leidet weniger unter Temperatureinflüssen oder Sturm und Hagelschlag (Materialkosteneinsparung, Lebensdauererlängerung).

### 4.3 Kühlung durch Verdunstung

Die Verringerung der Aufheizung von Oberflächen in der Stadt durch Stadtgrün wird ergänzt durch eine weitere Komponente der Ökosystemleistungen der Pflanzen: die Verdunstung von Wasser aus den Blättern und dadurch die Entstehung von Verdunstungskälte an den Blattoberflächen<sup>261, 262, 263, 264</sup>.

Durch diese Eigenschaft verbinden die Pflanzen Wasser- und Energiekreislauf miteinander<sup>265, 266</sup>. Sie verhindern damit nicht nur eine Überhitzung ihrer eigenen Organe, sondern auch der umgebenden Luftschichten bis hin zu Übergangszonen zum Weltraum. Letztlich fungiert die Wasserverdunstung so als „Klimaanlage der Erde“<sup>267</sup>.

### 4.3.1 Verdunstung auf versiegelten Flächen

Versiegelte Oberflächen von Straßen oder Gebäuden weisen im Vergleich zu begrünten Flächen eine stark reduzierte Verdunstung auf. Grund dafür ist eine durch Versiegelung verhinderte Möglichkeit zur Zwischenspeicherung von Wasser im durchwurzelten Raum des Bodens und zur Nachlieferung aus dem Grundwasser.

Durch die geringere Verdunstung auf diesen Flächen wird die Wärmeenergie, die für die Verdunstung erforderlich ist, nicht mehr umgewandelt und in höhere Luftschichten transportiert, sondern verbleibt in bodennahen Schichten: Die Stadt heizt sich auf. Bedingt durch den Jahresgang der Verdunstung, mit seinem Maximum im Sommer, ist dieser Erwärmungseffekt der Versiegelung dann besonders hoch, wenn ohnehin bereits viel Energie eingestrahlt wird<sup>267</sup>.

Die Menge der verdunsteten Flüssigkeit hängt neben klimatischen Faktoren hauptsächlich von den Eigenschaften der Oberfläche ab, die maßgeblich von der Art der Landnutzung geprägt wird. Die Unterteilung der Oberflächen nach Landnutzungsarten wird auf der Basis der europäischen Klassifikation für Landnutzungsdaten vorgenommen<sup>268</sup>. Diese wird innerhalb bebauter Gebiete durch zusätzliche Nutzungsarten ergänzt, da hier eine genauere Unterscheidung erforderlich ist<sup>269</sup>. Auf dieser Grundlage können Verdunstungsmengen in Stadtteilen abgeschätzt werden.

In Pflanzgefäßen als Dachgartenbegrünung wurde zum Beispiel die Verdunstung von 200 l/m<sup>2</sup> in einer Vegetationsperiode beobachtet. Dachbegrünung verdunstet damit durchschnittlich 62–67 % des Jahresniederschlags auf dieser Fläche<sup>267</sup>. In Wäldern verdunsten die Bäume in Abhängigkeit von ihrer Artzugehörigkeit, der Blattoberfläche und der Bestandsdichte bis zu 600 l/m<sup>2</sup> im Jahr<sup>270</sup>.

Um die Verdunstung in städtischen Gebieten zu fördern, sollen möglichst viele Flächen entsiegelt werden. Ziel ist es, der natürlichen Wasserbilanz eines Gebietes nahezukommen<sup>271</sup>. Bisher kann dieses Ziel allerdings nur in sehr begrenztem Maße erreicht werden. Die Entsiegelung der Böden steigert die Bodenfruchtbarkeit nachhaltig, weil der Boden wieder dauerhaft mit Luft und Wasser versorgt wird. Die Durchwurzelung wird verbessert<sup>272</sup> und die Leistungsfähigkeit der Vegetation gesteigert<sup>273</sup>. Auf diese Weise kann sich die Bodenfauna regenerieren, die wiederum wichtige Funktionen für den Erhalt und die Neubildung von fruchtbaren Böden erfüllt<sup>274</sup>.



Die Wasserzufuhr von der versiegelten Dachfläche ermöglicht eine Zwischenspeicherung im Boden der begrünten Fläche und erhöht damit das Verdunstungspotenzial. Foto: Gregor Langenbrinck

Eine neue Bodenfauna bildet sich allerdings nur über längere Zeiträume, sodass auch die natürliche Bodenfruchtbarkeit verzögert und oft nicht in der vorherigen Qualität wiederherstellbar ist<sup>180</sup>. Für die Bodenfruchtbarkeit ist es also entscheidend, neben der Entsiegelung von Flächen auch dafür zu sorgen, dass möglichst wenige fruchtbare Flächen zusätzlich versiegelt werden. Ihre Verdunstungsleistung erhalten entsiegelte Böden mit neuem Pflanzenbewuchs im Gegensatz dazu wesentlich schneller zurück.

### 4.3.2 Verdunstungsleistung von Bäumen

Bäume sind in der grünen Infrastruktur die Pflanzen mit der wirksamsten Verdunstungsleistung – sofern die Grundvoraussetzung einer vitalen Blattmasse gegeben ist<sup>275</sup>. Die Erweiterung eines städtischen Baumkronendaches ist deshalb eine häufig vorgeschlagene naturbasierte Lösung, um überschüssige städtische Hitze zu bekämpfen<sup>264</sup>.

Der Einfluss von Bäumen auf das Stadtklima durch Verschattung (Kap. 4.2) wird durch die morphologischen Eigenschaften von Bäumen bestimmt, während die Verdunstung von Bäumen hauptsächlich ein physiologischer Prozess ist, der von den Umweltbedingungen und der bebauten Umgebung abhängt. Lokal liefern Bäume den größten Teil ihrer kühlenden Wirkung durch Beschattung<sup>273</sup>. Die heterogene Natur städtischer Landschaften, sehr unterschiedliche Baumartenzusammensetzungen und Managemententscheidungen machen es schwierig, das Ausmaß und die Richtung der Abkühlung gerade durch Verdunstung vorherzusagen. Viele Bäume verringern sogar ihre Verdunstungsleistung in Zeiten der Trockenheit, um sich selbst zu schützen, und erbringen dann nicht mehr ihre volle Ökosystemleistung<sup>276</sup>.

Transpiration tritt auf, wenn Sonnenstrahlen auf das Blätterdach der Bäume treffen und Wasser aus den Blättern verdunstet. Das kühlt sie ab und reduziert so die verbleibende Energiemenge der Sonnenstrahlung, die die Luft erwärmt.

Diesen Effekt kann man messen: So ist die Temperatur der Baumkronen normalerweise viel niedriger als die bebauter Oberflächen in der Nähe und nur 2–3 °C höher als die Lufttemperatur<sup>277</sup>.

Dieser Temperaturunterschied ist allerdings noch kein Nachweis einer Kühlleistung, die sich auch auf die Umgebung des Baumes niederschlägt. Sogar ohne Verdunstung von Wasser wären Blätter kühler als bebaute Flächen, da sie bereits stark durch Abgabe von Wärme an die umgebende Luft durch Konvektion (Wärmeübertragung) gekühlt werden.

Eine bessere Methode zur Messung der Kühlleistung durch Verdunstung besteht darin, zu berechnen, wie viel Wasser ein Baum verliert. Dafür kann man den Saftfluss durch den Stamm oder die Wasserverluste einzelner Blätter bestimmen. Diese Methoden zeigen, dass Baumkronen über 60 % der einfallenden Strahlung zur Verdunstung nutzen. Damit kann ein 4 m hoher Baum etwa 6 kW Kälteleistung liefern – das Äquivalent von zwei kleinen Klimaanlage.

Allerdings sorgen Bäume nur dann für diesen kühlenden Effekt, wenn sie gut wachsen. Durch Messen des Wasserverlustes einzelner Blätter zeigte sich, dass spärlichere, langsamer wachsende Bäume nur ein Viertel der kühlenden Wirkung gut wachsender Bäume lieferten. Zu schlechten Wachstumsbedingungen führt etwa ein verringertes Wurzelwachstum in verdichtetem oder schlecht durchlüftetem Boden. Dadurch kann die Transpiration von Bäumen um den Faktor 5 reduziert sein. Mangelnder Baumschutz wirkt sich sehr kontraproduktiv aus<sup>278</sup>.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Berechnung der Kühlleistung von Bäumen besteht darin, zu bestimmen, wie viel Verdunstung tatsächlich die Lufttemperatur der Umgebung senkt. Studien dazu legen aber nahe, dass Arten mit einer höheren Baumkronendichte über Asphaltflächen bevorzugt werden sollten, jedoch weniger Wasser verwendende Arten mit geringerer Baumkronendichte im Falle von Grasflächen eine höhere Kühlleistung in den bodennahen Schichten erbringen.



Auch die Bestandsdichte von Bäumen und die Wassersättigung des Bodens sind für die Kühlungseffekte bedeutsam. In einem Versuch mit getopften Pflanzen, die in unterschiedlichen Dichten aufgestellt wurden, transpierte jeder Baum bei wasser- gesättigtem Boden bei größerem Abstand zwei- bis dreimal so viel wie in der Mitte einer großen Gruppe von Bäumen<sup>279</sup>.

Ähnliche Verhältnisse finden sich auch in der grünen Infrastruktur wieder<sup>73</sup>. Abkühlungseffekte sind umso höher, je größer das Grünvolumen ist. Zur deutlichen Temperaturabsenkung ist eine Mischung aus Rasen-, Wiesen-, Strauch-, Gehölz- und freiwachsendem Baumbestand wirksam<sup>39</sup>. Da das Grünvolumen eine wichtige Steuerungsgröße für das Grünmonitoring in Städten werden wird, sei auf ein laufendes zentrales Projekt dazu hingewiesen. UrbanGreenEye ist ein Forschungsprojekt zum regionalen Vegetations- und Flächenmonitoring und soll Satellitendaten für die Bestimmung klimaanpassungsrelevanter Parameter, insbesondere des Grünvolumens, als Handlungsmittel in kommunalen Verwaltungs- und Planungsprozessen etablieren<sup>280</sup>.

Wesentlich für die Verdunstungsleistung ist zudem das Verhältnis von grüner Infrastruktur zu umgebenden Gebäuden. In einer Studie wurden mikroklimatologische Modellierungsergebnisse auf Bezirks- und Blockebene für verschiedene Verdichtungs- und Grüninterventionsszenarien in einem realen Planungsfall verglichen<sup>115</sup>. Die Ergebnisse legen nahe, dass eine grüne Infrastruktur negative Auswirkungen der Gebäudeverdichtung auf den thermischen Komfort, das heißt die als angenehm empfundene Wahrnehmung des umgebenden Klimas, tagsüber kompensieren kann, nicht jedoch die Auswirkungen auf den Kaltluftvolumenstrom. Letzterer wurde insbesondere durch höhere Gebäude beeinflusst. Eine strategische Anordnung von Bäumen verhinderte eine Verschlechterung der nächtlichen Belüftung und bot gleichzeitig eine effektive Kühlung

während des Tages. In Verdichtungsszenarien führte der Ersatz alter Bäume durch neue Bäume zu einer Erhöhung der physiologischen Äquivalenttemperatur (PET) um 7,5–7,9 °C. Das Hinzufügen von begrünten Dächern und begrünten Fassaden führte nicht zu einer Verringerung des Wärmestressniveaus, aber zu einer signifikanten Reduzierung der Oberflächentemperatur. Eine Kopplung von Mikroklimamodellen, die auf unterschiedlichen Skalen und mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung arbeiten, ist wichtig, um die gegenseitigen Einflüsse zwischen Lüftung und thermischer Behaglichkeit im Freien zu berücksichtigen.

### 4.3.3 Grüne Klimaoasen

Eine praktische Anwendung der hier vorgestellten Ausführungen zu Beschattungs-, Verdunstungs- und Belüftungsleistungen des Stadtgrüns ist die Schaffung von kleinräumigen, quartiersbezogenen Klimaoasen<sup>281</sup>. Dabei handelt es sich um Grünräume, die als Erholungsräume für das Wohlbefinden der Bevölkerung in der Stadt dienen können und in der Lage sind, Hitzeinseln in der Stadt zu entschärfen<sup>282</sup>.

283, 284, 285

Als Klimaoasen werden Orte im öffentlichen Raum bezeichnet, die trotz hoher Temperaturen im Sommer im Vergleich zur Umgebung als kühler empfunden werden. Sie besitzen eine hohe Aufenthaltsqualität durch Schatten, Grün, die Nähe zu Wasser sowie Sitzgelegenheiten, die zum Verweilen einladen. Sie wirken besonders vorteilhaft in Hitzeinselarealen, die sich an heißen Tagen stark aufheizen.



Durch die bodennahe Vegetation, den Schattenwurf der Bäume und fließendes Wasser, herrscht hier ein kühleres Mikroklima. Foto: Mona Quambusch

Ein sehr interessantes Modell eines partizipativ entwickelten Netzwerkes aus Klimaoasen hat die Stadt Worms gemeinschaftlich mit der Stadt Metz vorgestellt<sup>282</sup>. Hier wurde durch Bürgerbefragungen nach bereits existierenden Hitzeinseln und Klimaoasen gesucht und die so empfundenen Orte kartiert. Dadurch wurde nicht nur die Bevölkerung für die Möglichkeiten der Klimagestaltung im Quartier sensibilisiert, sondern auch der Ausgangspunkt für einen gezielten Umbau der Städte in Richtung Klimaanpassung ermöglicht.

Eine besondere Form der Klimaoase wurde zudem in Berlin projiziert<sup>286</sup>, wo ein Konzept zur Umgestaltung von Kleingärten zu grünen Klimaoasen entwickelt wurde. Darin wurden die ressourcenschonende Anlage des Gartens, das Regenwassermanagement, die Erhöhung der Verdunstungskapazität, die Bodenlockerung und Erhöhung seiner Wasser- und Luftdurchlässigkeit bis hin zur Veränderung der Gartenpflege thematisiert und der Bezug zur Klimaanpassung hergestellt.

Klimaoasen eignen sich besonders, um erste Erfahrungen in Bezug auf die urbane Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu sammeln und nach erfolgreicher Erprobung geeignete Maßnahmen für den stufenweisen Umbau der Gesamtstadt zu entwickeln<sup>274</sup>.

## Informationen kompakt – Kühlung durch Verdunstung

Durch die Verdunstung von Wasser aus den Blättern und die dadurch entstehende Verdunstungskälte an den Blattoberflächen kann Stadtgrün seine Umgebung kühlen:

- Versiegelte Oberflächen von Straßen oder Gebäuden weisen im Vergleich zu begrünten Flächen eine stark reduzierte Verdunstung auf. Zur Förderung der Verdunstung in städtischen Gebieten wird die Entsiegelung von möglichst vielen Flächen angestrebt.
- Bäume können sowohl durch Transpiration als auch durch Verschattung zur Kühlung ihrer Umgebung beitragen.
- Klimaoasen können Hitzeinseln in der Stadt entschärfen. In diesen kleinräumigen, quartiersbezogenen Grünräumen im öffentlichen Raum werden die hohen Temperaturen im Sommer im Vergleich zur Umgebung als kühler empfunden.

## 4.4 Reduktion von CO<sub>2</sub> in der Luft

In der neuen EU-Forststrategie 2030<sup>287</sup> wird die herausragende Stellung urbaner Bäume für den Klimaschutz betont und herausgestellt, dass 40 % der Fläche europäischer Städte von Bäumen bedeckt sind. Zwischen den Städten variiert die tatsächlich bewachsene Fläche allerdings teilweise stark. Sie schwankt in Deutschland nach öffentlichen kommunalen Statistiken zwischen 96 ha (Heilbronn) und 2.800 ha (Berlin) bei einer Anzahl von 0,14 (Hamburg) bis 0,38 (Berlin) Bäumen pro gemeldeter Person. Mit diesen Werten liegt Deutschland im Mittelfeld europäischer Städte<sup>288</sup>.



Bäume binden langfristig große Mengen an Kohlenstoff in ihren Stämmen, Ästen und Wurzeln.  
Foto: Mona Quambusch

Vor dem Hintergrund der im Weißbuch Stadtgrün geforderten Multifunktionalität von Stadtgrün können Bäume in der Stadt – neben den bereits benannten Funktionen in der Anpassung an die Klimawandelfolgen – durch Kohlenstoffumwandlung und -speicherung (Kohlenstoffsequestrierung) einen nennenswerten Beitrag zum Klimaschutz leisten. Bäume legen in Städten große Mengen an Kohlenstoff fest (27,4 t/ha in Hamburg<sup>289</sup>; 11 t/ha in Leipzig<sup>290</sup>; 32 t/ha in Karlsruhe<sup>291</sup>). Auch Kleingärten können als CO<sub>2</sub>-Senke dienen und bis zu 180 t/ha an Kohlenstoff binden.

Vorrangig soll Stadtgrün das Aufheizen von Gebäuden vermindern und die Luftqualität verbessern. Das Treibhausgas Kohlendioxid global zu verringern, ist kein Hauptziel der Nutzung von Stadtpflanzen. Trotzdem kann die Kohlendioxidsequestrierung gefördert werden, ohne andere Ziele zu beeinträchtigen. Denn auf der Vitalität der Bäume gründet ihre Lebensdauer und damit die Dauer der Kohlenstoffsequestrierung<sup>292</sup>. Damit Stadtbäume ihre Funktionen vollumfänglich wahrnehmen können, bedarf es einer standortgerechten Auswahl, Pflanzung und Pflege, die ihre Vitalität bestimmen. Durch ein Monitoring der Baumvitalität können

Bereiche aufgezeigt werden, in denen die Kohlenstoffsequestrierung optimiert werden kann. Im Bereich der Forstwirtschaft werden bereits Überflugdaten genutzt, um die Vitalität und Biomasse von Flächen automatisiert zu erfassen.

### Informationen kompakt – Reduktion von CO<sub>2</sub> in der Luft

Neben Funktionen in der Anpassung an die Folgen des Klimawandels kann Stadtgrün auch zum Klimaschutz beitragen:

- Bäume können – je nach ihrer Anzahl in Städten – zwischen 5 und 45 t/ha CO<sub>2</sub> binden.
- Kohlenstoffbindung ist nicht – wie Durchlüftung und Kühlung – Hauptziel der Nutzung von Stadtpflanzen. Die CO<sub>2</sub>-Reduktion kann durch den Ausbau von Stadtgrün jedoch ebenfalls gefördert werden, ohne andere Ziele zu beeinträchtigen.

# 5 Stadtgrün im Stadtklima



Durch das Zusammenwirken verschiedener Standortfaktoren bilden sich für Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen verschiedene Biotope mit besonderem Mikroklima heraus (Kap. 5.1). Das Zusammenleben der unterschiedlichen Arten wird jedoch durch menschenverursachte Einflüsse oder den Klimawandel gestört (Kap. 5.2). Wie eine Pflanze auf solche Stressfaktoren reagieren kann (Kap.5.3), welche Anpassungsmöglichkeiten es gibt und wie sich diese auf die Pflanzenauswahl auswirken (Kap. 5.4), wird im Folgenden erläutert.

Die grüne Infrastruktur einer Stadt besteht aus einer Vielzahl von Pflanzenarten unterschiedlicher Wuchsform, Zusammensetzung und Herkunft. Ein Großteil von ihnen gehört zu den Kulturpflanzen, das heißt sie sind auf bestimmte Merkmale hin für die Stadt ausgewählt und in speziellen Betrieben vermehrt und angezogen worden.

## 5.1 Urbane Biotope



Auch Baumscheibenbepflanzungen leisten einen wichtigen Beitrag und können Biotope für verschiedene Lebensgemeinschaften darstellen. Foto: Falko Feldmann

An konkreten Orten in der Stadt wirken alle Standortfaktoren zusammen und bieten der Lebensgemeinschaft aus (Kultur-) Pflanzenarten, Tieren und Mikroorganismen Möglichkeiten für ihre Entwicklung<sup>293</sup>. Während die Lebensgemeinschaft entsteht, stehen alle Individuen miteinander in Wechselwirkung. Einerseits entstehen Konkurrenzen, die Verdrängung zur Folge haben können; andererseits führen förderliche Einflüsse zu erfolgreichen Kooperationen zwischen verschiedenen Arten. Jeder Einzelne versucht, das Beste für sich aus der unübersichtlichen Situation zu machen. So findet er seine ökologische Nische in dem Biotop, das er räumlich, zeitlich, aber auch funktional mit anderen zu teilen versucht. Jedes Element der Lebensgemeinschaft ist wiederum Standortfaktor für andere Individuen des Biotops und wirkt hemmend oder fördernd auf die Entwicklung anderer Elemente. Je mehr Zeit man einem Biotop lässt, umso mehr Arten können sich einstellen und zum Biotop beitragen: Die Biodiversität steigt.

Bei der Aufteilung eines Biotops kommt ein Gefüge von Organismenarten heraus, das sich im stabilen Stadium minimale Konkurrenz macht. Störungen des Zusammenwachsens oder Veränderungen der bereits stabilen Lebensgemeinschaften spielen eine große Rolle für die Zusammensetzung und das Erscheinungsbild des Biotops: Einige Organismen haben nur eine bestimmte Störungstoleranz und verschwinden bei häufiger Änderung der Verhältnisse, andere sind ausdauernder und können sich besser an Veränderungen anpassen.

## 5.2 Störfaktoren in urbanen Biotopen

Wir Stadtbewohnerinnen und -bewohner wollen die Vegetation nutzen, um mit ihrer Hilfe unser eigenes Bioklima zu gestalten. Wir wollen uns einbeziehen in Biotope, deren Klima so von Pflanzen geprägt ist, dass wir uns darin wohlfühlen.

Der **Mensch** ist in der Stadt selbst allerdings einer der stärksten Stressfaktoren für die Pflanzen, weil er Pflanzen nicht nur durch seine Lebensweise, Emissionen, Wohnraum- und Verkehrswegegestaltung direkt unter Druck setzt, sondern auch nahezu alle anderen abiotischen Stressfaktoren (vgl. Abb. 3) in der Stadt verstärkt oder verursacht. Konzepte wie das des „antiautoritären Gartens“<sup>294</sup> nehmen diesen Gedanken auf und lassen spontanen Aufwuchs zu. Damit erreichen sie zweierlei: eine Reduktion des Pflegeaufwands im eigenen Gartenbesitz und eine Maximierung der Biodiversität an diesem Standort.



Eine „antiautoritäre“ Gestaltung von Grün wirkt Stress durch (Über-)Nutzung entgegen. Foto: Franziska Hollweg

Eine hohe Biodiversität ist aber auch auf dem Niveau der gesamten urbanen grünen Infrastruktur von großem Vorteil. So wird ein Artenreservoir mit einer Fülle von ökologischen Nischen vorgehalten, die sich jeweils flexibel auf sich verändernde Rahmenbedingungen einstellen können – auch auf Aspekte des Klimawandels. Zur Biodiversität in Biotopen gehören förderliche Organismen für Pflanzen wie auch ihre Schaderreger. Die ungestörte Einnischung führt aber auch zur Etablierung natürlicher Gegenspieler von Schadorganismen und kann Schäden unter der Schadensschwelle halten.

Hinter dem Begriff der ökologischen Nische steckt der gesamte Wechselwirkungskomplex, der für eine Art bedeutsam

ist, das heißt alle abiotischen und biotischen Umweltfaktoren, die das Überleben einer Art an einem Standort beeinflussen. Das Bioklima der Art ist insofern nur ein Faktor neben vielen anderen. Entscheidend ist, ob die Art auf die gesamte Spannbreite eines Störfaktors angemessen reagieren kann oder eine Grenze überschritten wird, die zu ihrem Tod führt. Das ist sehr unterschiedlich zwischen den Arten und wird als enge Toleranz gegenüber Schwankungen der Standortfaktoren (Stenökie) beziehungsweise breite Toleranz (Euryökie) bezeichnet. Innerhalb ihrer spezifischen Reaktionsbreite kann sich die Art an wechselnde Rahmenbedingungen anpassen. Darüber hinaus geht das nicht. Eine Sicherung des Erhalts einer Pflanze unter veränderten klimatischen Bedingungen ist außerdem nicht gleichzusetzen mit dem Erhalt ihrer Leistungen.

In Anbetracht des Klimawandels muss Stadtgrün also bestimmte Eigenschaften mitbringen, um Veränderungen seines Bioklimas tolerieren, sich trotz dieser Klimaveränderungen erhalten und weiterhin wichtige Ökosystemleistungen erbringen zu können. Wird die Stadt immer heißer, bleiben Pflanzen auf der Strecke, die keine Mechanismen der Anpassung entwickelt haben. Andere aber können hinzutreten, weil für sie die Standortbedingungen besser oder sogar ideal werden. Auf diesem Umstand basiert der simple Wunsch, an den Klimawandel angepasste Pflanzenarten für die urbane Umwelt zu finden. Heute wissen wir bereits viel über die ökologische Nische und die Reaktionsbreite von Pflanzen. Dennoch bedarf es mehr Forschung, um daraus Handlungskonzepte ableiten zu können. Es wurden bereits zahlreiche Praxistests durchgeführt, deren Erfahrungen und Erkenntnisse wertvoll für zukünftige Planungsprozesse sein können und die in den folgenden Absätzen zusammengefasst werden.

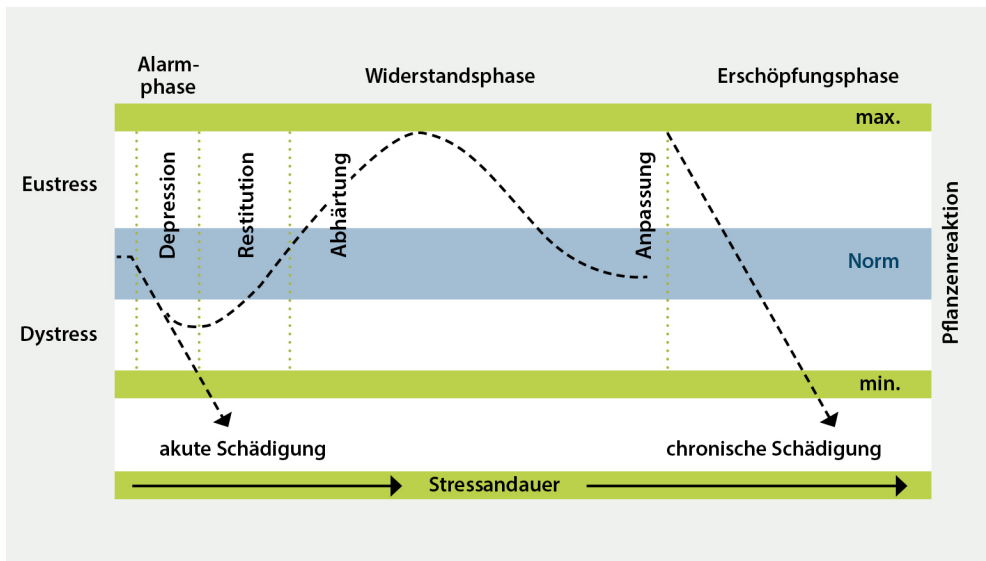


Abbildung 3: Pflanzenreaktion unter Stress; Quelle: Eigene Darstellung nach Larcher 1994

### Informationen kompakt – Störfaktoren in urbanen Biotopen

- Stadtbewohnerinnen und -bewohner versuchen, Pflanzen für ihr eigenes Bioklima zu nutzen. Trotzdem ist der Mensch einer der größten biotischen Stressfaktoren für urbane Vegetation und beeinflusst – unter anderem als Verursacher des Klimawandels – ebenfalls alle abiotischen Stressfaktoren (zum Beispiel Temperatur, Wasser, Mineralstoffe).
- Entscheidend für das Stadtgrün ist, ob die Art auf einen Störfaktor angemessen reagieren kann oder ihre Reaktionsbreite überschritten wird, was zu ihrem Tod führt.
- Heute wissen wir über die Reaktionsbreite von Pflanzen schon sehr viel. Ob sie an den Klimawandel wirklich angepasst sind, kann dennoch nicht exakt vorhergesagt, sondern muss noch praktisch erprobt werden.

### 5.3 Pflanzen unter Stress

Für uns nutzbare Ökosystemleistungen der Pflanzen in der urbanen Infrastruktur setzen ihre erfolgreiche Anpassung an den Standort voraus<sup>295</sup>. Pflanzen trachten durch ihre spezifischen Anpassungsstrategien danach, ein Lebensoptimum am Standort zu erreichen<sup>296, 297</sup>.

Schwankungen in der Intensität der Umweltfaktoren können eine Pflanze belasten und unter **Stress** setzen<sup>298, 299</sup>. Stress ist eine außergewöhnliche Abweichung vom Lebensoptimum, die zunächst reversible Veränderungen und Reaktionen in allen Funktionsbereichen des Organismus bewirkt, aber auch bleibende Folgen verursachen kann. Auf die Wirkung eines Stressfaktors (zum Beispiel vorübergehende Trockenheit) vermag die Pflanze durch Stressreaktionen zu reagieren<sup>300, 301</sup>. Kann sie elastisch dem Stress widerstehen, nennt man sie **resilient**. Resilienz bezeichnet die Fähigkeit, nach einer Störung wieder die volle Leistungsfähigkeit zurückerlangen zu können (zum Beispiel zeitweiliges Einrollen der Blätter bei Trockenheit).

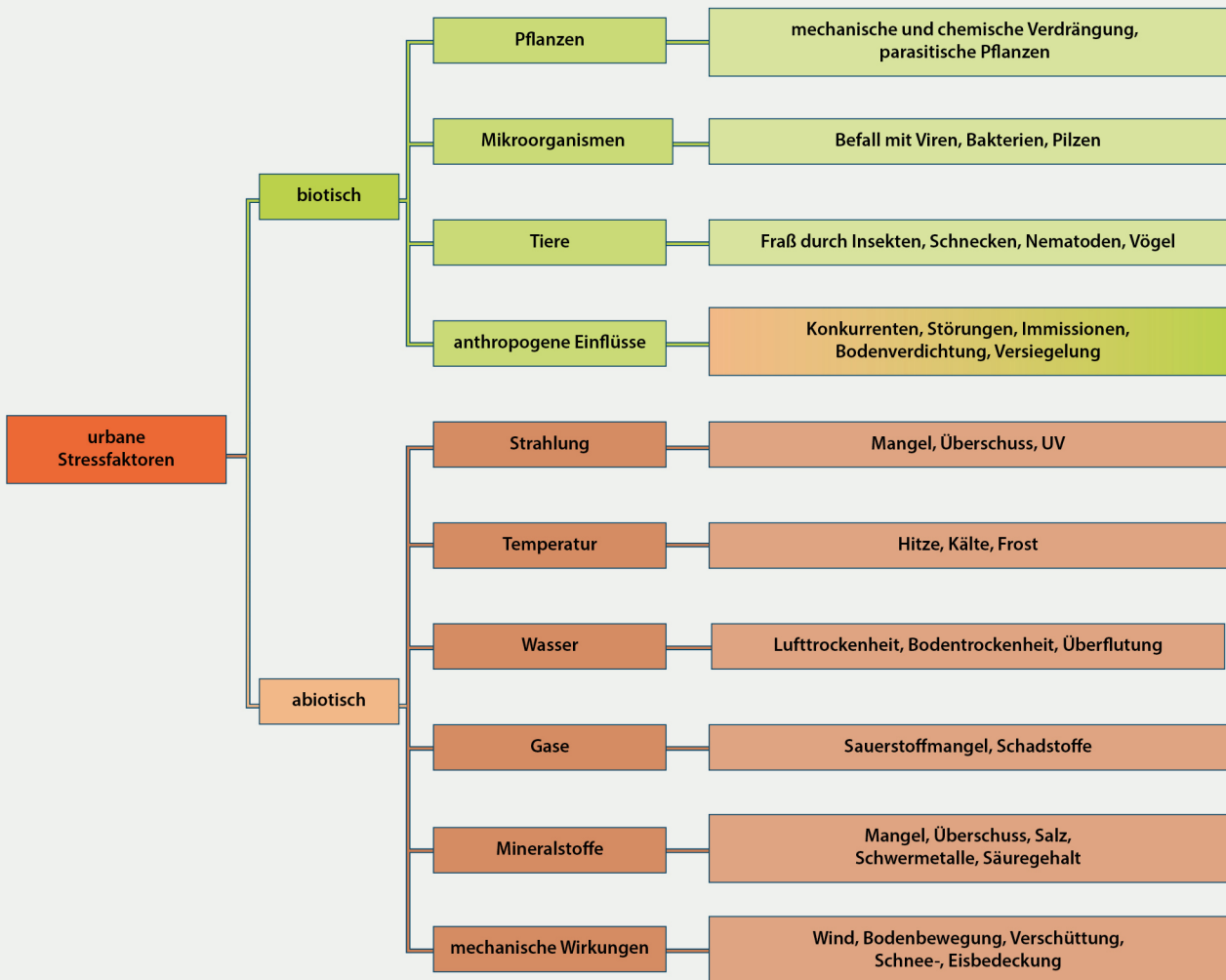


Abbildung 4: Urbane Stressfaktoren für Pflanzen; Quelle: Eigene Darstellung



Davon abzugrenzen ist die **Resistenz** einer Pflanze, die mit einer irreversiblen Antwort auf potenzielle Stressoren Widerstandsfähigkeit beweist, die jedoch dauerhaft ihre Leistungsfähigkeit verändert (zum Beispiel morphologischer Verdunstungsschutz durch kleinere Blätter, eine verstärkte Cuticula und dicke Wachsschicht, die zu geringeren Verdunstungsleistungen führt).

Im Lebensoptimum zeigen Pflanzen auf die Umwelteinflüsse eine Reaktion innerhalb einer **Reaktionsnorm** (vgl. Abb. 3).

Wirkt ein Stressfaktor (vgl. Abb. 4) auf sie ein, kann es zu veränderten Reaktionen in einem Bereich zwischen einem genetisch fixierten Minimal- und Maximalwert kommen.

In einer Alarmphase wirkt sich der Stressfaktor im Sinne einer Depression der Standardreaktion aus (zum Beispiel verringerte Photosyntheseleistung). Ist der Stress zu groß, kann es direkt zu einer akuten Schädigung kommen (zum Beispiel Sonnenbrand oder Trockenschaden an Blättern).

Bei andauerndem Stress in tolerierbarem Ausmaß kommt es aber zu einer Wiederherstellung der Pflanzenreaktion und in einer anschließenden Widerstandsphase sogar zu einer Überkompensation. So können in Reaktion auf Trockenstress insbesondere bei jungen Bäumen besonders fein verzweigte oder tiefe Wurzeln ausgebildet oder die Wasserleitbahnen im Gewebe anders strukturiert werden. Dieser Effekt wird **Abhärtung** genannt. Kehrt die Pflanzenreaktion trotz anhaltendem Stress in den Normbereich zurück, wird von der **Anpassung** an den Stress gesprochen. Wird

die Pflanze aber andauernd und stark von dem Stress beeinträchtigt, so kann sie in einer Erschöpfungsphase chronische Schädigungen davontragen und unter Umständen absterben<sup>17</sup>.

Die Resilienzeigenschaften von Pflanzen hängen also von der Stärke des Stressfaktors und seinem Andauern, aber auch von der Anzahl gleichzeitig auftretender Stressoren ab. Mehrere Stressfaktoren addieren sich in ihrer Wirkung (etwa hohe Lichtintensitäten, hohe Temperaturen und Trockenheit) und können rasch fatale akute Schädigungen hervorrufen, auf die eine Pflanze nicht ausreichend reagieren kann. Diese Beobachtungen der Stressphysiologie von Pflanzen sind von großer Bedeutung mit Blick auf den urbanen Lebensraum als stressreiches Ökosystem.

Dramatische klimatische Veränderungen, wie sie mit dem Klimawandel einhergehen, stellen für die meisten unserer heimischen Arten neuartige Stresssituationen in nie gekanntem Ausmaß dar<sup>18</sup>. Züchterische Anpassungsstrategien versuchen, dem entgegenzuwirken, und müssen vor diesem Hintergrund alle Optionen der Phänotypisierung ausnutzen und auf genetische Ressourcen zurückgreifen, die in der Lage sind, die neuen Herausforderungen zu meistern<sup>302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311</sup>. Dabei kann nicht in jedem Fall auf einheimische Arten als hauptsächliche Strukturelemente in der grünen Infrastruktur zurückgegriffen werden. Durch die veränderten Bedingungen kommen ebenfalls Arten in Betracht, die ursprünglich in anderen Regionen heimisch sind. Weiterhin ist der Ökotypenbildung über epigenetische Anpassung Raum zu geben.

## Informationen kompakt – Pflanzen unter Stress

- Pflanzen sind eingebunden in ökologische Zusammenhänge. Maßnahmen an den Pflanzen beeinträchtigen gesamte Ökosysteme.
- Nur gesunde Pflanzen erbringen die Ökosystemleistungen, die für die Bevölkerung nutzbar sind. Gestresste Pflanzen tun dies nicht.
- Eine Pflanze kann verschiedene Stressreaktionen zeigen: Resiliente Pflanzen erlangen nach einer Störung ihre volle Funktionsfähigkeit wieder; resistente Pflanzen reagieren mit irreversiblen Veränderungen und können so ihre Widerstandsfähigkeit erhalten.

## 5.4 Anpassungsfähigkeit der Pflanzen

Die Beschäftigung mit sogenannten Klimabäumen oder Klimastauden ist relativ neu und begann im Wesentlichen erst zu Beginn dieses Jahrhunderts. Ansätze für die Auswahl zukunftsfähiger Klimapflanzen basieren auf ihrer Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Rahmenbedingungen<sup>312, 313, 314, 315, 316</sup>.

Die im Erbgut niedergelegten genetischen Informationen, die eine Pflanze mit sich bringt (**Genotyp**), sind von grundsätzlicher Bedeutung für ihre Anpassungsfähigkeit an bioklimatische Standortfaktoren. In den Genen jeder Pflanze ist festgelegt, ob sie eine breite (euryöke) oder enge (stenöke) Reaktionsnorm auf Veränderungen in der Umwelt innehat. Damit einher geht das Erscheinungsbild dieser Pflanzen (**Phänotyp**). Je nach Standortverhältnissen kann eine Art von geringer Größe bleiben oder stattlich wachsen, wenn das in ihrer Reaktionsnorm vorgesehen ist, während

eine andere Art nur unter bestimmten Verhältnissen gedeihen kann (**phänotypische Variabilität**<sup>317</sup>). Dahinter steht die Regulation des Stoffwechsels der Pflanzen, auf den die Standortverhältnisse Einfluss ausüben<sup>318</sup>.

### 5.4.1 Anpassungsfähige Pflanzen

Am Beispiel des Lichts werden die verschiedenen Möglichkeiten einer Pflanze deutlich, sich an die speziellen Strahlungsverhältnisse eines Standortes anzupassen:

In natürlichen, nicht vom Menschen beeinflussten Ökosystemen werden spezialisierte Ökotypen einer Art durch Selektion bestimmter genetisch fixierter Eigenschaften hervorgebracht (**evolutive Anpassung**), die sich in ihren Leistungen und in ihrem Erscheinungsbild unterscheiden (zum Beispiel Dämmerlichtpflanzen, Schattenpflanzen, Sonnenpflanzen, Starklichtpflanzen). Diese Beobachtung ist seit Langem bekannt<sup>319</sup> und wird im Gartenbau bei der Auswahl von Pflanzen für einen bestimmten Standort streng beachtet.

Das tagesperiodische und witterungsbedingte Öffnen und Schließen der Blüten oder der Spaltöffnungen der Blätter vieler Pflanzen ist ein reversibler Vorgang, der als **modulative Anpassung** bezeichnet wird. Selbst innerhalb der Blätter treten vergleichbare Reaktionen auf: Chloroplasten – Zellorganellen, die den grünen Blattfarbstoff tragen – orientieren sich bei Schwachlicht hin zum Licht oder wenden sich ab, wenn das Licht zu stark wird. Gerade diese reversiblen Anpassungsreaktionen wirken sich sehr auf das Wachstum aus.

Pflanzen unter Trockenstress wachsen langsamer<sup>320, 321, 322, 323, 324</sup>, ihre Spaltöffnungen sind häufig lange Zeit geschlossen<sup>325</sup>. Pflanzen unterscheiden sich in diesem Verhalten und reagieren auf Trockenstress unterschiedlich angepasst<sup>326</sup>. Die Art und Weise der Wassernutzung durch die Pflanzen definiert so ihr Verhalten und ihre

Wirkung in der Klimaregulation<sup>327, 328, 329</sup>. Die Gestaltung des Standortes, die Vermeidung von Bodenverdichtung etwa<sup>330</sup> oder die Verbesserung der Wasserverfügbarkeit<sup>331</sup>, erlaubt die Anpassung von Standortverhältnissen an Pflanzenbedürfnisse. Auf diese Weise wird die Pflanzenauswahl erleichtert<sup>332, 333, 334, 335</sup>.

In der Regel nicht reversibel sind **modifikative Anpassungen** der Pflanzen. So bilden sich Organe spezifisch an die herrschenden Lichtverhältnisse angepasst aus und können sich an neue Standorte oder veränderte Bedingungen nicht oder nur schlecht anpassen. Wenn zum Beispiel nach Verpflanzung Blattfall erfolgt, müssen am neuen Standort erst neue zu diesem passende Organe ausgebildet werden<sup>336</sup>.

Eine gewisse Anpassung an Standortverhältnisse kann auch generationenübergreifend durch **epigenetische Anpassung** erfolgen, das heißt durch vererbte Änderungen der Genaktivitäten von Pflanzen.

Für die in diesem Leitfaden diskutierte Fragestellung der Pflanzenauswahl für eine klimaresiliente, funktionstüchtige urbane Vegetation ist vor allem die Genotyp-Selektion von Bedeutung, aber auch in zunehmendem Umfang die Berücksichtigung der epigenetischen Anpassungsmöglichkeiten<sup>337, 338, 339</sup>.

#### 5.4.2 Möglichkeiten der Pflanzenauswahl

In der Natur haben sich Pflanzengesellschaften an die vorherrschenden klimatischen Bedingungen ihres Standortes angepasst. Diese Anpassung nehmen wir in der Stadt durch die Pflanzenauswahl und die Veränderung des Standortes vor: Wir belassen oder pflanzen. Das ist eine Herausforderung, weil wir die Pflanzen oft nicht wirklich kennen und erst beobachten müssen, wie sie unter dem Stadtklima reagieren: Können sie die Spaltöffnungen verschließen und sind so tolerant gegen

Trockenstress? Lassen sie die Blätter fallen, wenn die Trockenheit länger währt? Können sie sich rasch erholen oder erst im nächsten Jahr? Wenn sie tolerant sind, übernehmen sie die zuge dachte Funktion auch wie geplant?

Welche Reaktion die Pflanzen zeigen können, ist in ihnen genetisch als typisches Merkmal fixiert. Die Kriterien für die Pflanzenwahl müssen deshalb an der erwarteten Leistung ausgerichtet sein. Wie flexibel diese Reaktion dann ist, muss sich aber erst im konkreten Mikroklima am Standort in der Stadt erweisen.

Die **Genotyp-Selektion** erfolgt heutzutage vor allem durch Betrachtung der Phänotypen. Man geht bislang davon aus, dass eine Pflanze, die an einem Standort gut wächst und bestimmte Eigenschaften aufweist, sinnvolle Grundlage für zielgerichtete Züchtung ist. Doch die epigenetisch vererbten Eigenschaften lassen die Phänotypen in einem differenzierteren Licht erscheinen<sup>340</sup>. Pflanzen erfahren die Umwelt eines Standortes im Laufe ihres Lebens und geben diese Erfahrungen außerhalb der genetischen Information (ohne Veränderung der DNS) an die nächste Generation weiter. So kommt es zu einer Anpassung an Standortverhältnisse, deren Ausmaß derzeit schwer abschätzbar ist. Es liegt aber in der Natur der Sache, dass diese epigenetische Information auch wieder reversibel sein muss, um sie bei veränderten Umweltbedingungen wieder für die nächste Generation neu anpassen zu können.

Wie bedeutsam die **Epigenetik** für die Standortanpassung einer Pflanze ist, lässt sich eigentlich aus der Beschreibung von Ökotypen einer Art bereits ableiten. Man weiß aber nicht, wie viele Generationen für diese Form der Anpassung nötig sind und wie lange die Eigenschaften weitergegeben werden. Aus der Praxis der Pflanzenproduktion weiß man, dass Pflanzen bereits in der Baumschule „abgehärtet“ werden

können. So wird durch gezielte Trockenperioden während der Anzucht die Anpassung an Trockenstress am späteren Standort erhöht<sup>341, 342</sup>. Dies nutzt zwar in erster Näherung vor allem der so produzierten Pflanze über die Anpassung ihrer Stressphysiologie selbst<sup>343</sup>, legt aber möglicherweise gleichzeitig die Grundlage für die epigenetische Anpassung der potenziellen Nachkommen.

In den Brennpunkt der Selektionsbemühungen rückt deshalb das moderne Forschungsfeld der **Phänotypisierung** von Pflanzen<sup>344, 345</sup>. Wegen des bisherigen Grundlagencharakters sowie des hohen technischen und organisatorischen Aufwandes ist aber in absehbarer Zeit noch keine Empfehlung einer größeren Zahl von urbanen Klimapflanzen zu erwarten. Wir sind deshalb nach wie vor auf herkömmliche Methoden der Pflanzenbeschreibung (zum Beispiel durch Vitalitätsmessungen<sup>346</sup>, Selektion, Züchtung und Vermehrung) angewiesen. Im Folgenden wird dennoch versucht, einen praktikablen Weg für die Pflanzenwahl aufzuzeigen, der die epigenetische Ökotypentwicklung mit einschließt.

#### 5.4.3 Kreisläufe berücksichtigen

Der Zusammenhang von Lichtangebot, Pflanzenentwicklung und klimaregulativen Leistungen offenbart, wie eng der Kohlenstoff- und der Wasserkreislauf miteinander verbunden sind:

Pflanzen entziehen der Atmosphäre das Treibhausgas CO<sub>2</sub> und sind deshalb ein wesentlicher Motor des Kohlenstoffkreislaufs an ihrem Standort. Die Pflanzen, in diesem Zusammenhang auch **Produzenten** genannt, bauen den Kohlenstoff durch Photosynthese unter Zuhilfenahme von Sonne und Wasser in Form von Kohlenhydraten in ihre Biomasse ein. Bei dieser Assimilation entsteht als Abfallprodukt Sauerstoff – die Grundlage unseres Lebens.



Stoffkreisläufe sollten im Stadtgrün geschlossen werden, davon profitiert unter anderem der Boden.  
Foto: Hannah Scherreiks

Der Kohlenstoff wird über die Spaltöffnungen der Blätter aufgenommen, während die Strahlung der Sonne die Energie für die Photosynthese liefert. Bei der Öffnung der Spaltöffnungen wird nicht nur Sauerstoff, sondern auch Wasserdampf an die Umwelt abgegeben. Das Wasser stammt aus dem Boden und wird über die Wurzeln der Pflanzen aufgenommen. Viel Blattwerk schafft Schatten, Blätter erzeugen Wasserdampf, erhöhen die Luftfeuchte, Verdunstung verursacht Kühlung.

Kohlenstofffixierung ist aber keine Einbahnstraße: Nachts, wenn keine Sonne als Energielieferant zur Verfügung steht, müssen Pflanzen einen Teil des Zuckers, den sie aufgebaut haben, wieder veratmen. Es wird statt Sauerstoff wieder Kohlendioxid freigesetzt.

Diese Atmung nutzen auch alle **Konsumenten** für die Beschaffung der Energie, die sie für ihre eigenen Lebensvorgänge brauchen. Zu den Konsumenten gehören alle Tiere und damit auch wir Menschen.

Nach dem Tod von Pflanzenteilen oder der gesamten Pflanze wirken sich **Destruenten** zersetzend auf die Biomasse aus. Bakterien und Pilze schließen damit den Kohlenstoff- und Nährstoffkreislauf der Natur und setzen dabei ebenfalls CO<sub>2</sub> frei, das wieder für die Pflanzen zur Verfügung steht.

Balanciert wird der Kohlenstoffkreislauf durch die schiere Masse des Verfügbaren, aber auch durch Limitationen, die in der Natur der Pflanzen liegen: Viel Kohlendioxid lässt Pflanzen wachsen, es sei denn, das Wasser fehlt. Viel Wasser und genügend CO<sub>2</sub> führen zu rasanter Biomassezunahme, es sei denn, die Sonne fehlt. Das Zusammenwirken von viel Wasser, CO<sub>2</sub> und genügend Sonnenstrahlung lässt sogar Regenwälder entstehen, die so viel Wasserdampf freisetzen, dass er vor Ort selbst starke Regen erzeugen kann. Es sei denn, Temperaturen im Winter begrenzen das Überleben. Die Kreisläufe müssen also in der Stadt geschlossen und aufeinander abgestimmt sein: Ohne Wasser, ohne Sonne keine Leistung, zu viel des Guten stresst und mindert den Effekt.

### Informationen kompakt – Anpassungsfähigkeit der Pflanzen

- Pflanzen passen sich an Standorte mit ihren spezifischen Bedingungen genetisch, epigenetisch, modifikativ und modulativ an.
- Eine erfolgreiche Anpassung an den Standort ist die Voraussetzung für die Ausprägung von bestimmten Leistungsmerkmalen der Pflanzen innerhalb ihrer Reaktionsnorm und damit auch von nutzbaren, klimaregulativen Ökosystemleistungen der Pflanzen in der urbanen Infrastruktur.
- Für die Pflanzenwahl in der klimaresilienten Stadt ist es wichtig, die zukünftigen erwarteten Ökosystemleistungen zu definieren, die Haupt Einflussfaktoren herauszustellen und die phänotypische Variabilität von Pflanzen in Bezug auf diese Hauptfaktoren zu erfassen.
- Stoffkreisläufe (zum Beispiel Wasser, CO<sub>2</sub>) müssen berücksichtigt und in der Stadt aufeinander abgestimmt werden, um die gewünschten Ökosystemleistungen der Pflanzen zu generieren.

# 6 Kulturpflanzenwahl für die Stadt im Klimawandel



Die folgenden Kapitel geben Hilfestellungen für die Auswahl von geeigneter Vegetation an urbanen Standorten. Dabei geht es zum einen darum, Einflussfaktoren bei der Auswahl beziehungsweise die am Standort gewünschten Funktionen zu bestimmen, zum anderen werden Hinweise zu Hilfestellungen und Datenbanken gegeben, die bei der Auswahl der Pflanzen in der Praxis hilfreich sein können. In den einzelnen Kapiteln werden neben Gehölzen (Kap. 6.1) auch Stauden (Kap. 6.2), Dachpflanzen (Kap. 6.3) und Fassadenpflanzen (Kap. 6.4) in den Fokus genommen. Zum Ende des Kapitels wird zudem herausgestellt, an welchen Stellen sich noch Wissenslücken finden lassen und wo demnach noch weiterer Forschungsbedarf besteht (Kap. 6.5).

Bei der Auswahl von Kulturpflanzen, die den Bedingungen einer Stadt im Klimawandel auch auf Dauer standhalten können, sollten verschiedene Faktoren berücksichtigt werden. Entscheidend ist etwa, an welche Bedingungen sich die Vegetation an einem ausgewählten Standort anpassen muss, welche Funktionen gewünscht sind und welche Möglichkeiten der Bepflanzung sich bieten. Auf diese Fragen wird in den folgenden Kapiteln eingegangen, wobei zwischen verschiedenen Arten der Bepflanzung (Gehölze, Stauden, Dach- und Fassadenpflanzen) differenziert wird. Um vor allem eine Anwendung in der Praxis zu erleichtern, werden wichtige Publikationen und Datenbanken vorgestellt, die die Auswahl geeigneter Vegetation unter den gegebenen Umständen erleichtern sollen.

## 6.1 Gehölze

### 6.1.1 Gehölze nach Einflussfaktoren auswählen

Bei der Baumarten- und -sortenwahl gibt es eine lange Reihe von Gesichtspunkten in der Entscheidungsfindung. Handelt es

sich um einen Solitärbaum, eine Baumallee oder Mischpflanzung? Soll der Baum im Straßenraum, im Straßenbegleitgrün oder in einer Parkanlage, im innerstädtischen Bereich oder im Stadtwald stehen? Können die Anforderungen des Baumes an Licht, Boden, Wasser und Klima an diesem Standort erfüllt werden? Außerdem sind Bäume strukturbildend auf allen Flächen des urbanen Grüns, sodass auch die Ästhetik eine bedeutende Rolle einnimmt. Dabei muss die Funktionalität unter den besonderen Belastungen der Standorte in der Stadt gewahrt werden. Diese Broschüre fokussiert insbesondere die für die Klimaanpassung relevanten Gesichtspunkte dieser Funktionalität.



Unterschiedliche Baumarten an einem Standort erhöhen die Resilienz für bestimmte Klimabedingungen der Zukunft. Foto: Hartmut Balder

Bäume haben eine **Standzeit** von 50 bis 100, manchmal sogar 200 Jahren und mehr. In dieser Zeit wird sich das Klima in Deutschland deutlich verändern<sup>347</sup>. Große Teile Deutschlands werden voraussichtlich bis 2100 ein Klima wie am Mittelmeer haben, für Berlin werden beispielsweise bereits bis 2055 Temperaturen wie in Toulouse (Südfrankreich) prognostiziert und in den Obstanbaugebieten des Hamburger Umlands wird in wenigen Jahrzehnten Weinbauklima herrschen<sup>348</sup>.

Wie in Kapitel 2.1 ausgeführt, spielt neben den Klimatabellen für das regionale Klima die Einschätzung des Mikroklimas am Standort eine erhebliche Rolle. Aufgrund der langen Standzeiten muss, trotz des Klimawandels, die **Winterhärte** und Spätfrosttoleranz weiterhin Beachtung finden. Für die Verwendung als Stadtbaum in Deutschland werden Baumarten empfohlen, die die Winterhärtezone 6, also Temperaturen von -23,3 bis -17,8 °C, tolerieren<sup>349</sup>.

Auch die **Wasserverfügbarkeit** am Standort muss für die langen Standzeiten eingeschätzt werden. Hierzu gehören neben der Prognose der Niederschlagsmengen auch die Bodenwasserspeicherkapazität, die Größe der Pflanzgrube, der Versiegelungsgrad, die Entwicklung des Grundwasserspiegels und die Möglichkeiten zur Bewässerung am Standort. Die Wasserverfügbarkeit ist dabei nicht nur für das Überleben der Bäume essenziell, sondern auch für die Ausübung der gewünschten Funktionen wie Schattenwurf und Transpiration Kühlung (siehe Kap. 4.2 und 4.3).

Abschließend stellt sich die Frage nach der gewünschten **Klimaleistung**, die der Baum erbringen soll. Welcher Überschattungsgrad wird gefordert und welche Art von Schatten wird gewünscht (lichter oder tiefer Schatten)? Während im innerstädtischen Bereich die lokale Transpiration Kühlung und Schattenbildung von sehr hoher Bedeutung sein wird, um Menschen vor großer Hitze zu schützen, treten im Straßenraum und im Straßenbegleitgrün von Ausfallstraßen eher die Schattenwirkung auf dem benachbarten Radweg und die Luftstromlenkung in den Vordergrund.

Um die genannten Voraussetzungen für klimatolerante Bäume in der Stadt zu erfüllen, musste das verfügbare Arten- und Sortenspektrum erweitert werden. Zur Auswahl der Klimabäume für Versuche spielen meist das natürliche Verbreitungsgebiet und das dort zurzeit vorherrschende

Klima eine bedeutende Rolle. Neben der Untersuchung heimischer Arten stellt sich also auch die Frage, welche Arten etwa aus südlicheren Gebieten (Mittelmeerraum, Kaukasus, Schwarzes Meer) oder aus Nordamerika das Sortiment an Stadtbäumen erweitern können.

Die Erweiterung des Artenspektrums von Klimabäumen wird kontrovers diskutiert. Das Bundesnaturschutzgesetz<sup>350</sup> regelt seit 2008, dass in der freien Natur **gebietseigene** Gehölze gepflanzt werden sollen. Seit Anfang 2020 steht das Ausbringen von Pflanzen in der freien Natur außerhalb ihrer Vorkommensgebiete unter Genehmigungsvorbehalt (§ 40 BNatSchG). Folglich dürfen bei Bauvorhaben, der Neuanlage von Biotopen oder bei der Flurneuordnung nur noch Pflanzen verwendet werden, die aus Saatgut hervorgegangen sind, das in dem entsprechenden Vorkommensgebiet gewonnen wurde. Die grüne Infrastruktur in der Stadt wird nicht als Natur im Sinne des BNatSchG aufgefasst. Deshalb können hier gebietsfremde Arten angepflanzt und getestet werden<sup>334</sup> und einen wertvollen Beitrag für die Zukunftssicherung des Stadtgrüns leisten. Die Einführung neuer Klimabaumarten ist allerdings dahin gehend problematisch, dass ihre Invasivität und ihr Verhalten gegenüber anderen floristischen und faunistischen Elementen Gegenstand aufmerksamer Studien sein muss.

### 6.1.2 Erkenntnisse aus der Praxis – Pilotprojekte, Langzeitversuche und Eignungstests

Seit 1976 stellt die Gartenamtsleiterkonferenz Deutschland (GALK) mit der **GALK-Straßenbaumliste**<sup>351</sup> eine umfangreiche Liste von Baumarten und -sorten für die Pflanzung an Straßen und auf befestigten Plätzen zur Verfügung. Sie wird ständig erweitert, besteht aktuell aus **185 Arten und Sorten** und ist ein wichtiger Hinweisgeber für planende, pflanzende und mit der Baumverwendung beschäftigte Fachkräfte.



Die Liste liegt in einer interaktiven Version vor<sup>352</sup>, die zahlreiche Informationen zu Wuchshöhen und Breiten, Lichtbedarf und Lichtdurchlässigkeit, Herkünften, Wuchsform, Blättern, Rinde, Blütenfarbe, Fruchtschmuck, möglichem Fruchtfall, zur Herbstfärbung, den klimatischen und Bodenansprüchen, auftretenden Krankheiten und Schädlingen und der Insektenfreundlichkeit enthält. Es wird eine Empfehlung zur Verwendbarkeit gegeben, wobei als „geeignet“ Bäume eingestuft werden, die für den städtischen Straßenraum anspruchslos im Hinblick auf Boden, Nährstoffe und Klima sind. Der Arbeitskreis Stadtbäume der GALK erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und empfiehlt eine eigene kritische Beobachtung im jeweiligen Umfeld, um regionalen Besonderheiten Rechnung zu tragen. Die Broschüre „Zukunftsbäume für die Stadt“<sup>353</sup>, erarbeitet von der GALK in Zusammenarbeit mit dem BdB, enthält einen Auszug von 65 besonders klimarobusten, bewährten Baumarten aus der Straßenbaumliste.

Ab 1995 wurde durch den Arbeitskreis Stadtbäume der GALK, in Zusammenarbeit mit dem Bundessortenamt und dem Bund deutscher Baumschulen, ein erster Straßenbaumtest<sup>354</sup> angelegt, in dem in acht Städten insgesamt 13 Baumarten und -sorten gepflanzt, umfangreich vermessen, die Ergebnisse ausgewertet und in die Straßenbaumliste übernommen wurden. Im zweiten Test ab 2005<sup>355</sup> werden zurzeit 40 Baumarten und -sorten in mehr als 2.500 Exemplaren an bislang 194 Standorten anhand von 16 Prüfkriterien analysiert. Bislang beteiligen sich 17 Städte aus Deutschland, der Schweiz und Österreich. Weitere Kommunen und erfolgversprechende Baumarten werden schrittweise in den Test integriert.

Im **Projekt Stadtgrün 2021**<sup>356</sup> wurden 30 Baumarten, an den drei Versuchsstandorten Würzburg, Hof/Münchberg und Kempten gepflanzt und auf die Eignung

als Stadtbaum getestet. Zur Sichtung wurden zukunftssträchtige Baumarten aus dem (süd)osteuropäischen, nordamerikanischen und asiatischen Raum gewählt, um gezielt Bäume zu suchen, die den prognostizierten Klimabedingungen der Städte standhalten können. Seit 2010 wird jährlich im Frühjahr und Herbst auf Frost- und Trockenschäden, Kronenvitalität, Gesundheit und Zuwachsleistung gemessen und durch die Partnerstädte mit phänologischen Daten wie Blattaustrieb und Blattfall ergänzt. Detaillierte Informationen zum Versuch und zu den Ergebnissen sind im Projektbericht<sup>357</sup>, weitere anschauliche Informationen und Fotos der Bäume im Flyer der LWG<sup>358</sup> einsehbar.

Das **Netzwerk Zukunftsbäume**<sup>359</sup> testet an fünf Standorten über Deutschland verteilt 43 in der Mehrheit nicht heimische Baumarten. Die Versuche sind auf den Zeitraum 2013 bis 2023 angelegt. Die bereits gesammelten Baumvermessungsergebnisse sollen mit hochauflösenden Messungen der Stammradiusänderungen in Verbindung mit dem Standortklima ergänzt werden.

Zu den Langzeitversuchen können auch zahlreiche **Arboreta** (Baumsammlungen) gezählt werden, die über ganz Deutschland verteilt angelegt wurden.

Beispiele sind das **Arboretum Burgholz**<sup>360</sup>, ein Waldgebiet in Wuppertal mit Ausläufern ins Solinger Stadtgebiet, das **Arboretum Neuss-Reuschenberg**<sup>361</sup>, das **Grüne Labor Coburg**<sup>362</sup> oder das **Arboretum Ellerhoop**<sup>363</sup>.

Darüber hinaus wurde im Projekt **KLIM-PRAX Stadtklima** anhand der Modellstädte Wiesbaden und Mainz ein Methodenbaukasten<sup>364</sup> zur Beurteilung der klimatischen Situation innerhalb einer Kommune beziehungsweise eines Stadtgebietes erstellt. In mehreren Schritten wird hier das Stadtklima großräumig und kleinräumig modelliert, Belastungsräume

(zum Beispiel dichte Bebauung) und Ausgleichsräume (zum Beispiel Kaltluftschneisen) definiert und mit der Sensitivität der Wohnbevölkerung der Quartiere (Anteil der Bewohner > 75 Jahre, Anteil der Kinder) kombiniert. Ergänzend wurde in dem Projekt ein Planungshinweiskatalog für Maßnahmen entwickelt<sup>365</sup>. Dieser Baukasten kann bei der Bewertung eigener Baumsortimente helfen.

Hier ist auch das Projekt **ESCAPE** in Aachen zu nennen, in dem 2015–2019 die GIS-Plattform inkasPortal<sup>366</sup> zur Klimawandelbetroffenheit der Region bezüglich thermischer Belastung, Starkregen und Kaltluftströmungen entwickelt wurde. Auch dort wurden sozioökonomische Daten ergänzt, um vulnerable Gebiete aufzuzeigen. Beide Projekte ermöglichen eine Vorauswahl von Baumart und -form und deren Anzahl im entsprechenden Stadtviertel.

### 6.1.3 Weiterführende Informationen zur Arten- und Sortenwahl

Die funktionale Verwendung von Gehölzen im Straßenbegleitgrün ist Gegenstand des aktuell erschienenen Buches **„Straßenbegleitgrün: Wirtschaftlich, ökologisch und verkehrssicher“**<sup>367</sup> sowie verschiedener anderer Studien und Erfahrungsberichte<sup>278, 368</sup>. Hier werden Gehölzarten und -sorten zusammen mit Informationen zu Größe und Ästhetik für verschiedene Einsatzzwecke (zum Beispiel Fußgängerzonen), aber auch Ausschlusslisten (zum Beispiel pathogenanfällige oder salzunverträgliche Arten) aufgeführt. Darin finden sich auch Informationen zur Wuchsbreite, -höhe und zum Lichtbedarf von Klimabäumen.

Die **Klima-Arten-Matrix (KLAM)**<sup>369</sup> bietet ein hilfreiches Tool, um Gehölze nach ihrer Eignung für die Verwendung im Stadtbereich bei prognostiziertem Klimawandel einzustufen. Als Bewertungskriterien werden die Trockentoleranz und die Winterhärte herangezogen und daraus ein

Notenpaar in den Bewertungsstufen 1–4 gebildet. Der Bergahorn schneidet mit 4.1 beispielweise schlecht bei der Trockentoleranz und sehr gut bei der Winterhärte ab, während die Amerikanische Gleditschie mit 1.2 sehr trocken tolerant ist und eine gute Winterhärte aufweist. Im Buch **„Trockenstress bei Bäumen“**<sup>349</sup> werden über 200 Gehölzarten und -sorten nach KLAM eingeordnet und 33 Favoriten unter den trockenstresstoleranten Straßenbaumarten in Steckbriefen vorgestellt.



Die äußerst dürreresistente Baum-Hasel ist als Stadtbaum bereits etabliert, jetzt rückt sie auch im Forst in den Fokus. Foto: Mona Quambusch

In einem Forschungsprojekt der TU Dresden wurde die **Datenbank CITREE** entworfen. Sie enthält Informationen zu über 360 Arten und Sorten, die potenziell in Mitteleuropa angepflanzt werden können. Sie enthält unter anderem forstbotanische Literaturdaten als Basis für Wachstumsparameter, ergänzt durch eigene Ergebnisse aus Messungen zu Luft- und Bodenfeuchtigkeit sowie -temperatur und psychologischen Untersuchungen. In der Datenbank können sehr detaillierte Suchkriterien eingegeben werden, begonnen mit den Standorteigenschaften (zum Beispiel Informationen zu Boden- und Klimabedingungen und dem Herkunftsgebiet der Bäume) über die gewünschten Ökosystemleistungen, das Erscheinungsbild, benötigte

Pflegemaßnahmen und besondere Gefährdungen. Voreinstellungen für typische Standortssituationen können die Suche erleichtern. In der Ergebnisliste werden geeignete Gehölze vorgeschlagen, die mit Steckbriefen zum jeweiligen Gehölz hinterlegt sind. Die CITREE-Datenbank enthält im Vergleich zu den oben genannten Listen mehr Details, insbesondere bezogen auf die Ökosystemleistungen und das Erscheinungsbild, und bietet damit eine Alternative zur mühsamen Suche in Artbeschreibungen in der Forst- und Gartenbauliteratur für die Anwenderinnen und Anwender.

### 6.1.4 Verfügbarkeit beachten

Jede Überlegung der Pflanzenauswahl ist müßig, wenn am Ende nicht die benötigte Stückzahl über die regionalen Baumschulen bezogen werden kann. So ist es erklärtes Ziel der GALK, mit der Straßenbaumliste das Angebot von Baumarten und Baumsorten in ausreichender Zahl und Qualität durch Baumschulen zu sichern. Herausfordernd ist, dass es eine enorme Vielfalt an Baumarten und -sorten gibt und Stadtbäume sehr lange Anzuchtphasen durchlaufen, bis sie an einen endgültigen Standort gepflanzt werden. Frühe Absprachen sind also ebenso unerlässlich wie der Blick in Kataloge der Baumschulen.

## 6.2 Hilfestellungen für die Auswahl von Stauden

Aufgrund ihrer kürzeren Standzeit steht bei Stauden die Anpassung an die aktuellen Besonderheiten der Stadtklimata im Mittelpunkt. Es müssen nicht wie bei Bäumen die Klimaänderungen der nächsten 100 Jahre bedacht werden. Dauerhaftigkeit im Sinne einer stabilen Pflanzgemeinschaft für Jahr(zehnt)e ist aus ökonomischer, aber auch ökologischer Sicht dennoch wichtig. Hierzu wurden Mischstaudenpflanzungen entwickelt, die – bei Auswahl der richtigen Mischung für den Standort – wenig Pflege

benötigen<sup>370</sup>. Diese stresstoleranten Pflanzkonzepte brauchen nur in der Anwuchsphase eine noch regelmäßige Bewässerung und Pflege, danach nur bei sehr lang anhaltender Trockenheit<sup>371</sup>. Hinzu kommt, dass Stauden wichtige Partner in modernen Gehölzkonzepten sind, da sie natürliche Gegenspieler von Baumschädlingen fördern können<sup>372, 373, 374, 375</sup>.

Eine Übersicht bewährter Staudenmischungen ist auf der Internetseite des Bundes deutscher Staudengärtner<sup>376</sup> und deren **Flyer zu Staudenmischungen**<sup>377</sup> zu finden. Von der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau wurden die **Veitshöchheimer Staudenmischungen**<sup>378</sup> für verschiedene Standortansprüche entwickelt.



Eine ausgewählte Mischstaudenbepflanzung erhöht die Stresstoleranz, verlängert die Blühzeit und ist einfach in der Pflege. Foto: Falko Feldmann

### 6.2.1 Anpassung an extreme Trockenheit und Hitze

Um für den deutschen Raum Stauden zu finden, die extremer Trockenheit und Hitze auf urbanen Flächen standhalten können, wurde global nach ähnlichen Landschaftstypen gesucht. Als besonders geeignet erwiesen sich Pflanzen der nordamerikanischen und eurasischen Steppen sowie mediterrane Kräuter, mit denen das Sortiment für spezielle Trockenstaudenmischungen ergänzt wurde. Sie benötigen meist lockeren und durchlässigen Boden (um zu viel

Feuchtigkeit im Winter entgegenzuwirken), sodass häufig eine Bodenvorbereitung vor der Pflanzung nötig ist. Empfohlen sei hier die FLL-Broschüre „**Fachbericht Staudenverwendung im öffentlichen Grün – Staudenmischpflanzungen für trockene Freiflächen**“<sup>379</sup>, aber auch die bereits genannten Quellen enthalten besonders für trockene Standorte empfohlene Mischungen.

Bei einer dauerhaften Begrünung von Baumscheiben müssen neben Trockenheit auch die schattigen Lichtverhältnisse und der ausgeprägte Wurzeldruck berücksichtigt werden. Diese Stressfaktoren zusammen stellen bei der Pflanzenauswahl eine große Herausforderung dar. Mittlerweile wurden acht neue **Staudenkonzepte für Baumscheiben und trocken-schattige Gehölzbereiche** vorgestellt, die an mehreren Versuchsstandorten von 2010-2017 getestet wurden<sup>380, 381</sup>.

### 6.2.2 Spezialisierung auf hohe Transpirationsleistung

Durch ihre Größe und Blattmasse stellen Bäume mit Abstand die größte Transpirationsleistung und damit aktive Kühlung der Luft zur Verfügung. Auf entsprechend großer Fläche eingesetzt, können jedoch auch Staudenpflanzungen ihren Anteil dazu leisten, insbesondere dann, wenn auch die vertikale Begrünung mit einbezogen wird. Auf Gewässern und an deren Ufern können Stauden die Kühlung verstärken, die durch die Wasserfläche entsteht. So können spezialisierte Mischungen an feuchten Standorten für besonders starke Transpirationskühlung gezielt eingesetzt werden. Als Flächen kommen hier besonders Wassersammelflächen und wieder vernässte Flächen infrage, die durch die Umsetzung des Konzeptes der Schwammstadt (Kap. 7.1) an vielen Stellen neu entstehen.

Dort, wo die Kühlungsleistung besonders gefragt ist (Stichwort „Klimaoasen“), ist auch an trockeneren Standorten die

gezielte Auswahl geeigneter Stauden mit hoher Transpirationsleistung zu empfehlen und wenn nötig mit entsprechender Bewässerung zu fördern (siehe Kap. 6.3). Wie auch bei den Bäumen besteht hier noch Forschungsbedarf, es sind noch lange nicht alle Sortimente auf ihre Transpirationsleistung untersucht.

### 6.2.3 Förderung der Biodiversität

Bei der Auswahl der Stauden und bei der Flächenpflege ist es wichtig, die Biodiversität im Blick zu behalten. Eine hohe Artenvielfalt der verwendeten Pflanzen, ein hoher Anteil an heimischen Pflanzen und breite Blütezeiträume fördern die Insektenvielfalt und damit auch die Vogelwelt<sup>382, 383</sup>. Besonders zu berücksichtigen sind Insektenarten, die für ihre Nahrungsgewinnung, Fortpflanzung oder Überwinterung auf einzelne Pflanzenarten angewiesen sind, zum Beispiel oligolektische Bienen (Bienen, die von bestimmten Pflanzenarten abhängen), einige Schmetterlinge und Schwebfliegen<sup>384</sup>. Vom Arbeitskreis Pflanzenverwendung des Bundes deutscher Staudengärtner wurde eine **Auswahl an Staudenmischungen** veröffentlicht, die durch ihren Anteil an heimischen Arten oder ihre Blütezeit für die Förderung von Insekten empfohlen werden<sup>385</sup>. Hier werden zum Beispiel auch die Bernburger Staudenmischungen genannt, die zu einem hohen Anteil oder vollständig (Heimische Blütensteppe, Heimischer Blütenwandel) aus heimischen Arten bestehen. Die Webseite **bienenuettern.de**<sup>386, 387</sup> des BMEL bietet ein Auswahl-Tool, bei dem bienenfreundliche Pflanzen nach verschiedenen Kriterien gefiltert werden können, auch mit einer Extrakategorie für spezialisierte Wildbienenarten.

Überall dort, wo größere Flächen zur Verfügung stehen – als Begleitgrün von Ausfallstraßen oder auf Teilen von Parkanlagen –, bietet sich die Möglichkeit einer ökologisch

wertvollen, extensiven Bepflanzung mit Magerwiesen- und Kräutermischungen, die ganz ohne Düngung und Bewässerung auskommt. Laut Bundesnaturschutzgesetz ist der Einsatz von gebietsheimischen Pflanzen dabei – im Gegensatz zum ländlichen Raum – in städtischen Bereichen nicht verpflichtend. Die Förderung und Erhaltung der regionalen Flora ist hier jedoch ebenso wichtig wie in den umgebenden ländlichen Gebieten. Daher wird empfohlen, gebietsheimische Sortimente in Eigeninitiative auf ausgewählten Flächen einzusetzen. Der Verband deutscher Wildsamens- und Wildpflanzenproduzenten e. V. (VWW)<sup>388</sup> bietet ein Zertifizierungssystem (**VWW-Regiosaaten** und **VWW-Regiostauden**) und listet Bezugsquellen auf. Für Neuanlagen von größeren Flächen wie Böschungen, Straßenrändern und Ausgleichsflächen bietet gebietsheimischer Wiesendrusch eine naturnahe und oft kostengünstigere Alternative.



Begrünte Dächer mit bienenfreundlichen Pflanzen sorgen als trockene Standorte für wertvolle Lebensräume. Foto: Bundesverband GebäudeGrün

## 6.3 Dachpflanzen

### 6.3.1 Auswahl nach gewünschter Funktion

Je nachdem, welche Funktion eine Dachbegrünung erfüllen soll, ergeben sich daraus sehr diverse Pflanzempfehlungen.

Dachpflanzen können im Sommer für Gebäudekühlung sowie im Winter für Isolation sorgen und damit eine technische **Klimaanlage ersetzen**. Die Isolationsleistung ist dabei abhängig von der Schichtdicke der Substrate und dem Aufbau der Vegetationsschicht<sup>389, 390</sup>. Zu bedenken ist außerdem, dass die Vegetation nicht immer flächendeckend ist und es sowohl bei der Flächenentwicklung nach der Anlage der Begrünung, bei Störungen und über den Jahreszeitenverlauf zu Lücken in der Vegetationsschicht kommen kann<sup>389</sup>. Pflanzenvielfalt und ein hoher Anteil an dauerhaften Pflanzen mit langer Vegetationsperiode sowie die Integration immergrüner Pflanzen können hier entgegenwirken. Bei extensiver Dachbegrünung ist die Kühlungsleistung außerdem bei längeren Trockenperioden durch fehlende Verdunstungsleistung reduziert<sup>389</sup>. Sedum-Arten werden hier schon lange Zeit für eine sichere, lückenlose Pflanzenschicht auch bei extremer Trockenheit eingesetzt. In Bezug auf die Kühlung durch Beschattung und die Transpirationskühlung der Umgebungsluft sind – auch bei starker Trockenheit – breitblättrigere Arten wie Stachys jedoch leistungsfähiger<sup>391</sup> und könnten daher in Pflanzpläne mit aufgenommen werden. Wie manch andere Kräuterarten brauchen sie jedoch auch etwas mehr Substrataufbau. Die Pflanzenauswahl, auch an verdunstungsstärkeren Kräuter- und Gräserarten, hängt immer vom Gründachaufbau (und der wiederum von der nötigen Dachstatik) ab. Diverse Pflanzgemeinschaften sind stabiler gegenüber Störungen und Veränderungen der Umweltbedingungen als weniger diverse Pflanzungen<sup>147</sup> und können die

verschiedenen Ökosystemleistungen wie Gebäude- und Luftkühlung, Wasserspeicherfunktion, Wasserreinigung und Erholungswert damit langfristiger erfüllen.

Dachbegrünung kann neben der Funktion als „Klimaanlage“ auch als **Wasserspeicher** fungieren. Schon lange liegen Daten zur Minderung der Spitzenabflussraten und zur Wasserzischenspeicherung in Vegetations- und Substratschichten auf Dächern vor<sup>392</sup> und finden sich in den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien (2018) als Jahres- und Spitzenabflussbeiwerte wieder<sup>393</sup>. Zu einer besseren Versickerung führt die Dachbegrünung durch die Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit.

Untersuchungen bestätigen auch die Reinigung des Abflusswassers, sodass die Stickstoff- und Ammoniumnitratgehalte bei extensiver und intensiver Begrünung geringer sind als auf Vergleichsflächen<sup>394</sup>. Die Wasserrückhaltekapazität von Gründächern ist abhängig von Substratzusammensetzung und Substratdicke beziehungsweise Anstauhöhe<sup>393, 395, 396</sup>. Daraus kann die Reduktion der Wirkung von Wetterextremen wie Starkregenereignissen, aber auch Trockenperioden durch lokalen Regenrückhalt und Verdunstungsleistung abgemildert werden<sup>392, 394, 397, 398, 399, 400, 401, 402</sup>. Die gezielte Nutzung von Grauwasser eröffnet hier weitere Möglichkeiten<sup>403</sup>.

### 6.3.2 Extensive Dachbegrünung

Extensive Begrünung von Dachflächen eignet sich insbesondere an strahlungsintensiven, windexponierten Trockenstandorten. Durch die Auswahl nach Trockenheits- und Hitzeresistenz können Extensivbegrünungen diese Standortbedingungen tolerieren. Die Basis für eine solche Bepflanzung bilden meist Sedum-Arten, die diesen Stressfaktoren ausreichend standhalten können. An Standorten mit weniger extremen Bedingungen wachsen auch sie jedoch üppiger und mit größerer Artenvielfalt.

Empfehlungen für die Auswahl weiterer Pflanzen für eine extensive Begrünung können aus verschiedenen Pflanzenlisten entnommen werden<sup>390</sup>. Darin werden sowohl geeignete Stauden als auch Blumenzwiebeln und Gräser für unterschiedliche Lichtverhältnisse und Substratdicken von mindestens 4 cm bis maximal 15 cm aufgeführt. Darin finden sich zudem für eine Extensivbegrünung empfohlene Gehölze<sup>390</sup>.



Trockenresistente Begrünung für das Dach erhöht die Biodiversität, die Effizienz von Solaranlagen und isoliert das Gebäude. Foto: Bundesverband GebäudeGrün

Im Zusammenhang mit extensiver Begrünung auf Dächern wird voraussichtlich auch die Kombination mit Photovoltaikanlagen an Bedeutung gewinnen, bei der sowohl sonnen- als auch halbschattenverträgliche Pflanzen verwendet werden sollten. Dabei profitieren einerseits die Pflanzen vom Schutz vor zu hoher Sonneneinstrahlung durch die Solarpaneele, andererseits wird durch Bindung von Feinstaub, die Reflexion der Strahlung durch die Vegetationsschicht und die niedrigere Umgebungstemperatur auch die Effizienz und Lebensdauer der Photovoltaikanlage gesteigert<sup>404</sup>.

### 6.3.3 Intensive Dachbegrünung

Sofern die Substratdicke Beachtung findet, gibt es kaum Einschränkungen bei der Pflanzenwahl in der intensiven Begrünung von Dächern. Damit ist zum Beispiel auch eine Nutzung als Dachterrassen- und Nutzgarten möglich. Im Vergleich zu bodengebundenen Pflanzungen spielt die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegen hohe Strahlungseinflüsse, Hitze und – je nach Höhe und Lage des Daches – häufigere Frostereignisse und Windbruch eine größere Rolle.



Intensivere Nutzung von Dachgrün sollte wind- und frostbeständig beständig sein. Foto: Bundesverband GebäudeGrün

Sehr umfangreiche Pflanzempfehlungen werden im Buch **Dachbegrünung** in den Pflanzenlisten 7 (Gehölze) und 8 (Stauden)<sup>390</sup> gegeben. Für die Pflanzenauswahl können neben der speziellen Literatur für Dachbegrünung ebenso die Staudenmischpflanzungen (Kap. 6.2) und die Empfehlungen zu klimatoleranten Gehölzen (Kap. 6.1) mit herangezogen werden. Die **FLL-Dachbegrünungsrichtlinie**<sup>393</sup> enthält zudem Leitlinien für die Planung, den Bau und die Instandhaltung sowohl intensiv als auch extensiv genutzter Gründächer. Eine Gehölzliste ist zudem umfassend in einer Fachinformation des BUGG dargestellt<sup>405</sup>.

## 6.4 Fassadenpflanzen

### 6.4.1 Literatur und Modelle zur Auswahl und Bewertung geeigneter Pflanzen

Ebenso wie bei der Dachbegrünung steht bei der Fassadenbegrünung die Analyse der Statik, Wandstabilität und Wandstruktur im Gebäudebestand beziehungsweise die Einplanung der Fassadenbegrünung bei Neubauten an erster Stelle, wie in den „**Richtlinien zur Fassadenbegrünung**“ der FLL umfassend beschrieben<sup>406</sup>. Aus dieser Analyse ergeben sich die am entsprechenden Standort umsetzbaren Möglichkeiten. Im nächsten Schritt können die Ziele der Fassadenbegrünung näher ins Auge gefasst werden. Die verfügbaren Systeme reichen von der Direktbegrünung der Fassade mit Efeu über gerüstunterstützte Begrünung bis hin zu modularen und flächigen wandgebundenen Pflanzteppichen. Entsprechend unterschiedlich sind die Listen für Pflanzempfehlungen. Erprobt wurden die meisten Systeme bisher nur in geringer Stückzahl, sodass die Pflanzenarten als Empfehlungen gesehen werden sollten, die über die nächsten Jahre mit Erfahrungen angereichert und ergänzt werden können. Der aktuelle Wissensstand zur Fassadenbegrünung ist in verschiedenen Quellen niedergelegt<sup>135, 217, 219, 224, 225, 226, 227, 228, 407, 408</sup>, hier finden sich auch umfangreiche Pflanzenlisten für verschiedenste Begrünungssysteme<sup>409</sup>.

Viele Studien geben Ansatzpunkte für den Zusammenhang der Pflanzenauswahl und der Wirksamkeit von grünen Wänden auf das Klima. Um die Energieeffizienz von grünen Wänden genauer zu analysieren, wurden Modelle entwickelt und an Beispielen validiert<sup>410</sup>. Als Parameter fließen der Beschattungsgrad, der Blattflächenindex, die Verdunstung und der Emissionsgrad in Analysen ein und werden mit der Kühlungswirkung der unterschiedlichen Pflanzen in Beziehung gesetzt. Die Software

**SOLENE-Microclimate**, die zur Beschreibung urbaner Mikroklimata genutzt werden kann, wurde durch hydrothermale Modelle angepasst, um diese auch für grüne Wände nutzen zu können<sup>411</sup>. So können verschiedene Typen lebender Wände beschrieben und Wasserstress abgebildet werden. In einer **Klimaforschungsstation der LWG**<sup>412</sup> werden verschiedene Systeme auf ihre Praxistauglichkeit geprüft, standortangepasste Begrünungsvarianten erprobt und ihre Transpirations-, Beschattungs- und Kühlungsleistung gemessen.

#### 6.4.2 Bodengebundene Begrünung

Die bodengebundene Fassadenbegrünung erfolgt an einer fertigen Außenwand je nach Klettermodus der Pflanzen mit oder ohne Kletterhilfe. Die verwendeten Pflanzen haben eine direkte Verbindung zum gewachsenen Boden. Die Kletterpflanzen sind Selbstklimmer oder benötigen geeignete dauerhafte Kletterhilfen. Die Wasser- und Nährstoffversorgung findet in der Regel über natürliche Einträge statt. Eine regelmäßige fachgerechte Pflege ist notwendig, jedoch in geringerem Maße als bei fassadengebundenen Begrünungssystemen<sup>413</sup>. Die bodengebundene Fassadenbegrünung ist deshalb am kostengünstigsten umsetzbar. Kletterpflanzen auf der Fassade und am Gerüst haben einen nachgewiesenen Kühlungseffekt für die Wandoberfläche und auch die davorliegenden Luftschichten. Es gibt Unterschiede zwischen den Pflanzenarten: Während Hedera h. vor allem durch starke Beschattung auf hohe Kühlungsleistungen kommt, spielt die Verdunstungsleistung bei Fuchsia, Jasminum und Lonicera zusätzlich eine starke Rolle<sup>221</sup>. Die Pflanzenphysiologie und Blattflächenmorphologie sollten daher bei der Auswahl der verwendeten Arten Beachtung finden.

Die Transpirationskühlung ist auch hier wieder abhängig von der Wasserverfügbarkeit. Insbesondere in dicht bebautem Gebäudebestand mit hohem

Versiegelungsgrad stellt sich die Frage der ausreichenden Wasserversorgung während der Hitzeperioden, in denen die Kühlung von größter Bedeutung ist. Der Regenschatten des Gebäudes, der Grad der Versiegelung und die Verdichtung des Substrats müssen bei der Auswahl geeigneter Pflanzen also beachtet werden. Die Größe und Blattmasse rankender Pflanzen entsprechen dabei nicht selten der eines kleineren Straßenbaums und die benötigten Wassermengen sind entsprechend hoch. Damit die Wasserversorgung auch in Trockenphasen gewährleistet ist, sind wasserspeichernde Substrate erforderlich. Da die Kletterstrategien der infrage kommenden Pflanzen sehr unterschiedlich sind, muss der Aufbau des Rankgerüsts eng mit der Pflanzenwahl verknüpft werden. Es wird unterschieden in Selbstklimmer (Haftscheibenranker, Wurzelkletterer) und Gerüstkletterpflanzen (Schlingpflanzen, Ranker mit Ausbildung von Blattstielranken oder Sprossranken, Klimmer). Jede Art hat dabei ihre speziellen Anforderungen an Gerüstmaterial und -dicke, Orientierung und Abstand der Querstreben<sup>217</sup>.



Bodengebundene Begrünung kühlt das Gebäude und hat einen geringeren Pflegeaufwand als wandgebundene Begrünung. Foto: Falko Feldmann



Klassische Beispiele für bereits seit Jahrhunderten genutzten Direktbewuchs sind Efeu und Wilder Wein, die beide in verschiedenen Arten und Sorten verfügbar sind. Viele weitere bodengebundene Kletterer finden sich in der Arbeit „**Fassade und Pflanze**“<sup>217</sup>, unterteilt in vier Pflanztafeln für sommergrüne und immergrüne Selbstklimmer sowie sommergrüne und immergrüne Gerüstkletterpflanzen. Für jede Art werden neben Kennzahlen zur Wuchshöhe viele zusätzliche Informationen zu Anatomie, Farbe, Form, Standortvoraussetzungen und Pflegemaßnahmen gegeben.

### 6.4.3 Wandgebundene Begrünung

Wandgebundene Begrünungssysteme bilden die Fassade der Außenwand und ersetzen hier andere Materialien wie Glas, Faserzement, Metalle etc. Sie benötigen keinen Bodenanschluss und eignen sich daher besonders für innerstädtische Bereiche. Sie zeichnen sich durch sofortige Wirksamkeit, große Gestaltungsspielräume („vertikale Gärten“) sowie ein großes Spektrum verwendbarer Pflanzen aus<sup>413</sup>. Die Versorgung mit Wasser und Nährstoffen erfolgt über eine automatische Anlage. Der Aufwand für Pflege und Wartung ist von der Art der Gestaltung und dem verwendeten System abhängig, insgesamt aber höher als bei bodengebundenen Begrünungen. Die Konstruktion muss auf die Begrünung abgestimmt sein<sup>413</sup>.

Die wandgebundene Begrünung kann bei großflächigem Einsatz und ausreichender Bewässerung neben der bis zu 100-prozentigen Beschattung der Gebäude und der zusätzlichen Isolationsschicht auch hohe Transpirationsleistungen bringen und damit stärker zur Kühlung der Umgebungsluft beitragen. Je größer die Gesamtblattfläche und je strukturierter und mehrschichtiger der Aufbau, desto größer ist die zu erwartende Klimaleistung.

Je nach System ist die Menge und Kontinuität der Wasserversorgung sehr unterschiedlich,

sodass das Pflanzensortiment für jedes System angepasst werden oder aber die Wasserversorgung für die gewünschte Pflanzenwahl optimiert werden muss. Zur Bewässerung wird immer häufiger zusätzlich zum Regenwasser auch Grauwasser Verwendung finden. Dabei sind bei der Pflanzenwahl der Nährstoffgehalt und die Verunreinigung des Grauwassers zu berücksichtigen, die je nach Quelle und Filtersystem sehr unterschiedlich ausfallen können.



Wandgebundenes Grün ermöglicht einen hohen Gestaltungsspielraum und ersetzt Glas, Metalle oder andere Fassadenelemente. Foto: Bundesverband GebäudeGrün

Die Beispiele für wandgebundene Begrünungssysteme sind sehr vielfältig. Pflanzgefäße auf verschiedenen Ebenen, oft als **Regalsysteme** angeordnet, ermöglichen auch das Anpflanzen größerer Stauden sowie von Kleingehölzen und Kletterpflanzen<sup>246</sup>. **Modulare und flächige Systeme** ermöglichen komplexe Staudenpflanzungen. Der „**Leitfaden Fassadenbegrünung**“ der Stadt Wien<sup>236</sup> stellt sehr anschaulich viele aktuell am Markt befindliche Begrünungssysteme vor.

Nicole Pfoser<sup>217,409</sup> beschreibt Pflanzen für wandgebundene Systeme und führt dabei separate Listen für Moose, Stauden und Gehölze auf. Auch Pflanzlisten für Stauden und Gehölze in Pflanzgefäßen sind enthalten. Neben Informationen zu Wuchsverhalten, Wasserbedarf und Pflegeaufwand enthalten sie detaillierte Informationen zur Pflanzenanatomie.

Neben den klassischen Begrünungssystemen bestehen auch Möglichkeiten zur Bepflanzung von Gebäudefassaden und -dächern mit Nutzpflanzen wie schnellwüchsigen Salaten, Gemüsestauden und mehrjährigen Kräutern bis hin zu Beerensträuchern und Spalierobst. Bereits umgesetzte Projekte reichen dabei vom kleinen privaten Maßstab über Urban Gardening-Projekte bis hin zu Pilotprojekten zum Urban Farming<sup>414</sup>.

## Informationen kompakt – Kulturpflanzenwahl für die Stadt im Klimawandel

### Gehölze:

- Wichtige Einflussfaktoren: Standzeit, Winterhärte, Klimaleistung und Wasserverfügbarkeit.
- Die Verfügbarkeit der Gehölze muss berücksichtigt werden. Baumschulen können nicht alle Arten in unbegrenzten Stückzahlen vorhalten.

### Stauden:

- Stauden müssen im Stadtgrün Trockenheit und Hitze standhalten. Sie können zur Steigerung der Kühlung durch Verdunstung und einer Erhöhung der Biodiversität beitragen.

### Dachpflanzen:

- Stadtgrün auf Dachflächen kann als Ersatz für Klimaanlage (Isolation) und Wasserspeicher fungieren. Je nach Standort kann extensive oder intensive Begrünung eingesetzt werden.

### Fassadenpflanzen:

- Pflanzen an Fassaden tragen – je nach Art – durch Transpiration und Verschattung vor allem zur Kühlung der Umgebung und Isolation des Gebäudes bei. Unterschieden wird hier zwischen bodengebundener und wandgebundener Begrünung.


## 6.5 Weiterer Forschungsbedarf

Auf den meisten Freilandversuchsflächen zur Erprobung neuer Arten und Sorten stehen Bäume mit einem Alter von unter 25 Jahren. Für eine Langzeitbewertung ist es allerdings wichtig zu wissen, wie etwa das Astbruchverhalten oder die Trockenheits- und Hitzetoleranz bei 50- oder 100-jährigen Exemplaren bewertet werden kann. Erkenntnisse zum Astbruch- und Standverhalten von Bäumen sind insbesondere im Hinblick auf die Verkehrssicherheit im öffentlichen Raum von Bedeutung. Solche **Langzeitdaten** zum Wachstum der Klimabaumarten in mitteleuropäischen Städten stehen noch aus.

Das Spektrum der Krankheitserreger (**Pathogene**) wird sich durch den Klimawandel verändern und deren Verbreitungsgebiete mit den Kulturpflanzen gemeinsam weiter nach Norden verlagern. In Modellierungsstudien wurden für Nordeuropa besonders viele neue Interaktionen von Kulturpflanzen und Forstbäumen mit Schadinsekten verortet<sup>348</sup>. Die möglichen

zukünftigen Verbreitungsgebiete von Schadinsekten, pilzlichen und bakteriellen Pflanzenpathogenen hängen stark von den Temperaturen im Jahresverlauf ab und sollten in Überlegungen zum Anbau neuer Baumarten und Pflanzensortimente mit einfließen. Dabei sollte außerdem berücksichtigt werden, welche natürlichen Gegenspieler (Nützlinge) unter Umständen vorhanden sind und eine Ausbreitung bestimmter Pathogene eindämmen können.

Bei den **Ökosystemleistungen** von Gehölzen, aber auch Stauden und Gebäudebegrünung und deren Kombinationen stehen wir noch am Anfang der Untersuchungen. Enorm zugenommen haben in den letzten Jahren die Daten zur Nützlings- und Bienenfreundlichkeit der Gehölze und Pflanzensortimente<sup>415</sup>. Die Klimaanpassungsleistungen Kühlung durch Beschattung und Transpirationskühlung sind zwar an Beispielen häufig untersucht<sup>153, 416</sup>, in den Empfehlungslisten fehlen jedoch Daten zu den einzelnen Baumarten und Vergleiche dazu sind bisher nur für wenige Arten vorhanden<sup>183, 417, 418</sup>.

An aerial photograph of a city with a blue semi-transparent overlay. The overlay contains the title text. In the background, a cityscape is visible with various buildings, including a prominent church spire on the left and a large brick building on the right.

# 7 Leitbilder für die Klima- anpassung von Städten durch urbanes Grün



Auch wenn die Anpassung an die Klimawandelfolgen durch urbane Vegetation in vielen Gemeinden noch zu wenig auf der Tagesordnung steht, gibt es Kommunen, die in dieser Hinsicht bereits aktiv sind. So wurden in den letzten Jahren verschiedene Ansätze entwickelt, die auf den Erhalt, den Ausbau und die Qualifizierung von Stadtgrün abzielen und vereinzelt bereits umgesetzt werden. Zu den wichtigsten Leitbildern gehören das Konzept der **Schwammstadt** (Kap. 7.1) mit dem Fokus auf grün-blaue Infrastrukturen, das Konzept der **Naturstadt** (Kap. 7.2) auf der Ebene urbaner Vegetation, die **Bürgerstadt** (Kap. 7.3) mit partizipativem Fokus, die auf produktive Infrastruktur ausgerichtete **Essbare Stadt** (Kap. 7.4) und der holistischere Ansatz zur Schaffung einer nachhaltigen Stadt, das Konzept der **Grünen Stadt** (Kap. 7.5).

In Deutschland sind bereits viele Städte und Gemeinden auf dem Weg, ihre Klimaresilienz durch den Einsatz von Stadtgrün zu steigern. In Abhängigkeit von den beteiligten Hauptakteuren folgen sie dabei verschiedenen Strategien, die dem Stadtgrün unterschiedlichen Wert beimessen. So zeigt der Umgang mit Stadtgrün in der Praxis oftmals, dass Pflanzen noch immer eher als unbelebte Raumstrukturen verstanden werden und nicht als integrale Bestandteile menschlichen Lebens. Die Klimaregulation von Pflanzen wird oft unterschätzt und bei Neuversiegelung etwa mit Ausgleichsmaßnahmen vor der Stadt geplant, die den innerstädtischen Grünverlust in keiner Weise ausgleichen können. Planung, Pflanzenwahl, Pflanzung und Pflege sind oft nicht aufeinander abgestimmt, sodass sich für die Pflanzen schon von Beginn an Stressfaktoren einstellen, die durch bessere Planungsvorgänge vermieden werden könnten. Einigen Städten erscheint es planungssicherer, auf verlässliche technische Lösungen zu setzen als auf scheinbar unwägbare biologische Ansätze. So verwenden sie zumeist noch Entscheidungsmatrizen, die der grauen

Infrastruktur Vorrecht vor grün-blauen Infrastrukturen einräumen. Dadurch verringert sich das Stadtgrün – insbesondere in wachsenden Städten – nicht nur permanent, Maßnahmen zu dessen Erhalt laufen zudem oftmals ins Leere, weil die biologischen und ökologischen Rahmenbedingungen scheinbar keinen Erfolg erlauben. Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen sind deshalb oft nicht in der Balance<sup>419</sup>.

Dennoch wurden in den letzten Jahren zunehmend neue, unter anderem auf Stadtgrün fokussierte Ansätze entwickelt, die bereits vereinzelt umgesetzt werden. Im Wesentlichen sind hier fünf Leitbilder zu nennen, mit denen die schrittweise Klimaanpassung von Städten und Gemeinden zukünftig gelingen könnte. Ihnen gemein ist das Ziel der Einpassung von Grün in den Lebensraum der Stadtbevölkerung und die Nutzung der Ökosystemleistungen der Vegetation. Damit einher geht das Erfordernis, die Lebensräume der zu nutzenden Pflanzen so zu gestalten, dass diese darin lebensfähig und damit auch positiv auf das Klima wirken können. Die Leitbilder ermöglichen unterschiedliche Zugänge und Möglichkeiten, verschiedene Ziel- und Interessengruppen einzubinden und ihre Denkmuster auf das gleiche Ziel zu lenken: die Erhaltung, den Ausbau und die funktionelle Optimierung des urbanen Grüns.

In den nachstehenden Kapiteln werden folgende Leitbilder beschrieben:

- Schwammstadt (Fokus Wasser)
- Naturstadt (Fokus Biodiversität und Resilienz)
- Bürgerstadt (Fokus Partizipation und Gemeinwohl)
- Essbare Stadt (Fokus Produktion, Bildung, Partizipation)
- Grüne Stadt (Fokus auf alle Ökosystemleistungen von Stadtgrün)

Die Ziele der Leitbilder beruhen dabei auf denselben Annahmen: Die Stadt im Klimawandel muss sich der immensen Bedeutung des Stadtgrüns für das menschliche Leben in der Stadt bewusst werden. Dieser Prozess wird erleichtert, wenn gesundes Stadtgrün erfahrbar wird. Stadtgrün wird umso eher als positiv erfahren, je mehr es davon gibt und je älter, strukturierter und vielfältiger es erscheint. In Verbindung mit Bildungsaspekten vermittelt man über die Leitbilder die Notwendigkeit, natürliche und technische Kreisläufe einzurichten, zu ermöglichen oder zu gestatten.

## 7.1 Schwammstadt – Klimaanpassung durch eine grün-blaue Infrastruktur



In der Schwammstadt werden Versickerungsflächen angelegt. Diese halten das Wasser und verringern den Oberflächenwasserabfluss, erhöhen die Grundwasserzufuhr und die Verdunstung. Foto: Reinaldo Coddou H.

Unter Schwammstadt wird ein Stadttyp verstanden, der sich am Umgang mit Wasser als natürlicher und anthropogener Ressource orientiert. Wie ein Schwamm nimmt sie Wasser auf, speichert es, verteilt es und entwässert nur überschüssige Mengen<sup>271, 420, 421, 422</sup>.

Überlegungen zur Schwammstadt werfen fünf wesentliche Schlüsselfragen auf:

- Wie geht man mit immer größerer Wasserknappheit in städtischen und stadtnahen Gebieten um?
- Wie macht man Wasser für Pflanzen verfügbar, um ihre Ökosystemleistungen in vollem Umfang nutzen zu können? Wie verträglich ist die Schwammstadt für eine vitale Vegetation?
- Wie trennt man Grauwasser von Regenwasser und nutzt Grauwasser mehrfach?
- Wie reagiert man auf Überflutungen der Städte bei zunehmenden Starkregenereignissen?
- Wie verhindert man die Degradation städtischer wassersystemrelevanter Ökosysteme und Grünflächen durch andauernde Versiegelung und Zersiedelung?

Das Wasser, das aus unseren Wasserhähnen und Hydranten kommt und von dem nicht nur die Stadtbevölkerung, sondern auch das Stadtgrün abhängig ist, kommt entweder aus Grundwasserleitern oder Flüssen der Stadt oder dem periurbanen Raum. Bei Regen wird Wasser normalerweise vom Boden aufgenommen und auf natürliche Weise gefiltert. Dieses Wasser kann dann durch das Bohren von Brunnen wieder extrahiert und gesammelt werden, bevor es aufbereitet und der Stadt zur Verfügung gestellt wird.

Doch dieser natürliche Kreislauf wird vielerorts unterbrochen, da die ausgedehnte Urbanisierung und Zersiedelung der Städte zur Bildung von Tausenden von Quadratkilometern undurchlässiger Flächen geführt haben. Durch diese undurchlässigen Straßen, Gehwege, Dächer, Höfe und Parkplätze kann kein Wasser mehr in den Boden gelangen. Vielmehr fangen wir das Regenwasser heute über die städtische Entwässerungsinfrastruktur ab und leiten es in

Flüsse, Seen oder letztlich ins Meer. Diese traditionelle Art des Designs führte zur Entstehung von Städten, die immer dichter werden und immer stärker in den natürlichen Wasserkreislauf eingreifen<sup>423</sup>. In der Praxis bedeutet dies, dass durch fehlende Versickerung weniger Wasser in die Grundwasserleiter in städtischen und stadtnahen Gebieten gelangt und damit auch weniger Wasser entnommen werden kann. Das hat unmittelbare Folgen für Pflanzen, die dieses Wasser dringend benötigen. Sinkende Grundwasserstände und ein schlechtes Eindringen von Wasser in den Boden, die durch zunehmende Verdichtung und Austrocknung entstehen, führen zu einem fatalen Kreislauf. An dessen Ende steht mindestens das Einbüßen der Wirksamkeit der Pflanzen, oft sogar ihr Absterben.

Ein weiteres Problem hängt mit der Tatsache zusammen, dass Regenwasser und verunreinigtes Wasser in deutschen Städten noch immer von einem einzigen Entwässerungssystem gesammelt werden<sup>424</sup>. Wenn es regnet, kann die Kläranlage oft nicht das gesamte Wasser aufnehmen, das die Entwässerungssysteme führen. Daher wird in diesen Fällen ein Großteil des mit dem Abwasser vermischten Regenwassers unzureichend gereinigt in Flüsse eingeleitet. Zu diesen Problemen gehört auch die Entstehung verunreinigten Wassers in der Nähe des Straßenbegleitgrüns durch Tausalz, Öl oder Abrieb.

Die Zunahme von extremen Wetterereignissen in Städten führt zu immer größeren Schäden, wenn die Aufnahmefähigkeit der städtischen Oberfläche abnimmt. Dann steigt das Risiko von Fluten. Hochwasser führt zu einer erhöhten Grundwasserverschmutzung, verursacht oft erhebliche Sachschäden und gesundheitliche Probleme.

Das Ziel einer Schwammstadt ist es, möglichst viel Fläche zur Verfügung zu stellen, auf der Wasser wieder versickern kann.

Statt dichtem Beton und Asphalt braucht die Stadt demnach mehr unversiegelte (Grün-)Flächen. Regenwasser kann in der idealen Schwammstadt<sup>425, 426, 427</sup> am Ort des Niederschlags versickern, wird vom Boden gefiltert und gelangt in aufnahmefähige Bodenbereiche, Zisternen als Zwischenspeicher oder die städtischen Grundwasserleiter. Von dort kann die Entnahme von Wasser aus dem Boden durch städtische oder stadtnahe Brunnen erfolgen. Dieses Wasser kann leicht aufbereitet und für die städtische Wasserversorgung verwendet werden.

Entscheidend ist, dass in der Schwammstadt der Standort der Pflanzen mit der optimalen Wasserversorgung übereinstimmt. Dazu wurden Methoden entwickelt, die den Boden erkunden und seine Wasserhaltefähigkeit bestimmen<sup>428, 429</sup>, sodass die gezielte Versickerung den Pflanzen zugutekommt und ihre Kühlungsleistung durch Transpiration erhält. Gerade Bäume profitieren davon, wenn ihr Wurzelwerk sich auf die Wasservorkommen einstellen kann<sup>430, 431, 432, 433</sup>. Ungelenkt können die Wurzeln allerdings auch Schäden hervorrufen.

Neben einzelnen Grünflächen sollte nach dem Konzept der Schwammstadt zudem der Verbund dieser Flächen angestrebt werden. Offene Grünflächen sollten aneinandergrenzen, Wasserläufe miteinander verbunden sein sowie Kanäle und Teiche in der Nachbarschaft eingebunden werden, die Wasser auf natürliche Weise zurückhalten und filtern. Auch Gründächer sollten eingebunden werden, die Regenwasser zurückhalten (Retentions Gründächer) und es auf natürliche Weise filtern, bevor es recycelt oder in den Boden abgeleitet wird. So werden neben dem gezielten Ausbau von Versickerungsflächen gleichzeitig städtische Ökosysteme mit biologischer Vielfalt gefördert und Kultur- und Freizeitmöglichkeiten für die Menschen geschaffen<sup>434, 435</sup>.

Die Schwammstadt ist gekennzeichnet durch die Gestaltung poröser Oberflächenstrukturen in der ganzen Stadt, die den Abfluss verzögern, leiten und das Eindringen von Grundwasser ermöglichen. Dazu gehören neben Mulden, Rigolen und Rückhaltesystemen auch durchlässige Straßen- und Gehwegbeläge. Letztere erlauben eine sichere Mobilität, während Wasser sie durchdringen und das Grundwasser wieder angereichert werden kann. Entwässerungssysteme leiten das Regenwasser zur natürlichen Aufnahme in Grünflächen oder ermöglichen die Versickerung direkt an Ort und Stelle.

Die Schwammstadt enthält auch Ansätze zu Wassereinsparung und -recycling, einschließlich von Grauwasser auf Gebäudeebene. Anreize für Verbraucherinnen und Verbraucher zum Wassersparen (zum Beispiel durch nach Verbrauch gestaffelte Tarife), Sensibilisierungskampagnen und verbesserte intelligente Überwachungssysteme zur Erkennung von Lecks und ineffizienter Wassernutzung vermindern überflüssigen Wasserverbrauch. Einen kurzen, sehr übersichtlichen und leicht verständlichen Überblick über die praktischen Aspekte des Schwammstadtkonzeptes bei der Baumpflanzung gibt die Umweltbundesamt GmbH Wien<sup>430</sup>.

### Informationen kompakt – Schwammstadt

- Der natürliche Wasserkreislauf in Städten und die Aufnahmefähigkeit urbaner Böden sind durch anthropogene Eingriffe (zum Beispiel Versiegelung, Entwässerung) stark beeinträchtigt.
- Katastrophale Überschwemmungen sind bei Starkregenfällen dadurch keine Seltenheit mehr.
- In der Schwammstadt wird daher angestrebt, die Stadt als ‚Schwamm‘ mit durchlässigen, wasseraufnahmefähigen Oberflächen zu gestalten. Wasser kann so auf natürliche Weise zurückgehalten und das Ausmaß von Überschwemmungen vermindert werden.

## 7.2 Naturstadt – Klimaanpassung durch naturbasierte Lösungen auf Vegetationsebene

Während sich die Schwammstadt auf den Wasserhaushalt fokussiert, fußt die Naturstadt auf dem Versuch, naturbasierte Lösungen für die Klimaanpassung von Städten zu fördern<sup>436, 437, 438</sup>. Die Naturstadt betrachtet neben dem Stadtgrün auch alle weiteren damit verbundenen Organismen und sieht die Stadt gegliedert in verschiedene Lebensräume, die über die speziellen Standortbedingungen der Stadt zu einem Ökosystem zusammengeschlossen sind<sup>439, 440</sup>. Wichtiges Element der Stadtnatur ist neben den Kulturpflanzen die spontan aufwachsende Vegetation. Ihr wird eine besondere Bedeutung für die Vielgestaltigkeit von Lebensräumen beigemessen<sup>441</sup>. Es wird angenommen, dass biologische Vielfalt die Stabilität von Lebensgemeinschaften erhöht<sup>293, 442, 443</sup> und vulnerable Arten sicher einbindet<sup>444</sup>.



In der Naturstadt werden Freiflächen so vielfältig, artenreich und naturnah wie möglich angelegt und gepflegt<sup>445, 446, 447</sup>. Alle privaten Gärten<sup>294, 448</sup>, öffentlichen Parks<sup>449</sup> und Grünanlagen, Gemeinschaftsgärten, Friedhöfe oder Sport- und Spielplätze sollen über Stadtwälder<sup>450, 451</sup>, Brachen mit Spontanvegetation<sup>452, 453, 454</sup> oder andere grüne Strukturelemente bis hin zur Gebäudebegrünung<sup>455, 456</sup> zu einem Netz von Grünräumen funktional verbunden sein. Dieser Verbund soll eine Durchlässigkeit für die Fauna der Stadtnatur<sup>457</sup> erlauben, den Austausch zwischen Populationen gewährleisten<sup>458</sup> und damit einer Verinselung<sup>459</sup> entgegenwirken. Die Naturstadt interpretiert insofern die urbane grün-blaue Infrastruktur als Biotopverbund mit hoher Biodiversität. Damit wird die grüne Infrastruktur, die auf wenigen Kulturpflanzenarten beruht, zu einem Lebensraum für möglichst viele Organismen qualifiziert.



Verbindung von funktionalen Räumen – urbane grün-blaue Infrastruktur als Biotopverbund mit hoher Biodiversität. Foto: Falko Feldmann

Vor diesem Hintergrund kommt es regelmäßig zu der Frage, ob einheimische Pflanzen den nicht einheimischen noch vorzuziehen sind<sup>460</sup>. Gerade der Klimawandel lässt hier oft die Grenzen gebietseigener

Arten erkennen und verhilft den nicht gebietseigenen zu ihrer Chance. So wird die Stadt zu einem grünen Labor für Pflanzen, die dem Klimawandel zu trotzen vermögen, weil Sukzessionen und natürlichen Selektionsprozessen freier Lauf gelassen wird<sup>461</sup>, sich an ihn anpassen oder wenigstens in ihrer Leistungsfähigkeit und Reaktionsbreite gemessen werden können<sup>462</sup>. Allerdings darf dieses Vorgehen nicht dazu führen, dass die einheimischen Arten durch nicht einheimische ersetzt werden: An die einheimischen Arten ist eine Vielzahl von natürlichen Regelkreisen und Lebensgemeinschaften geknüpft, auf die die Spezialisten unter den Tieren nicht verzichten können.

Mit dieser an der Stadtnatur orientierten Entwicklung werden zahlreiche auf die Natur bezogene Bildungsmaßnahmen für Bürger und Bürgerinnen verbunden und Naturerfahrungsräume für Kinder geschaffen. So ist die Naturstadt ein wichtiger Lernort für Umwelterziehung und ökologische Zusammenhänge. Den Austausch über Naturerfahrungen im direkten Wohnumfeld, zum Beispiel in Gemeinschaftsgärten, fördern vor Ort soziale Interaktionen. Sie wirken sich auch auf den Umgang mit Natur außerhalb der Stadt aus.

Die Naturstadt sucht die enge Verbindung zur blauen Infrastruktur und ermöglicht so die Verbindung zur Schwammstadt<sup>463</sup>. Darüber hinaus fordert sie möglichst große Grünflächen, die unweit voneinander lokalisiert und miteinander verbunden sind<sup>464</sup>. Aber sie kommt auch mit großen Standortunterschieden klar, weil sie durch das Zulassen spontaner Vegetation standortangepasste Pflanzen fördert. Die schiere Masse des Stadtgrüns und der hohe Anteil der strukturierten Vegetation, die die Verdichtung des Bodens verhindert und seine Wasserdurchlässigkeit steigert, verbessert den Wasserkreislauf und fördert die Verdunstung. Dadurch wird die Naturstadt zu einem Leitbild für die Klimaanpassung

von Städten. Da sie am wenigsten gepflegt werden muss, ist sie auch ökonomisch sehr interessant. Problematisch mag die Nutzung durch die Stadtbewohner und -bewohnerinnen sein, weil sich die urbanen Naturräume gerade ungestört am besten entwickeln können. Hier hilft eine gezielte multifunktionale Steuerung<sup>465</sup>. Generell „Verbuschung“ hinzunehmen könnte ohne entsprechende Aufklärung zu sozialen Problemen führen, weil Flächen „ungepflegt“ erscheinen und weil Menschen entsprechende Grünräume zum Beispiel als wilde Müllhalden zweckentfremden könnten. Transparenz und Partizipation steuern hier in die richtige Richtung.

### Informationen kompakt – Naturstadt

- Die Grundannahme der Naturstadt ist, dass biologische Vielfalt eine Erhöhung der Stabilität von natürlichen Lebensgemeinschaften erbringt und die Einbindung vulnerabler Arten gewährleistet.
- Ziel ist es, Freiflächen so vielfältig und naturnah wie möglich anzulegen und die Pflege entsprechend so auszurichten, dass Artenvielfalt erhalten und geschaffen werden kann.
- Alle urbanen Grünflächen (zum Beispiel Friedhöfe, private Gärten, Gebäudebegrünung, Parks) sollen funktional zu einem Netz von Grünräumen verbunden werden.

## 7.3 Bürgerstadt – Klimaanpassung partizipativ

Am Beispiel der Gebäudebegrünung erkennt man die Bedeutung des Bürgerstadt-Konzeptes: Obwohl alle Technologien zur Begrünung jeder Art von Häusern zur Verfügung stehen, bedarf es eines großen Beratungsaufwandes, spezieller Lösungen und bisweilen erheblicher Finanzmittel im privaten Bereich, um die Nutzung von Dach- und Fassadenbegrünungen voranzutreiben. Ohne den einzelnen Menschen und sein eigenmotiviertes Engagement ist eine Transformation der Städte in Richtung Klimaresilienz gar nicht möglich.

Die Bürgerstadt vermittelt die sozialen, ökonomischen und ökologischen Vorteile von Stadtgrün und zeigt auf, welche gemeinsamen Anstrengungen erforderlich sind, um es zu aller Wohl nutzbar zu machen<sup>466</sup>. In der Bürgerstadt wird deshalb auf Bildung, Anreize und gemeinschaftliche Aktionen gesetzt<sup>467, 468, 469, 470</sup>. Jeder Einzelne soll mitwirken und sein eigenes Umfeld – von der Baumscheibe über das Gebäude bis zum Klimagarten<sup>448, 471</sup> – mitgestalten. Die Partizipation verändert das Denken der beteiligten Akteure und kann dazu führen, dass scheinbar festgelegte Schönheitsideale infrage gestellt werden<sup>472</sup>.



Die Nachbarschaft pflegt das eigene Quartier. Die Bürgerstadt als Modell für eine Gestaltung des städtischen Raums „von unten“. Foto: Franziska Hollweg

Die Bürgerstadt kann auch ‚von unten‘ agieren: Bürger und Bürgerinnen sind fordernd, wo die Verwaltung zu zögerlich erscheint; vielerorts wird gegen Baumfällungen protestiert<sup>473</sup>; private Gemeinschaftsgärten entstehen<sup>474</sup> und zeigen neue Formen multifunktionaler Gestaltung<sup>475</sup>. In der Bürgerstadt wird um Meinungen gerungen und neue Sichtweisen bis hin zu Heterotopien entstehen: Vorstellungen und Visionen vom erwünschten Leben suchen symbolhaft Wege zur Realisierung über Garten und Stadtgrün<sup>476</sup>.

Die Bürgerstadt ist ein Ansatz für klimaresiliente Städte, weil sie den Dialog zwischen Verwaltung und Bürgerschaft fördert und die Entwicklung gemeinsamer Ziele vorantreibt. Durch diesen Dialog erhalten Kommunen die Möglichkeit, auf Anregungen aus der Bürgerschaft angemessen zu reagieren und durch bürgerwissenschaftliche Beteiligung die Basis fachlich begründeter Entscheidungen für Veränderungen und Transitionen in der grünen Infrastruktur zu schaffen.

### Informationen kompakt – Bürgerstadt

- Ohne den einzelnen Menschen und sein eigenmotiviertes Engagement ist eine Transformation der Städte in Richtung Klimaresilienz nicht möglich.
- Die Bürgerstadt setzt auf Bildung, Anreize und gemeinschaftliche Aktionen, um soziale, ökonomische und ökologische Zusammenhänge zu vermitteln und Stadtgrün gemeinsam zu entwickeln.
- Die Bürgerstadt setzt beim Teilhabegedanken an und schafft einen Dialog zwischen Bürgern und Verwaltung, der der Entwicklung grüner Infrastrukturen zugutekommen kann.

## 7.4 Essbare Stadt – Klimaanpassung durch produktive grüne Infrastruktur

Der Begriff „Essbare Stadt“ geht auf eine Initiative der englischen Stadt Todmorden zurück<sup>477</sup>. Unter dieser Bezeichnung verstand man dort ursprünglich ein Leitbild, das urbanes Grün mit Nahrungsmittelproduktion im Kleinstmaßstab verbindet und eine gemeinsam lernende Gesellschaft initiiert, die sich über gemeinsames Essen mit ihrer Umgebung identifiziert. Deutsche Städte, zum Beispiel Andernach<sup>478</sup>, Kassel<sup>479</sup> oder Essen<sup>480</sup>, machten sich den Gedanken zu eigen. In der Essbaren Stadt sollen Nahrungsmittel gemeinschaftsstiftend sein. Gleichzeitig wird den Stadtmenschen – wie auch bei der Bürgerstadt – der Wert der grünen Infrastruktur insgesamt nähergebracht und ein Verantwortungsgefühl vermittelt<sup>481</sup>. Seit einigen Jahren verwurzelt sich der Grundgedanke der Essbaren Stadt als Leitbild aber weit tiefer und bezieht die grüne Infrastruktur der Stadt über die urbane Landwirtschaft<sup>482, 483, 484</sup> in das Ernährungssystem der Stadt insgesamt mit ein<sup>485, 486</sup>. Die urbane Landwirtschaft umfasst danach alle Produktionssysteme und -verfahren der Landwirtschaft im weitesten Sinne, die auf Flächen, in Gewässern oder auf, an oder in Gebäuden in der Stadt oder ihrem nahen Umfeld für die kommerzielle oder nicht-kommerzielle Erzeugung von Produkten und Leistungen einschließlich Ökosystemleistungen im stadtreionalen, das heißt stadtnahen ruralen, periurbanen und intraurbanen Raum genutzt werden<sup>482</sup>.

Auf der Konferenz der Vereinten Nationen über Wohnungswesen und nachhaltige Stadtentwicklung (Habitat III) in Quito 2016 haben die Vertreterinnen und Vertreter die Erklärung zu „Nachhaltigen Städten und menschlichen Siedlungen für alle“ (Neue Urbane Agenda<sup>487</sup>) unterzeichnet. Darin nimmt die urbane Landwirtschaft einen prominenten Platz im Bereich „Planung

und Management der städtischen Raumentwicklung“ ein. Der Deutsche Städtetag nahm den Gedanken auf und sucht Wege, die urbane Landwirtschaft sowie nachhaltige lokale Konsum- und Produktionsmuster und soziale Interaktionen für Netzwerke lokaler Märkte und Geschäfte einzubinden. So sollen wirksame Handelsverbindungen im gesamten Stadt-Land-Kontinuum gefördert und sichergestellt werden, dass kleine landwirtschaftliche Betriebe an lokale, subnationale, nationale, regionale und globale Wertschöpfungsketten und Märkte angeschlossen werden<sup>488</sup>.



Öffentliche Gemeinschaftsgärten als Teil der Essbaren Stadt. Foto: Bundespreis Stadtgrün/Hergen Schimpf

Eine nachhaltige Ernährungssicherung und Landwirtschaft in städtischen, periurbanen und ländlichen Gebieten erleichtern die Herstellung und Lagerung sowie den Transport und die Vermarktung von Nahrungsmitteln an die Verbraucherinnen und Verbraucher unter adäquaten Bedingungen und zu erschwinglichen Kosten. So können Nahrungsmittelverluste verringert und Lebensmittelabfälle vermieden oder wiederverwendet werden<sup>489</sup>.

Die Lage und die Gestaltung beziehungsweise Art und Weise der Nutzung landwirtschaftlicher Flächen eröffnet weitere Möglichkeiten, die Biodiversität und die Klimaresilienz von Städten sowie Bildungsangebote und das soziale Miteinander in

den Quartieren zu fördern. Im Ausland haben bereits einzelne Städte begonnen, Vorhaben zur Integration der urbanen Landwirtschaft umzusetzen<sup>490</sup>. Auch in Deutschland sind Ansätze dazu seit Längerem erkennbar. Derzeit wird der Status quo der urbanen Landwirtschaft in Deutschland eruiert mit der Absicht, urbane Landwirtschaft in Zukunft zu stärken<sup>488</sup>. Hier wird sich zeigen, ob sich der Begriff der Essbaren Stadt in den Bereich der urbanen Landwirtschaft eingliedern wird oder sich als nicht professioneller Ansatz parallel zu einer eher professionellen urbanen Landwirtschaft behaupten kann.

Klimaregulativ wird die urbane Landwirtschaft beziehungsweise die Essbare Stadt erst, wenn sie in die bestehende grün-blaue Infrastruktur integriert werden kann und diese im besten Fall ergänzt und verstärkt, stabilisiert und sichert, ohne dass es dabei zu Flächenkonkurrenzen kommt. Dadurch entsteht eine produktive grüne Infrastruktur<sup>491, 492</sup>, in der nicht nur öffentliche Grünflächen oder Privatgärten zusammengebunden sind, sondern in die auch Wirtschaftsbetriebe eingegliedert werden. In der Essbaren Stadt verändern sich Mitspracheverhältnisse entscheidend und können beim Wachstum der Stadt und der Nachverdichtung wichtige Sicherungsfunktionen übernehmen.

Neben ihrer Funktion als Nahrungsmittelproduzent stellt die produktive grüne Infrastruktur zudem hochwertige Freiräume zur Verfügung und kann über eine günstig ausgewählte Lage für die Belüftung der Stadt zur Klimaanpassung genutzt werden. Sie kann lokal Biotope schaffen oder schützen und zur Biodiversität beitragen. Besonders bedeutsam kann sie aber im Zusammenhang mit der Wasserregulierung in das Schwammstadtkonzept eingebunden werden<sup>493, 494</sup>.

## Informationen kompakt – Essbare Stadt

- Die Essbare Stadt war ursprünglich ein Leitbild, das dem Gedanken der Verknüpfung von urbanem Grün mit der Nahrungsmittelproduktion im Kleinstmaßstab folgte, um eine gemeinsam lernende Gesellschaft zu formen, die sich über gemeinsames Essen mit ihrer Umgebung identifiziert.
- Seit einigen Jahren bezieht der Grundgedanke die grüne Infrastruktur der Stadt über den Begriff der urbanen Landwirtschaft in das Ernährungssystem der Stadt insgesamt mit ein.
- Eine produktive grüne Infrastruktur stellt nicht nur Nahrungsmittel, sondern auch hochwertige Freiräume zur Verfügung, trägt zur Stadtbelüftung bei, schafft lokale Biotope und steigert die urbane Biodiversität.

## 7.5 Grüne Stadt – Klimaanpassung in der nachhaltigen Stadt

Es ist eine ebenso grundlegende wie weitreichende politische Entscheidung einer Stadt, eine Grüne Stadt zu werden. Die Grüne Stadt erkennt die grün-blaue Infrastruktur als Daseinsvorsorge für ihre Bevölkerung an und folgt in ihrem Leitbild biologischen und ökologischen Prinzipien, die sie auf alle Lebensbereiche ausweitet. Die Grüne Stadt will eine nachhaltige Stadt sein. Sie folgt dem globalen Zukunftsziel für nachhaltige Entwicklung Nr. 11 der Agenda 2030, „Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig [zu] gestalten“<sup>495</sup>. Dieses Nachhaltigkeitsziel wird von der Charta Zukunft Stadt und Grün<sup>496</sup> seitens zahlreicher

Verbände in Deutschland aufgegriffen und interpretiert. Die Bundesregierung stellte ihre Vision der Grünen Stadt 2019 auf der Internationalen Gartenbauausstellung in Beijing, China, in einem preisgekrönten Pavillon dar<sup>497, 498</sup>. Der Begriff der Grünen Stadt beinhaltet demnach „grüne Entwicklungsziele für die Stadt“, die „im Einklang mit der Natur“ zu stehen hätten, beziehe das tägliche Leben der Menschen „grün“ mit ein, fördere „grünes Denken“ über Bildung und Forschung für die Zukunft und sei schließlich „grüne Heimat“.

Das Leitbild der Grünen Stadt erscheint in dieser Vision auf den ersten Blick am wenigsten geeignet für die Klimaanpassung von Städten durch urbanes Grün. Um diesen Status zu erreichen, erkennt man bei näherer Betrachtung des Maßnahmenspektrums jedoch zahlreiche Aspekte der anderen, bereits dargestellten Leitbilder wieder und versteht den umfassenden Gedanken der Grünen Stadt, der in den folgenden Punkten zusammengefasst werden kann:

- **Grüne Entwicklungen im Einklang mit der Natur:** Planung und Transformation von Städten nach biologischen Prinzipien, bioinspiriertes Design, Verwendung biobasierter Materialien<sup>499</sup>, geschlossene Material- und Energiezyklen (Kreislaufwirtschaft), kaskadierende Nutzung von natürlichen Ressourcen, Wertschöpfungsketten mit Informationsketten, Kombination von Lebens-, Arbeits- und Freizeitbereichen (einschließlich Emissionsschutz), Vereinbarkeit von Verkehrs- und Industrieanlagen mit Wohnorten, biologische Lebensraumkonzepte und lokale Produktionsstätten für frische Nahrungsmittel. Darunter fallen aber auch Pflanzenschutz und -pflege in der Stadt<sup>500</sup>, Standortgerechtigkeit bei Pflanzung und Pflege, Vernetzungen von Grünflächen zur Erhaltung der Biodiversität, Förderung von biologischen Regelkreisläufen, Nutzung mikrobieller

Symbiosen, Ermöglichung von Ökosystemleistungen, Monitoring, Prognose, rechtzeitige Intervention, Vereinbarung von Naturschutz und Pflanzenschutz.

- **Grüne Aspekte des täglichen Lebens:** Von der Grünen Stadt werden dabei anvisiert integrierte Nahrungsmittelproduktionsmethoden (technische Dach-Haus-Integrationen), Aquakulturen, neue Nahrungsmittel (zum Beispiel Insekten, Algen), die technische Nutzung von Photosynthese zur Energiegewinnung (zum Beispiel Algenhäuser, kombiniert mit dezentraler Energiespeicherung), Energieeinsparung durch Gebäudebegrünung<sup>501, 502</sup>, Kombination von Dachbegrünung und Photovoltaikanlagen<sup>503, 504, 505, 506, 507</sup>, Nahrungsmittelproduktion in Vertical-Horticulture-, Sky-Farming- und Space-Farming-Ansätzen, Smart-Digital-Garden-Konzepte (Düngungssteuerung, Roboter im Garten etc.), biobasierte Baumaterialien, begrünte Fassaden und Dächer zur Emissionsreduktion durch Pflanzen (Schall, Staub, Luftschadstoffe), Neuformulierung von Züchtungszielen für nachwachsende Rohstoffe<sup>508</sup>, Recyclingoptimierung<sup>509</sup>, Humusbereitstellung und vieles mehr.
- **Bildung für die Zukunft:** Dazu gehören Maßnahmen und Inhalte wie die Werbung für themenbezogene Ausbildungsgänge und Gestaltung neuer Arbeitsplätze, zielgruppengerechte Aufbereitung von Wissen über grüne Infrastruktur und Bioökonomie, Aufarbeitung und Nutzung von Informationssystemen, Wissensnetzwerken und Datenbanken, Forschungsstandorten, Fachgesellschaften, Verbänden für die Aufklärung über Chancen der Grünen Stadt der Zukunft, Darstellung der Struktur von Produktions- und Informationsketten, Rückverfolgbarkeit von Produkten, Produkt-Zertifikatinhalten, Vermittlung praktischer Methoden wie „Beziehungskisten“<sup>510</sup>, „grüne Labore“,

Lehrpfade, Schulgärten, „Jugend forscht“, „Kinder-Unis“, IdeenExpo, Grüne Woche, soziale Landwirtschaft, solidarische Landwirtschaft und mehr.

- **Die Grüne Stadt wird grüne Heimat:** Grün gestalteten öffentlichen Räumen werden soziale Funktionen zugewiesen (Lernräume, Naturerfahrungsräume, Treffpunkte, Integrations- und Inklusionsräume, Entschärfung von sozialen Brennpunkten), Gärten sollen als Orte kulturellen Austauschs (Musik, Kunstausstellungen und mehr) verwendet werden, grüne Gestaltungsmöglichkeiten von Innenräumen, einschließlich öffentlicher Innenräume, werden aufgezeigt, die Bedeutung eigener Nahrungserzeugung (Urban Gardening, Social Gardening) erfährt Wertschätzung und die Bedeutung von Freiräumen für Sport und Freizeit sowie Partizipationsmöglichkeiten bei der Gestaltung des Umfeldes sollen unterstrichen und ermöglicht werden.



Eine vielfältige Pflanzenauswahl ist für die Insektendiversität besonders wichtig. Gartenwicke und Blauschwarze Holzbiene sind wärmeliebende Partner im Klimawandel. Foto: Mona Quambusch

Die so skizzierte Grüne Stadt bezieht die bereits beschriebenen Leitbilder mit ein und kann damit als umfassende Zukunftsvision der Stadt<sup>511</sup> generell gelten. Die Stadt der Zukunft soll demnach nachhaltig, ressourceneffizient<sup>512</sup> und klimaresilient<sup>513, 514</sup> sein. Das Leitbild der Grünen Stadt ist in seiner großen Zahl der Aspekte sehr vielgestaltig. Werden die vorstehenden Leitbilder den einzelnen Ressorts der

Stadtverwaltung vermittelt, tragen sie zur Grünen Stadt der Zukunft bei<sup>515</sup>. Das korrespondiert auch mit der Neuen Leipzig Charta 2021<sup>516</sup>. Diese kann – auch für die Grüne Stadt – als Leitdokument für eine zeitgemäße Stadtpolitik in Deutschland und Europa begriffen werden. Neben der gerechten und der produktiven wird auch die Grüne Stadt als eine von drei zentralen Dimensionen für die Transformation der Städte beschrieben. Dementsprechend gilt es, Klimaresilienz und Lebensqualität zu verknüpfen. Dafür ist es zielführend, insbesondere hochverdichtete Innenstädte stärker zu begrünen.

### Informationen kompakt – Grüne Stadt

- Die Grüne Stadt erkennt die grün-blaue Infrastruktur als Daseinsvorsorge für ihre Bevölkerung an und folgt in ihrem Leitbild biologischen und ökologischen Prinzipien, die sie auf alle Lebensbereiche ausweitet.
- Die Grüne Stadt bezieht die bereits beschriebenen Leitbilder mit ein und kann damit als umfassende Zukunftsvision der Stadt generell gelten.
- Die Grüne Stadt der Zukunft soll demnach nachhaltig, ressourceneffizient und klimaresilient sein.

# 8 Zusammenfassung und Ausblick





Eine Stadt ist ein eigenes Ökosystem, in dem Pflanzen mit anderen Organismen über mehr oder weniger enge Wechselwirkungen verbunden sind. Auch wir Stadtbewohner und -bewohnerinnen gehören zu diesem Ökosystem und sind von dem Vorhandensein und den Leistungen des Stadtgrüns abhängig – auch wenn wir versuchen, dieser Abhängigkeit durch technische Fertigkeiten zu entgehen.

Zunehmend setzt sich die Sichtweise durch, Pflanzen vor dem Haus, an der Fassade, auf dem Dach, im Garten, an den Verkehrswegen, in Parks und Stadtwäldern als nutzbringenden Teil der eigenen Umwelt zu begreifen und den Erhalt sowie den Ausbau urbaner Vegetation zu fördern, wo es nur geht. So selbstverständlich und konsequent das insbesondere in Anbetracht der Klimawandelfolgen in Städten erscheint, so verwunderlich ist es, dass die Argumente nicht überall Akzeptanz finden. Die Gründe dafür sind vor allem politischer und finanzieller Natur: Investierende leben oft nicht dort, wo sie ihr Geld verdienen, Kosteneffizienz bedeutet nicht unbedingt Lebensqualität, rechtliche Rahmenbedingungen sind wandelbar.

Diese Broschüre verfolgt nicht die Intention, eine Skala für bedeutende Formen des urbanen Grüns zu erstellen, um bei einer baulichen Verdichtung Stück für Stück das jeweils wertvollste Grün noch erhalten zu können. Vielmehr ging es hier um die Frage, wie derzeit die Pflanzen ausgewählt werden, um klimaregulativ in der Stadt zu nützen. Damit richtet sich diese Publikation an diejenigen, die Pflanzen im Zuge einer baulichen Nachverdichtung nicht in Frage stellen, sondern die die Nutzung der Pflanzen in der Stadt dadurch vorantreiben möchten, dass sie einen möglichst hohen Nutzen bei möglichst geringen Kosten nachweisen können. Pflanzen können urbane Klimaresilienz umfassend – und oft effizienter als technische Lösungen – unterstützen.

Argumentiert wurde mit der Vielzahl der Ökosystemleistungen von Pflanzen, die über den reinen Effekt der Steigerung der Klimaresilienz der Städte hinausgehen. Die positive Klimaaktivität der Pflanzen hängt von ihrer prinzipiellen Eignung, von ihrer genetischen und epigenetischen Konstitution ab, auf die die Umweltbedingungen Einfluss nehmen. Ebendiese Umweltbedingungen umfassen nicht nur Wasserverhältnisse und Bodenfaktoren, sondern auch klimatische Parameter, die über verschiedene Ebenen mit dem sich wandelnden Globalklima verbunden sind. Klimaaktivität bedeutet in diesem Kontext, selbst Klimaänderungen auf der niedrigsten Ebene, dem Standort, bis hinein in das Quartier zu bewerkstelligen.

Die Leistung von Pflanzen, selbst Klimaänderungen hervorzubringen, hat eine qualitative, aber auch eine quantitative Komponente. Jede einzelne Pflanzenart – eventuell Pflanzensorte, unter Umständen lokal angepasster Ökotyp einer Art – hat ein spezifisches Verhalten bei Wassermangel und Trockenstress, den hauptsächlichen Stressoren in der Stadt im Klimawandel. Wie viel Verdunstungsleistung eine Art aber unter Stress erbringen kann, ist oftmals nicht bekannt. Das ist gerade in Bezug auf Straßenbäume sehr problematisch, weil sie als teuerste Pflanzen im Stadtgrün möglichst lange erhalten bleiben sollten. Die quantitative Komponente erscheint als Ausweg aus der Problematik: Biodiversität, das heißt Vielfalt von Arten und Sorten. Eine große Menge an Individuen stabilisiert die Ökosystemleistungen auf hohem Niveau, wenn auch noch die äußeren Rahmenbedingungen für gutes Wachstum geschaffen werden. Hier kommen die Leitbilder der Schwammstadt und der Naturstadt zum Zuge.

Die **lokale Anpassung** von Pflanzen, darunter die Bäume, stellt ein praktisches Problem dar, weil diese Anpassung in Baumschulen geschehen müsste und viele Jahre dauert. Sie erscheint aber als einzig

gangbarer Weg. Tatsächlich zeigt die Vielzahl der hier dargestellten Pflanzenlisten die Übereinstimmung, dass jede Region erproben muss, welches Pflanzensortiment sich als am geeignetsten erweist. So wird die Stadt zum grünen Labor. Es ist nur eine theoretische Alternative, die Reaktionsbreite der Pflanzen, das heißt ihre Anpassungsfähigkeit an verschiedene Umwelten, zu erforschen und damit sichere Prognosen zu ihrer Eignung zu wagen. Dazu sind viel zu viele Pflanzenarten in Verwendung. Eine Pflanze kann unter vielen Umwelten überleben, der Wuchs und die Leistungsfähigkeit können aber sehr unterschiedlich sein und den Erwartungen unter Umständen nicht entsprechen.

Was für Bäume gilt, trifft für andere Komponenten des Stadtgrüns in gleicher Weise zu. Bei Stauden, Dachbegrünungspflanzen oder Fassadenbegrünung sind die Zeiträume für die Testung nur kürzer. Hier könnten die **Erfahrungen aus Gartenschauen** zukünftig noch stärker genutzt werden. Bei der Gebäudebegrünung steht möglicherweise eine Neubewertung des verfügbaren Sortiments bevor, weil immer mehr **Chancen in der Wiederverwendung von Grauwasser** gesehen werden. Die dadurch entstehende zusätzliche Bewässerung und Düngung über das ganze Jahr wird zwangsläufig Selektionsdruck auf die Sortimente ausüben, die in Bezug auf das Überdauern bei Trockenstress ausgewählt waren. Solch eine Grauwassernutzung ist sehr sinnvoll, weil damit neue Kapazitäten für die Verdunstung von Wasser geschaffen werden. Sie können beträchtlich sein und, auf die Fläche bezogen, in die Nähe der Leistung von mittelgroßen Bäumen kommen.

**Spontane Vegetation** in der Stadtnatur zu berücksichtigen hat besondere Vorteile für das Stadtgrün: Aneinander angepasste Lebensgemeinschaften (Biozönosen) mit hoher Biodiversität entfalten sich weitgehend unregelt in einer Stadtumwelt, deren Temperaturen bereits 3–11 °C über

der Temperatur außerhalb der Stadt liegen. Unter solchen „Laborbedingungen“ einer hoffentlich global so nicht eintretenden Zukunft können mannigfaltige Sukzessionen zu neuen Erkenntnissen und der Entwicklung neuer Lebensgemeinschaften führen. Dies kann selbst zur Entdeckung neuer, klimaangepasster Ökotypen führen, die, in Vermehrung genommen, lokale Sortimente ergänzen und gleichzeitig fördernd auf die Begleitflora und -fauna wirken können.

In Bezug auf die Bäume lohnt sich auch ein Blick auf die **Möglichkeiten, Selektionsbemühungen des Forstes einerseits und der Stadtnatur andererseits zu verknüpfen**. In den Forsten wird mehr und mehr nach lokal angepassten Ökotypen für eine standortgerechte Aufforstung gesucht. Die selektierten Bäume könnten auch für die Stadt interessant sein. Die Stadt ist ein Ort für die Bewertung von Bäumen aus aller Welt. Hier entstehen Chancen auch für die Wälder der Zukunft.

Während die hier dargestellte Pflanzenwahl insbesondere im Sinne der Klimaanpassungsstrategien von Städten genutzt wird, ist die **Kohlenstofffixierung als überregionales Klimaschutzziel** bislang nicht im Fokus der Städte. Im Sinne des Leitbildes der Grünen Stadt kann sich das aber ändern<sup>517</sup>. Bekannt ist, dass das Stadtgrün in nennenswertem Umfang Kohlenstoff zu fixieren in der Lage ist. Sich dessen bewusst, könnten dann Recyclingansätze und Kreisläufe in der Stadt mit Pflegekonzepten für das Stadtgrün übereingebracht werden. Insofern wäre es zielführend, die Kohlendioxidbilanz der Stadt mit dem Stadtgrün zu verknüpfen. Pflanzen würden dann entsprechend ihrer Fixierungsleistung eingestuft. Dafür ist es wichtig, sich frühzeitig mit entsprechenden Sortimenten auseinanderzusetzen und ihnen geeignete Orte in der Stadt zuzuweisen.

Die Ergebnisse der umfangreichen Versuche der Pflanzenwahl für die Gestaltung

einer funktionstüchtigen, klimaregulativen urbanen Vegetation machen klar: Um die Aktivität zu steigern, liegt gleich viel Potenzial in der **Verbesserung der Standortverhältnisse für die Pflanzen** wie in der Auswahl neuer, an schlechte Standortverhältnisse angepasster Arten.

Das weiter oben beschriebene Leitbild der Naturstadt zeigt, dass die Standortanpassung das Problem, in den meisten Fällen aber auch die Lösung sein sollte. Das trifft in besonderem Maße für Straßenbegleitgrün zu, wo Bäume oft unter extrem unangepassten Verhältnissen vegetieren müssen.

**Wir brauchen Pflanzen und leben besser mit ihnen. Deshalb sollten wir ihnen ein auskömmliches Dasein ermöglichen und sie kompetent mit angemessenen Pflegemaßnahmen begleiten.**

# Literaturverzeichnis

1. BMUB – Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.), 2017: Weißbuch Stadtgrün. Berlin. Zugriff: [https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/publikationen/wohnen/weissbuch-stadtgruen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/publikationen/wohnen/weissbuch-stadtgruen.pdf?__blob=publicationFile&v=3) [abgerufen am 03.05.2021].
2. ioew\_de, 2022: Stadtgrün ist Mehrwert: Ein Tool zur Bewertung von urbanem Grün. Zugriff: <https://www.youtube.com/watch?v=VvfcED9sqoo> [abgerufen am 26.09.2022].
3. USDA Forest Service, 2022: Tree Benefits! | i-Tree. Zugriff: <https://www.itreetools.org/> [abgerufen am 26.09.2022].
4. Kaspar, F.; Mächel, H., 2017: Beobachtungen von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland. In: Brasseur, G. P.; Jacob, D.; Schuck-Zöllner, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: 17–26.
5. Pfeifer, S.; Bülow, K.; Gobiet, A.; Hänsler, A.; Mudelsee, M.; Otto, J.; Rechid, D.; Teichmann, C.; Jacob, D., 2015: Robustness of Ensemble Climate Projections Analyzed with Climate Signal Maps: Seasonal and Extreme Precipitation for Germany. *Atmosphere*, 6. Jg. (5): 677–698.
6. Beckmann, G.; Dosch, F.; Siegel, G., 2017: Klimaresilienter Stadtumbau. Bilanz und Transfer von StadtKlimaExWoSt. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn.
7. BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2015: Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung. Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte. Bonn.
8. Rosenberger, L.; Leandro, J.; Pauleit, S.; Erlwein, S., 2021: Sustainable stormwater management under the impact of climate change and urban densification. In: *Journal of Hydrology*, 596: 126–137. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126137.
9. Kuttler, W., 2009: Klimatologie. Paderborn, München, Wien, Zürich.
10. Kunz, M.; Mohr, S.; Werner, P., 2017: Niederschlag. In: Brasseur, G. P.; Jacob, D.; Schuck-Zöllner, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: 57–66.
11. Käppeli, F., 2019: Der Klimaänderung auf der Spur. *gplus* 8/2019: 22–24. Zugriff: [https://www.gplus.ch/de/dossiers/klimawandel/gplus\\_08-19\\_22-24.pdf](https://www.gplus.ch/de/dossiers/klimawandel/gplus_08-19_22-24.pdf) [abgerufen am 13.04.2023].
12. Greenpeace, 2018: Hintergrund Klima: Für eine Welt ohne Klimachaos. Zugriff: <https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/h00342-greenpeace-hintergrund-energie-klima-20180503.pdf> [abgerufen am 18.05.2021].
13. BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2014: Klimawandel in Stadt und Region. Ergebnisse aus den Forschungsfeldern ImmoKlima/ImmoRisk, StadtKlima und KlimaMORO. Bonn. Zugriff: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2014/DL\\_klimawandel\\_stadt\\_region.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2014/DL_klimawandel_stadt_region.pdf?__blob=publicationFile&v=1) [abgerufen am 30.01.2023].
14. Podbregar, N., 2020: Ein Planet der Städte. *Scinexx - Das Wissensmagazin*, 12.02.2020. Zugriff: <https://www.scinexx.de/news/geowissen/ein-planet-der-staedte/> [abgerufen am 07.09.2021].
15. Rüttimann, U., 2020: Der Klimawandel trifft Mensch und Natur. *gplus* 15/2020: 14–16. Zugriff: [https://www.gplus.ch/de/dossiers/klimawandel/gplus\\_15-2020\\_14-16.pdf](https://www.gplus.ch/de/dossiers/klimawandel/gplus_15-2020_14-16.pdf) [abgerufen am 11.04.2023].
16. Sperber, H. H., 2007: Stadtklima- ein unausweichliches Phänomen? Untersuchung zur Wirkung naturnäherer baulicher Mikrostrukturen. *Stadt + Grün*, 56. Jg. (2): 40–48.

17. Kuttler, W., 2011: Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen. *Environmental Sciences Europe* 23: 21.
18. Kuttler, W.; Oßenbrügge, J.; Halbig, G., 2017: Städte. In: Brasseur, G. P.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Heidelberg: 225–234.
19. Süddeutsches Klimabüro, 2015: Messbar höhere Temperaturen in Städten. 27. August. Zugriff: <https://www.transforming-cities.de/stadt-temperaturen-hoehere/> [abgerufen am 04.05.2021].
20. Franke, E. (Hrsg.), 1977: *Stadtklima: Ergebnisse und Aspekte für die Stadtplanung*. Stuttgart.
21. Akbari, H.; Cartalis, C.; Kolokotsa, D.; Muscio, A.; Pisello, A. L.; Rossi, F.; Santamouris, M.; Synnefa, A.; Wong, N. H.; Zinzi, M., 2016a: Local climate change and urban heat island mitigation techniques - the state of the art. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22. Jg. (1): 1–16.
22. BAFU – Bundesamt für Umwelt (Hrsg.), 2018: *Hitze in Städten. Grundlage für eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung*. Bern. Zugriff: [www.bafu.admin.ch/uw-1812-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1812-d) [abgerufen am 11.08.2021].
23. Wittig, S.; Schuchardt, B., 2012: *Hitze in der Stadt. Anpassung an den Klimawandel - Eine kommunale Gemeinschaftsaufgabe*. Zugriff: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/364/publikationen/kompass\\_themenblatt\\_hitze\\_stadt\\_2015\\_net.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/364/publikationen/kompass_themenblatt_hitze_stadt_2015_net.pdf) [abgerufen am 29.07.2021].
24. Ryu, Y. H.; Baik, J. J., 2012: Qualitative analysis of factors contributing to Urban Heat Island Intensity. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51. Jg. (5): 842–854.
25. Grothues, E.; Köllner, B.; Ptak, D.; Dalelane, C.; Deutschländer, T.; Ertel, H. (2013): *Klimawandelgerechte Metropole Köln*. Unter Mitarbeit von Weigl, E.; Winterrath, T.; Hartwig, C.; Wieczorrek, Y.; Rüsing, F.; Schwerdorf, I. Recklinghausen. Zugriff: [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3\\_fachberichte/30050.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30050.pdf) [abgerufen am 14.02.2023].
26. Amt für Umweltschutz Stuttgart, 2021: *Klimafibel*. Zugriff: <https://www.staedtebauliche-klimafibel.de/?p=73&p2=6.2.4> [abgerufen am 04.05.2021].
27. Reuter, U.; Kapp, R., 2012: *Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung*. Stuttgart.
28. Hutter, C.-P.; Blessing, K., 2020: *Kommunen klimafit machen: Mikroklima, Hitzestau und Starkniederschläge*. Stuttgart.
29. Mangone, G.; van der Linden, K., 2014: Forest microclimates: Investigating the performance potential of vegetation at the building space scale. *Building and Environment* (73): 12–23.
30. Jacob, D.; Kottmeier, C.; Petersen, J.; Rechid, D.; Teichmann, C., 2017: Regionale Klimamodellierung. In: Brasseur, G. P.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Heidelberg: 27–35.
31. Dimoudi, A.; Nikolopoulou, M., 2003: Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*, 35. Jg. (1): 69–76. DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00081-6.
32. Jacob, D.; Petersen, J.; Eggert, B.; Alias, A.; Christensen, O. B.; Bouwer, L. M.; Braun, A.; Colette, A.; Déqué, M.; Georgievski, G.; Georgopoulou, E.; Gobiet, A.; Menut, L.; Nikulin, G.; Haensler, A.; Hempelmann, N.; Jones, C.; Keuler, K.; Kovats, S.; Kröner, N.; Kotlarski, S.; Kriegsmann, A.; Martin, E.; van Meijgaard, E.; Moseley, C.; Pfeifer, S.; Preuschmann, S.; Radermacher, C.; Radtke, K.; Rechid, D.; Rounsevell, M.; Samuelsson, P.; Somot, S.; Soussana, J.-F.; Teichmann, C.; Valentini, R.; Vautard, R.; Weber, B.; Yiou, P., 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14. Jg. (2): 563–578.
33. Larcher, W., 1994: *Ökophysiologie der Pflanzen*. Stuttgart.

34. Kjelgren, R. K.; Clark, J. R., 1992: Microclimates and Tree Growth in Three Urban Spaces. *Journal of Environmental Horticulture*, 10. Jg. (3): 139–145. DOI: 10.24266/0738-2898-10.3.139.
35. Pauleit, S.; Duhme, F., 1999: Stadtstrukturtypen. Bestimmung der Umweltleistungen von Stadtstrukturtypen für die Stadtplanung. *RaumPlanung* (84): 33–44.
36. Pauleit, S.; Breuste, H. J., 2011: Land-Use and Surface-Cover as Urban Ecological Indicators. In: Niemelä, J. (Hrsg.): *Urban Ecology: patterns, processes and applications*. Oxford: 19–72.
37. Osmond, P.; Wilkinson, S., 2021: City Planning and Green Infrastructure: Embedding Ecology into Urban Decision-Making. *Urban Planning*, 6. Jg. (1): 1–4. DOI: 10.17645/up.v6i1.3957.
38. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, 2020a: Informationen zu Schotterflächen in Niedersachsen: Nicht überbaute Flächen von Baugrundstücken müssen Grünflächen sein. Zugriff: [https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen\\_im\\_fokus/informationen-zu-schotterflaechen-in-niedersachsen-nicht-uberbaute-flaechen-von-baugrundstuecken-muessen-grunflaechen-sein-195221.html](https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen_im_fokus/informationen-zu-schotterflaechen-in-niedersachsen-nicht-uberbaute-flaechen-von-baugrundstuecken-muessen-grunflaechen-sein-195221.html) [abgerufen am 18.05.2021].
39. Mathey, J.; Rink, D., 2008: Stadtumbau und Freiflächenqualität. Zur Frage der Freiflächenentwicklung in perforierten Städten. In: *CONTUREC* (3): 69–80.
40. Kowarik, I.; Wittig, R.; Zucchi, H. (Hrsg.), 1993: Städtische Brachflächen und ihre Bedeutung aus der Sicht von Ökologie, Umwelterziehung und Planung. *Stadtbrachen als Niemandsländer, Naturschutzgebiete oder Gartenkunstwerke der Zukunft? Geobotanische Kolloquien*, 9. Frankfurt.
41. Henninger, S.; Weber, S., 2020: *Stadtklima*. Paderborn.
42. NABU – Naturschutzbund Deutschland, 2022: *Stadtklima - Was ist das? Hintergrundinformationen zum Lokalklima in Städten*. Zugriff: <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/bauen/stadtklima/stadtklima.html> [abgerufen am 10.03.2023].
43. Umweltbundesamt, 2021a: *StadtKlima – Kommunale Strategien und Potentiale zum Klimawandel*. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projekt-katalog/stadtklima-kommunale-strategien-potentiale> [abgerufen am 29.07.2021].
44. Barghorn, L., 2021: *Stadtklima: Besonderheiten, Auswirkungen und wie es sich verbessern lässt*. Zugriff: <https://utopia.de/ratgeber/stadtklima-besonderheiten-auswirkungen-und-wie-es-sich-verbessern-laesst/> [abgerufen am 29.07.2021].
45. Umweltbundesamt, 2021b: *Die Stadt für Morgen: Die Vision*. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/die-stadt-fuer-morgen-die-vision#kompakt>, zuletzt aktualisiert am 29.07.2021 [abgerufen am 29.07.2021].
46. Bauer, A.; Mittermüller, J.; Rupp, J.; Wutz, S., 2021: *Grüne Stadt der Zukunft - Klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt: Grün in der wachsenden Stadt. Perspektiven und Aktivierung der Stadtgesellschaft* (3). Zugriff: [https://www3.ls.tum.de/fileadmin/w00bds/lapl/Bilder/Projekte/GrueneStadt/Broschure\\_3.pdf](https://www3.ls.tum.de/fileadmin/w00bds/lapl/Bilder/Projekte/GrueneStadt/Broschure_3.pdf) [abgerufen am 09.11.2021].
47. Wende, W.; Rößler, S.; Krüger, T. (Hrsg.), 2014: *Grundlagen für eine klimawandelangepasste Stadt- und Freiraumplanung*. Berlin. (Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM - Regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden, 6). Zugriff: [https://regklam.de/fileadmin/Daten\\_Redaktion/Publikationen/REGKLAM-Reihe\\_Heft6\\_download.pdf](https://regklam.de/fileadmin/Daten_Redaktion/Publikationen/REGKLAM-Reihe_Heft6_download.pdf) [abgerufen am 01.11.2022].
48. Barbey, K., 2021: *Kommunen klimafit machen: Mikroklima, Hitzestau und Starkniederschläge - Anpassungsstrategien für die Praxis der klimaangepassten Stadt- und Regionalentwicklung: Dokumentation der drei Impulstagungen für eine klimaangepasste Stadt- und Regionalentwicklung der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg. Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz*, 57. Stuttgart.

49. Dosch, F.; Haury, S.; Skowski, J.; Wahler, B.; Willinger, S.; Arndt, T., 2015: Grün in der Stadt- Für eine lebenswerte Zukunft. Grünbuch Stadtgrün. Herausgeber: BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin. Zugriff: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmub/verschiedene-themen/2015/gruenbuch-2015-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmub/verschiedene-themen/2015/gruenbuch-2015-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=1). [abgerufen am 06.06.2023].
50. Bongardt, B.; Pühr, A., 2010: StadtKlimaWandel. Rezepte für mehr Lebensqualität und ein besseres Klima in der Stadt. Zugriff: [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/Stadtklimawandel/nabu\\_broschuere\\_stadtklimawandel\\_finalweb.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/Stadtklimawandel/nabu_broschuere_stadtklimawandel_finalweb.pdf) [abgerufen am 18.05.2021].
51. Parlow, E.; Kleiber, T.; Vogt, R., 2011: Verbesserung des Stadtklimas durch Dachbegrünung? Regio Basiliensis, 52. Jg. (1): 17–28.
52. Bundesregierung, 2020: Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Zugriff: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimawandel\\_das\\_2\\_fortschrittsbericht\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_2_fortschrittsbericht_bf.pdf) [abgerufen am 29.07.2021].
53. Deutscher Städtetag, 2012: Positionspapier Anpassung an den Klimawandel: Empfehlungen und Maßnahmen der Städte. Zugriff: [http://www.mainz-bingen.de/default-wAssets/docs/Bauen-Energie-Umwelt/Umwelt-und-Energieberatungszentrum/positionspapier\\_klimawandel\\_juni\\_2012.pdf](http://www.mainz-bingen.de/default-wAssets/docs/Bauen-Energie-Umwelt/Umwelt-und-Energieberatungszentrum/positionspapier_klimawandel_juni_2012.pdf) [abgerufen am 01.03.2023].
54. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, 2020b: Klimawandel in Niedersachsen. Zugriff: [https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen\\_im\\_fokus/klimawandel-in-niedersachsen-165759.html](https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen_im_fokus/klimawandel-in-niedersachsen-165759.html) [abgerufen am 18.05.2021].
55. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, 2021: Klima-Report Bayern 2021. Zugriff: <https://www.stmuv.bayern.de/themen/klimaschutz/klimareport/> [abgerufen am 13.06.2023].
56. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, 2016: Anforderungen an die Berücksichtigung klimarelevanter Belange in kommunalen Planungsprozessen. Leitfaden für Kommunen. Zugriff: [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/Leitfaden\\_klimprax.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/Leitfaden_klimprax.pdf) [abgerufen am 13.06.2023].
57. Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz, 2018: Thüringer Klimagesetz (ThürKlimaG). Thüringen. Zugriff: [https://landesrecht.thueringen.de:443/perma?a=KlimaSchG\\_TH](https://landesrecht.thueringen.de:443/perma?a=KlimaSchG_TH) [abgerufen am 10.11.2022].
58. Deutscher Wetterdienst, 2021: Klimareport Niedersachsen. Zugriff: [https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimareport\\_ns/klimareport\\_ns.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimareport_ns/klimareport_ns.html) [abgerufen am 18.05.2021].
59. Borsche, M.; Friedrich, A.; Friedrich, K.; Fröhlich, K.; Früh, B.; Kreienkamp, F.; Krugmann, G.; Pietzsch, S.; Rauthe, M.; Riecke, W.; Tinz, B.; Walter, A.; Wehring, S.; Weigl, E., 2021: Klimareport Niedersachsen. Fakten bis zur Gegenwart- Erwartungen für die Zukunft. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Deutscher Wetterdienst. Zugriff: [https://www.deutschesklimaportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/2018/Klimareport\\_Niedersachsen\\_Stand\\_180614\\_180619.pdf?sessionId=1892D0383FC768AD6D7840CFDB69179B.live11313?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.deutschesklimaportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/2018/Klimareport_Niedersachsen_Stand_180614_180619.pdf?sessionId=1892D0383FC768AD6D7840CFDB69179B.live11313?__blob=publicationFile&v=1) [abgerufen am 18.05.2021].
60. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hrsg.), 2011: Stadtentwicklungsplan (STEP) Klima. Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern. Berlin.
61. Stadt Nürnberg, Umweltamt (Hrsg.), 2012: Handbuch Klimaanpassung. Bausteine für die Nürnberger Anpassungsstrategie. Nürnberg.
62. Hochschule Osnabrück; Stadt Osnabrück, 2022: Produktiv. Nachhaltig. Lebendig. Grüne Finger für eine klimaresiliente Stadt. Zugriff: <https://www.hs-osnabrueck.de/prof-dr-kathrin-kiehl/gruene-finger/> [abgerufen am 13.06.2023].

63. Verein Agglomeration Schaffhausen, 2017a: Arbeitshilfe- Zur Stärkung der Freiräume in der Planung. Zugriff: [https://www.naturnetz-pfannenstil.ch/images/werkzeugkasten/Ob\\_Arbeitshilfe\\_Freirume-in-der-Planung.pdf](https://www.naturnetz-pfannenstil.ch/images/werkzeugkasten/Ob_Arbeitshilfe_Freirume-in-der-Planung.pdf) [abgerufen am 18.01.2023].
64. Verein Agglomeration Schaffhausen, 2017b: Freiräume der Wohnumgebungen. Sammlung guter Beispiele zur Unterstützung der Innenentwicklung. Zugriff: [https://www.naturnetz-pfannenstil.ch/images/werkzeugkasten/Themen/Gute\\_Beispiele\\_Freiraumborschuer\\_Fin\\_16.06.2017\\_low.pdf](https://www.naturnetz-pfannenstil.ch/images/werkzeugkasten/Themen/Gute_Beispiele_Freiraumborschuer_Fin_16.06.2017_low.pdf) [abgerufen am 19.01.2023].
65. ThINK – Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz, 2012: Handbuch Klimawandelgerechte Stadtentwicklung für Jena. Schriften zur Stadtentwicklung für Jena (3).
66. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, 2019a: Hitze in der Stadt und kommunalen Planung. Zugriff: <https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/hitzeinderstadt-internetversion.pdf> [abgerufen am 14.06.2023].
67. Thüringer Aufbaubank, 2021: Klima Invest- Kommunale Klimaschutz- und Klimafolgenanpassungsmaßnahmen. Zugriff: <https://www.aufbaubank.de/foerderprogramme/klima-invest> [abgerufen am 14.06.2023].
68. Deutsches Klimaportal, 2021: Ausgezeichnete Klimaaktivitäten als Blaupause für Kommunen. Zugriff: [https://www.deutschesklimaportal.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Andere/2021/difu\\_Klimaaktivitaeten\\_Blaupausen\\_Kommunen\\_20210427.html](https://www.deutschesklimaportal.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Andere/2021/difu_Klimaaktivitaeten_Blaupausen_Kommunen_20210427.html) [abgerufen am 18.05.2021].
69. Hansen, R.; Born, D.; Lindschulte, K.; Rolf, W.; Bartz, R.; Schröder, A.; Becker, C.W.; Kowarik, I; Pauleit, S., 2018: Grüne Infrastruktur im urbanen Raum: Grundlagen, Planung und Umsetzung in der integrierten Stadtentwicklung. Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben „Grüne Infrastruktur im urbanen Raum: Grundlagen, Planung und Umsetzung in der integrierten Stadtentwicklung“ (FKZ 3515 82 0800). Herausgeber: BfN – Bundesamt für Naturschutz. BfN-Schriften 503. Bonn.
70. Pfanner, B., 2020: Urbane grüne und blaue Infrastruktur im Straßennetzwerk als Mittel zur Klimawandelanpassung. Strategische Weichenstellung für eine klimasensitive Straßenplanung für den zweiten Wiener Gemeindebezirk Leopoldstadt.
71. Rüttimann, U., 2021: Wie grün sollen Siedlungen sein?. *gplus* (10): 22–27.
72. Lozán J. L.; Breckle, S.-W.; Grassl, H.; Kuttler, W.; Matzarakis, A. (Hrsg.), 2019: Warnsignal Klima: Die Städte. Hamburg.
73. Karsch-Frank, G.; Schneider, U., 2013: Grünflächen klimagerecht ausbauen. *Stadt + Grün*, 62. Jg. (3): 9–14.
74. Eisenberg, B.; Well, F.; Ludwig, F., 2019: Integrierte Strategien zur Stärkung blau-grüner Infrastrukturen: Verbesserung des Stadtklimas und der Aufenthaltsqualität als Maßgabe zukunftsfähiger Stadtentwicklung. *Transforming cities: urbane Systeme im Wandel* (3): 56–59.
75. Endlicher, W.; Kress, A., 2008: Wir müssen unsere Städte neu erfinden. Anpassungsstrategien für Stadtregionen. *Informationen zur Raumentwicklung* (6/7): 437–445.
76. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022: Monitoring-Bericht zur Energiewende in Baden-Württemberg 2021 veröffentlicht. Zugriff: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/presse-service/presse/pressemitteilung/pid/monitoring-bericht-zur-energiewende-in-baden-wuerttemberg-2021-veroeffentlicht> [abgerufen am 14.06.2023].
77. Bernhofer, C.; Matschullat, J.; Bobeth, A. (Hrsg.), 2011: Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM (2).Berlin.
78. Bongardt, B., 2006: Stadtklimatologische Bedeutung kleiner Parkanlagen - dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks. Dissertation. *Essener Ökologische Schriften* (24). Hohenwarsleben.
79. Bruse, M.; Fleer, H., 1998: Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software*, 13. Jg. (3–4): 373–384.



80. DBU (26.11.2020): Digitale Hilfe für Städte im Klimanotstand. Zugriff: [https://www.dbu.de/123artikel38847\\_2442.html](https://www.dbu.de/123artikel38847_2442.html) [abgerufen am 18.05.2021].
81. Forschungsinstitut für Wasser und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V. (FiW), 2019: Klimamodelle für die Praxis. Klimoprax\_Abschlussbericht\_144S\_de.
82. Heß, B.; Baufeld, P.; Dominic, A. R.; Menz, C.; Reißig, A.; Strassemeyer, J.; Waldau, T.; Wilstermann, A.; Zimmermann, O.; Schrader, G., 2020: Modellierung klimasensitiver Schadorganismen in der Pflanzengesundheit. *Journal für Kulturpflanzen*, 72. Jg. (8): 435–439. DOI: 10.5073/JFK.2020.08.14.
83. iMA, 2021: Das numerische Simulationsmodell FITNAH.
84. Wiehe, S.; Beuter, A.; Höpker, K.-A.; Plegniere, S.; Gebhardt, H.; Shänthaler, K.; Andrian-Werbung, S. von, 2017: Monitoring-Bericht zum Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg - Teil 1 Klimafolgen und Anpassung.
85. Voß, T., 2016: Experimentelle und rechnerische Untersuchungen zur Kühlung dezentral belüfteter Gebäude mittels Nachtlüftung unter Berücksichtigung mikroklimatischer Einflüsse. Dissertation. Bergische Universität Wuppertal. Wuppertal.
86. Meinel, G.; Hecht, R.; Socher, W., 2006: Städtisches Grünvolumen- neuer Basisindikator für die Stadtökologie. Bestimmungsmethodik und Ergebnisbewertung. CORP 2006: 685–694.
87. Reglam-Konsortium (Hrsg.), 2013: Integriertes Regionales Klimaanpassungsprogramm für die Region Dresden. Grundlagen, Ziele und Maßnahmen.
88. Chen, H.; Ooka, R.; Huang, H.; Tsuchiya, T., 2009: Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation. *Building and Environment*, 44. Jg. (11): 2290–2299.
89. Frank, A., 2020: Stadtklima - Mesoklima. DGNB System - Kriterienkatalog Quartiere. ENV1.5.
90. Pace, R.; De Fino, F.; Rahman, M.; Pauleit, S.; Nowak, D. J.; Grote, R., 2021: A single tree model to consistently simulate cooling, shading, and pollution uptake of urban trees. *International Journal of Biometeorology*, 65. Jg. (2): 277–289. DOI: 10.1007/s00484-020-02030-8.
91. Berner Fachhochschule, 2017: Urban Green & Climate Bern: Die Rolle und Bewirtschaftung von Bäumen in einer klimaangepassten Stadtentwicklung.
92. Baumüller, J., 2010: Stadtklima und Stadtplanung im Klimawandel. UVP Report (5): 205–214.
93. Banihashemi, F.; Erlwein, S.; Harter, H.; Meier-Dotzler, C.; Zölch, T., 2021: Grüne Stadt der Zukunft- Klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt. Grüne und graue Massnahmen für die Siedlungsentwicklung. Klimaschutz und Klimaanpassung in wachsenden Städten (2). Zugriff: [https://www3.lis.tum.de/fileadmin/w00bds/lapl/Bilder/Projekte/GrueneStadt/Broschure\\_2.pdf](https://www3.lis.tum.de/fileadmin/w00bds/lapl/Bilder/Projekte/GrueneStadt/Broschure_2.pdf), [abgerufen am 04.08.2023]
94. Anders, S.; Hauber, G.; Pustal, W., 2013: Freiräume und Stadtklima. In: Bott, H.; Grassi, G. (Hrsg.): Nachhaltige Stadtplanung: Konzepte für nachhaltige Quartiere. München: 127–135.
95. Bauriedl, S.; Baasch, S.; Winkler, M., 2008: Die klimagerechte europäische Stadt? Siedlungsstrukturen, städtischer Lebensstandard und Klimaveränderungen. *RaumPlanung* (137): 67–71.
96. Blum, A.; Gruhler, K. (Hrsg.), 2010: Typologien der gebauten Umwelt. Modellierung und Analyse der Siedlungsentwicklung mit dem Strukturtypenansatz. Aachen.
97. Eum, J.-H.; Scherer, D.; Fehrenbach, U.; Köppel, J.; Woo, J.-H., 2013: Integrating urban climate into urban master plans using spatially distributed information: The seoul example. *Land Use Policy* (34): 223–232.
98. Evans, J. M.; de Schiller, S., 1996: A new capital city, an existing urban district and urban river front development.

99. BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2011: Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen. Forschungen Heft 149. Bonn.
100. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, 2019b: Planungshinweiskatalog. Klimaprax Stadtklima. Zugriff: [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimaprax/KLIMPRAXStadtklima2019/Tabelle-KLIMPRAX-Planungshinweise-Tabelle\\_final.xlsm](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimaprax/KLIMPRAXStadtklima2019/Tabelle-KLIMPRAX-Planungshinweise-Tabelle_final.xlsm) [abgerufen am 27.04.2023].
101. Weidner, S.; Gerhardt, J.; Scholze, J.; Scheurer, L., 2020: Überblick zu europäischen Stadtentwicklungstrends und -strategien.
102. Rößler, S.; Hutter, G.; Müller, B., 2013: Entwicklung und Erprobung eines Integrierten Regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden. UVP-report (1+2), 125–130.
103. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, 2020c: Anpassung an den Klimawandel. Zugriff: [https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/klima/klimawandel\\_und\\_anpassung/anpassung\\_an\\_den\\_klimawandel/anpassung-an-den-klimawandel-134410.html](https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/klima/klimawandel_und_anpassung/anpassung_an_den_klimawandel/anpassung-an-den-klimawandel-134410.html) [abgerufen am 18.05.2021].
104. Grün in der Stadt, 2021: Klimaanpassung. Zugriff: <https://gruen-in-der-stadt.de/klima-und-umwelt/klimaanpassung> [abgerufen am 17.05.2021].
105. Gill, S. E.; Handley, J. F.; Ennos, A.; Pauleit, S., 2007: Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment*, 33. Jg. (1): 115–133.
106. Zepp, H.; Schmitt, T.; Otto, K.-H., 2020: Ökologische und klimatische Perspektiven auf die Stadtlandschaft Bochums. *Siedlungen und Landschaften in Westfalen* (42).
107. Drlik, S. (2010): Klimawandelanpassung der Pflege und Erhaltung öffentlicher Grünanlagen in Großstädten unter Berücksichtigung des Konzepts der nachhaltigen Entwicklung, untersucht am Fallbeispiel Wien. Universität für Bodenkultur Wien.
108. Erfurt.de, 2021: Hitzerooste Stadt – HeatResilientCity. Zugriff: <https://www.erfurt.de/ef/de/leben/oekoumwelt/projekte/130744.html> [abgerufen am 18.06.2021].
109. Brocci, D.; Geyer, O.; Kiss, K. R.; Richter, K.; Willinger, S.; Zeiher, I., 2021: Der nächste Hitzesommer kommt bestimmt. Wie in Zukunft ein gutes urbanes Leben gelingen kann. *Stadt & Klima. stadtpilot* 20.
110. Schlegelmilch, F.; Greiving, S.; Fleischhauer, M.; Rüdiger, A.; Dosch, F., 2010: StadtKlima- Kommunale Strategien und Potenziale zum Klimawandel. Ein ExWoSt-Forschungsfeld (39/1).
111. Wickop, E., 1999: Qualitätsziele für eine nachhaltige Stadtentwicklung. Methodische Aspekte eines Konzeptes für Stadtstrukturtypen am Beispiel der Stadt Leipzig. *Zeitschrift für Angewandte Umweltforschung*, 12. Jg. (1): 98–111.
112. Jahnke, K.; Kennel, C.; Sichter, J.; Stelmacher, K., 2020: Drei Jahre Zukunft Stadtgrün. Zweiter Statusbericht zum Städteförderungsprogramm.
113. European Commission, 2015: A European research and innovation Roadmap for Climate Services.
114. Naturkapital Deutschland – TEEB DE (Hrsg.), 2016: Ökosystemleistungen in der Stadt. Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen: Kurzbericht für Entscheidungsträger. Berlin, Leipzig.
115. Erlwein, S.; Pauleit, S., 2021: Trade-Offs between Urban Green Space and Densification: Balancing Outdoor Thermal Comfort, Mobility, and Housing Demand. *Urban Planning*, 6. Jg. (1): 5–19. DOI: 10.17645/up.v6i1.3481.
116. Naturkapital Deutschland – TEEB DE (Hrsg.), 2016: Ökosystemleistungen in der Stadt. Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen. Berlin, Leipzig.

117. BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 1992: Agenda 21. Zugriff: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Nachhaltige\\_Entwicklung/agenda21.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nachhaltige_Entwicklung/agenda21.pdf) [abgerufen am 23.01.2023].
118. Tzoulas, K.; Korpela, K.; Venn, S.; Yli-Pelkonen, V.; Kaszierszak, A.; Niemela, J.; James, P., 2007: Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81. Jg. (3): 167–178.
119. Claßen, T.; Steinkühler, N.; Hornberg, C., 2013: Herausforderungen und Lösungsstrategien für eine gesundheitsgerechte Klimaanpassung in Kommunen. Entwicklung eines Moduls „Menschliche Gesundheit“ im Rahmen kommunaler Klimaanpassungskonzepte. UVP-Report: 131–136.
120. Die H\_ALLE, 2022: Was für ein schönes Festivalwochenende! Zugriff: <https://arealdiehalle.de/was-fuer-ein-schoenes-wochenende/> [abgerufen am 01.09.2022].
121. Feldmann, J.; Möser, M.; Volz, R., 2013: Umweltbelastung durch Verkehrsgläusche sowie Aspekte der Schallausbreitung und Schalladsorption in Straßenschluchten.
122. Wong, N. H.; Tan, A. Y. K.; Tan P. Y.; Chiang, K.; Wong, N. C., 2010: Acousitcs evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45. Jg. (2): 411–420.
123. Buchta, E.; Hirsch, K.-W.; Buchta, C., 1984: Lärmindernde Wirkung von Bewuchs in Straßenschluchten und Höfen. Bonn.
124. Frahm, J.-P.: Feinstaubreduktion an Straßenrändern durch Moosmatten. In: bast – Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Fachtagung Luftqualität an Straßen. Bergisch Gladbach: 46–47. Zugriff: <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/605/file/Sammelmappe2.pdf> [abgerufen am 04.08.2023].
125. Ward Thompson, C.; Roe, J.; Aspinall, P.; Mitchell, R.; Clow, A.; Miller, D., 2012: More green space is linked to less stress in deprived communities: Evidence from salivary cortisol patterns. *Landscape and Urban Planning*, 105. Jg. (3): 221–229. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.12.015.
126. Bjerregaard, L. G.; Jensen, B. W.; Ängquist, L.; Osler, M.; Sørensen, T. I. A.; Baker, J. L., 2018: Change in Overweight from Childhood to Early Adulthood and Risk of Type 2 Diabetes. *The New England Journal of Medicine*, 378 Jg. (14): 1302–1312. DOI: 10.1056/NEJMoa1713231.
127. Kardan, O.; Gozdyra, P.; Mistic, B.; Moola, F.; Palmer, L. J.; Paus, T.; Berman, M. G., 2015: Neighborhood greenspace and health in a large urban center. *Scientific Reports*, 5. Jg. (1), 11610. DOI: 10.1038/srep11610.
128. Flade, A. (Hrsg.), 2018a: Zurück zur Natur? Erkenntnisse und Konzepte der Naturpsychologie. Unter Mitarbeit von Gunter Mann, Hans-Joachim Schemel und Torsten Schmid. Wiesbaden:
129. Kaplan, S., 1995: The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. *Journal of Environmental Psychology*, 15. Jg. (3): 169–182. DOI: 10.1016/0272-4944(95)90001-2.
130. MacKerron, G.; Mourato, S., 2013: Happiness is greater in natural environments. *Global Environmental Change*, 23. Jg. (5): 992–1000. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2013.03.010.
131. Berman, M. G.; Jonides, J.; Kaplan, S., 2008: The cognitive benefits of interacting with nature. *Psychological Science*, 19. Jg. (12): 1207–1212. DOI: 10.1111/j.1467-9280.2008.02225.x.
132. Krekel, C.; Kolbe, J.; Wüstemann, H., 2016: The greener, the happier? The effect of urban land use on residential well-being. *Ecological Economics*, 121. Jg. (1): 117–127. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2015.11.005.
133. Kuo, F. E.; Bacaicoa, M.; Sullivan, W. C., 1998: Transforming Inner-City Landscapes: Trees, Sense of Safety, and Preference. *Environment and Behavior*, 30. Jg. (1): 28–59. DOI: 10.1177/0013916598301002.

134. Wüstemann, H.; Kolbe, J., 2017: Der Einfluss städtischer Grünflächen auf die Immobilienpreise: Eine hedonische Analyse für die Stadt Berlin. *Raumforschung und Raumordnung*, 75. Jg. (5): 429-438. DOI: 10.1007/s13147-017-0485-0.
135. Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S., 2017: Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Darmstadt.
136. Kuttler, W., 2010: Urbanes Klima. In: *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*. *Umweltmeteorologie*, 70. Jg. (9): 378–382.
137. Breuning, J., 2008: Where Beetles are crawling and Honeybees are humming: A summary of biodiversity research by Dr. Gunter Mann, Optigreen International. Sixth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities, Conference, Awards and Trade Show. Baltimore.
138. Pugh, T. M.; Mackenzie, A. R.; Whyatt, J. D.; Hewitt, C. N., 2012: Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environmental Science and Technology*, 46. Jg. (14): 7692–7699.
139. Sternberg, T.; Viles, H.; Cathersides, A.; Edwards, M., 2010: Dust particulate adsorption by ivy (*Hedera helix*) on historic walls in urban environments. *Science of the Total Environment*, 409. Jg. (1): 162–168.
140. Climate Service Center (Hrsg.), 2014: *Gesundheit und Klimawandel*. Hamburg.
141. Anwar, M.; Rasul, M. G.; Khan, M., 2012: Green Roofs for Storm Water Management: A Review. *Water* (11): 1–5.
142. Fang, C. F., 2010: Rainwater retention capacity of green roofs in subtropical monsoonal climatic regions: a case study of Taiwan. *WIT Transactions on Ecology and the Environment: Design & Nature V: Comparing Design in Nature with Science and Engineering*, 138. Jg.: 239–249.
143. Wüstemann, H.; Kolbe, J.; Krekel, C., 2017: Gesundheitswirkung städtischer Grünräume: eine empirische Analyse. *Natur und Landschaft*, 92. Jg. (1): 31–37.
144. Spitzer, M., 2019: *Der positive Einfluss von Stadtnatur auf unsere Gesundheit. Übersicht wissenschaftlicher Untersuchungen*. Nürnberg.
145. Gillner, S.; Vogt, J.; Dettmann, S.; Roloff, A., 2015: Stadtbäume mildern Hitzewellen. *Bi-GaLaBau* (10): 54–57.
146. Li, W. C.; Yeung, K., 2014: A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3. Jg. (1): 127–134.
147. Cook-Patton, S. C.; Bauerle, T. L., 2012: Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs: A literature review. *Journal of Environmental Management*, 106. Jg.: 85–92.
148. European Commission, 2012: *The Multifunctionality of Green Infrastructure*. Zugriff: [https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/Green\\_Infrastructure.pdf](https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/Green_Infrastructure.pdf) [abgerufen am 14.06.2023].
149. Streckenbach, M., 2015: Durchatmen! Luftverbesserung durch öffentliches Grün. *bi-GaLaBau* (4): 18–22.
150. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL), 2010: *Empfehlungen für Baumpflanzungen, Teil 2: Standortvorbereitung für Neupflanzungen, Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate*.
151. Streckenbach, M., 2021: *ZUKUNFT STADTBAUM. Ein Leitfaden zum zukünftigen Umgang mit Stadtbäumen bei der Neuanlage und der Sanierung in Altbaumbeständen in der Stadt Schwelm*. Unter Mitarbeit von Sachverständigenbüro für urbane Vegetation. Schwelm.
152. Manoli, G.; Fatichi, S.; Schläpfer, M.; Yu, K.; Crowther, T. W.; Meili, N.; Burlando, P.; Katul, G. G.; Bou-Zeid, E., 2019: Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. *Nature* 573 (7772): 55–60. DOI: 10.1038/s41586-019-1512-9.

153. Bowler, D. E.; Buyung-Ali, L.; Knight, T. M.; Pullin, A. S., 2010: Urban greening to cool towns and cities. A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97. Jg. (3): 147–155.
154. Ng, W.-Y.; Chau, C.-K., 2012: Evaluating the role of vegetation on the ventilation performance in isolated deep street canyons. *International Journal of Environment and Pollution*, 50. Jg. (1–4): 98–110.
155. Shashua-Bar, L.; Hoffman, M. E., 2003: Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. *Energy and Buildings*, 35. Jg. (1): 61–68. DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00080-4.
156. Naturimgarten.at, 2019: Der Klimabaum: Wie Bäume unser Klima verbessern. Zugriff: [https://noe.gv.at/noe/Klima/Der\\_Klimabaum.pdf](https://noe.gv.at/noe/Klima/Der_Klimabaum.pdf) [abgerufen am 13.01.2023].
157. Strobl, J.; Zagel, B.; Griesebner, G.; Blaschke, T. (Hrsg.), 2016: Ökosystemdienstleistungen von Stadtbäumen. *AGIT - Journal für Angewandte Geoinformatik*, 2-2016.
158. Menke, P.; Peters, J.; Bauer, J.; Rohrbach, J.; Kipar, A.; Ley, K.-F., 2022: Bäume in der Stadt. Wertvolle Gestalten im öffentlichen Grün. Berlin.
159. Kontoleon, K. J.; Eumorfopoulou, E. A., 2010: The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Building and Environment*, 45. Jg. (5): 1287–1303.
160. Erlwein, S.; Zölch, T.; Pauleit, S., 2021a: Regulating the microclimate with urban green in densifying cities: Joint assessment on two scales. *Building and Environment*, 205. Jg. (4): 108233. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108233.
161. Herbst, T.; Spreter, R.; van Kleunen, M.; Mayer, K., 2016: Klimawandelanpassung in der Planung und Gestaltung kommunaler Grünflächen. Zugriff: <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/44157> [abgerufen am 18.02.2022].
162. Perini, K.; Ottelé, M.; Fraaij, A.; Haas, E. M.; Raiteri, R., 2011: Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, 46. Jg. (11): 2287–2294. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.05.009.
163. Kolokotsa, D.; Santamouris, M.; Zerefos, S. C., 2013: Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in European climates for office buildings under free floating conditions. *Solar Energy* (95): 118–130.
164. Steinrück, M.; Dütemeyer, D.; Hasse, J.; Rösler, C.; Lorke, V., 2011: Handbuch Stadtklima: Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. 2. Aufl. Köln.
165. Matzarakis, A., 2023: Werkzeuge/Tools: Modelle. Zugriff: [http://www.stadtklima.de/DE/D\\_1tools.htm](http://www.stadtklima.de/DE/D_1tools.htm) [abgerufen am 14.02.2023].
166. ENVI-met, 2023: ENVI-met 3D-Mikroklimasimulationssoftware. Zugriff: <https://www.envi-met.com/de> [abgerufen am 14.02.2023].
167. Alexandri, E.; Kaiser, M., 2008: Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43. Jg. (4): 480–493.
168. Bernhofer, C. (Hrsg.), 2009: Das Klima in der REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM - Regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden (1). Berlin.
169. Stadt Bottrop, 2019: Klimaanalyse Stadt Bottrop. Zugriff: [https://www.bottrop.de/downloads/umwelt/klimaanalyse/Klimaanalyse\\_Stadt\\_Bottrop\\_2019\\_web.pdf](https://www.bottrop.de/downloads/umwelt/klimaanalyse/Klimaanalyse_Stadt_Bottrop_2019_web.pdf) [abgerufen am 14.06.2023].
170. Stiftung Die Grüne Stadt, 2010: Stadtklimatologie und Grün: Anregungen zur Anpassung an den Klimawandel. Düsseldorf.

171. hamburg.de, 2023: Straßenbaumkataster. Zugriff: <https://www.hamburg.de/strassenbaeume-online/> [abgerufen am 14.02.2023].
172. hamburg.de, 2021: Fakten zu Hamburgs Straßenbäumen. Zugriff: <https://www.hamburg.de/strassenbaeume-online/5421342/strassenbaeume-online-fakten/> [abgerufen am 10.08.2021].
173. B.Z., 2015: So grün ist Berlin: Eine Stadt, eine Million Bäume, 2500 Parks. B.Z. Online, 08. November.
174. Doick, K. J.; Hutchings, T., 2013: Air temperature regulation by urban trees and green infrastructure. Farnham, Surrey: Forestry Commission (Research note (Forestry Commission), FRN012).
175. Ng, E.; Chen, L.; Wang, Y.; Yuan, C., 2012: A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment*, 47. Jg. (1): 256–271.
176. Rahman, M. A.; Moser, A.; Rötzer, T.; Pauleit, S., 2017: Microclimatic differences and their influence on transpirational cooling of *Tilia cordata* in two contrasting street canyons in Munich, Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 232: 443–456. DOI: 10.1016/j.agrformet.2016.10.006.
177. Schwaab, J.; Meier, R.; Mussetti, G.; Seneviratne, S.; Bürgi, C.; Davin, E. L., 2021: The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *Nature Communications* (12).
178. Smithers, R. J.; Doick, K. J.; Burton, A.; Sibille, R.; Steinbach, D.; Harris, R.; Groves, L.; Blicharska, M., 2018: Comparing the relative abilities of tree species to cool the urban environment. *Urban Ecosystems*, 21. Jg. (5): 851–862. DOI: 10.1007/s11252-018-0761-y.
179. Lokale Agenda 21 Wien, 2021: Der Stadtbaum. Bäume gegen sommerliche Überhitzung. Zugriff: <https://www.la21wien.at/projekte-detail/der-stadtbaum.html> [abgerufen am 29.07.2021].
180. Umweltbundesamt, 2022: Bodenversiegelung. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung#okologische-auswirkungen> [abgerufen am 11.01.2022].
181. BUND – BUND für Naturschutz und Umwelt in Deutschland, 2021a: Hitze, Trockenheit, versiegelte Städte: BUND fordert gesundes Stadtklima für alle. Zugriff: <https://www.bund.net/service/presse/pressemitteilungen/detail/news/hitze-trockenheit-versiegelte-staedte-bund-fordert-gesundes-stadtklima-fuer-alle/> [abgerufen am 18.05.2021].
182. DER STANDARD, 2021: Bäume kühlen europäische Stadtböden um zehn Grad und mehr. DER STANDARD, 23. November.
183. Rahman, M. A.; Moser, A.; Rötzer, T.; Pauleit, S., 2019: Comparing the transpirational and shading effects of two contrasting urban tree species. *Urban Ecosystems*, 22. Jg. (4): 683–697. DOI: 10.1007/s11252-019-00853-x.
184. Akbari, H.; Pomerantz, M.; Taha, H., 2001: Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70. Jg. (3): 295–310. DOI: 10.1016/S0038-092X(00)00089-X.
185. Matzarakis, A.; Rutz, F.; Mayer, H., 2007: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - application of the RayMan model. *International journal of biometeorology*, 51. Jg. (4): 323–334. DOI: 10.1007/s00484-006-0061-8.
186. Oke, T. R., 1976: The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14. Jg. (4): 268–277. DOI: 10.1080/00046973.1976.9648422.
187. Pretzsch, H.; Matthew, C.; Dieler, J., 2012: Allometry of Tree Crown Structure. Relevance for Space Occupation at the Individual Plant Level and for Self-Thinning at the Stand Level. *Growth and Defence in Plants. Ecological Studies* (220). Berlin, Heidelberg.
188. Meerow, A. W.; Black, R. J., 1993: *Enviroscaping to Conserve Energy: Guide to Microclimate Modification*.

189. Gausman, H. W., 1985: Plant Leaf Optical Properties in Visible and Near Infrared Light. Graduate Studies, Texas Tech University (29).
190. Leuzinger, S.; Vogt, R.; Körner, C., 2010: Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150. Jg. (1): 56–62. DOI: 10.1016/j.agrformet.2009.08.006.
191. Stanley, C. H., 2018: Klimaanpassung und -wirksamkeit von Bäumen im urbanen Raum. Analyse von Einflussgrößen wie Baumart und Temperatur in der Stadt Salzburg. Masterarbeit. Paris Lodron Universität Salzburg, Salzburg
192. Speak, A.; Zerbe, S., 2020: Zum Einfluss von Bäumen und Oberflächenbelag auf das Mikroklima innerstädtischer Freiflächen. *Naturschutz und Landschaftsplanung* (08). Zugriff: <https://www.nul-online.de/Magazin/Archiv/Zum-Einfluss-von-Baeumen-und-Oberflaechenbelag-auf-das-Mikroklima-innerstaedischer-Freiflaechen,QUIEPTY2NDM3OTMmTUIEPTgyMDMw.html?UID=CAFDF03EDC98979F53CBC188DA61D81C6D8C6DABE7D1AE> [abgerufen am 14.02.2023].
193. Eumorfopoulou, E. A.; Kontoleon, K. J., 2009: Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes. *Building and Environment*, 44. Jg. (5): 1024–1038.
194. Ip, K.; Lam, M.; Miller, A., 2010: Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy. *Building and Environment*, 45. Jg. (1): 81–88.
195. GRÜNE LIGA Berlin e.V., 2016: Fassadenbegrünung. Zugriff: <https://www.grueneliga-berlin.de/themenprojekte2/stadtbegrueung/tipps-aus-der-gartenpraxis/bepflanzungsmoeglichkeiten-2/fassadenbegrueung/> [abgerufen am 14.06.2023].
196. Dunnett, N.; Kingsbury, N., 2008: *Planting Green Roofs and Living Walls*. Portland: Timber Press.
197. Dettmar, J.; Pfoser, N.; Sieber, S., 2016: Gutachten Fassadenbegrünung. Vorschlag für Zweck, Umfang und Gebietskulisse einer finanziellen Förderung von quartiersorientierten Unterstützungsansätzen von Fassadenbegrünungen.
198. Althaus, C.; Kiermeier, P.; Schuppler, E., 1991: Empfehlungen zur Fassadenbegrünung an öffentlichen Bauwerken. Düsseldorf.
199. Jim, C. Y., 2015: Greenwall classification and critical design-management assessments. *Ecological Engineering* (77): 348–362.
200. Köhler, M., 1993: *Fassaden- und Dachbegünung*. Stuttgart.
201. Köhler, M., 2008: Green facades- a view back and some visions. *Urban Ecosystems*, 11. Jg. (4): 423–436.
202. Köhler, M., 2012a: Besonderheiten und Vorteile begrünter Architektur. In: Köhler, M. (Hrsg.): *Handbuch Bauwerksbegrünung. Planung - Konstruktion - Ausführung*. Köln.
203. Köhler, M., 2012b: *Handbuch Bauwerksbegrünung. Planung- Konstruktion- Ausführung*. Köln.
204. Manso, M., Castro-Gomes, J., 2015: Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (41): 863–871.
205. Ottele, M., 2011: *The Green Building Envelope*. Dissertation. Universität Delft. Delft.
206. Rath, J.; Kiessl, K.; Gertis, K., 1988: *Bauforschungsbericht. Auswirkungen von Fassadenbegrünung auf den Wärme- und Feuchtehaushalt von Außenwänden und Schadensrisiko*. Stuttgart.
207. Schmidt, M., 2015: *Begrünte Fassaden als Baustein des energieeffizienten Bauens*. Vortrag am 09.06.2015.
208. Wong, N. H.; Kwang Tan, A. Y.; Chen, Y.; Sekar, K.; Tan, P. Y.; Chan, D.; Chiang, K.; Wong, N. C., 2010: Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45. Jg. (3): 663–672.

209. Cheng, C. Y.; Cheung, K.; Chu, L. M., 2010: Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. *Building and Environment*, 45. Jg. (8): 1779–1787.
210. Baumann, R., 1980: Pflanzliche Verschattungselemente an der Gebäudeoberfläche als Maßnahme zur Reduzierung der Strahlungsbelastung unter sommerlichen Bedingungen. Kassel.
211. Brune, M.; Bender, S.; Groth, M., 2017: Gebäudebegrünung und Klimawandel - Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch klimawandeltaugliche Begrünung. Hamburg (Report 30).
212. Coutts, A. M.; Daly, E.; Beringer, J.; Tapper, N. J., 2013: Assessing practical measures to reduce urban heat: Green and cool roofs. *Building and Environment*, 70. Jg. (12): 266–276.
213. Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG), 2018: Gebäudebegrünung als Klimafolgenanpassungsmaßnahme. BuGG-Positionspapier. Zugriff: <https://www.gebaeudegruen.info/> [abgerufen am 14.06.2023].
214. Davis, M. M.; Hirmer, S. (2015): The potential for vertical gardens as evaporative coolers: An adaptation of the Penman Monteith Equation. *Building and Environment* (92): 135–141.
215. Hoelscher, M. T.; Nehls, T.; Jänicke, B.; Wessolek, G., 2016: Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. *Energy and Buildings* (114): 283–290.
216. Reichmann, B., 2010: Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung - Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung - Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung. Berlin.
217. Pfoser, N., 2016: Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Dissertation. Technische Universität Darmstadt. Darmstadt.
218. Hancvencel, G., 2013: Fassadengebundene Vertikalbegrünung. Untersuchungen des Mikroklimas fassadengebundener Begrünungssysteme. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur Wien. Wien.
219. Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S., 2014: Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. FLL-Schriftenreihe Forschungsvorhaben, 2014/01. Bonn.
220. Mazzali, U.; Peron, F.; Romagnoni, P.; Pulselli, R. M.; Bastianoni, S., 2013: Experimental investigation on the energy performance of Living Walls in a temperate climate. *Building and Environment* (64): 57–66.
221. Cameron, R. W.; Taylor, J.; Emmett, M., 2015: A Hedera Green Facade: Energy Performance and Saving Under Different Maritime-Temperate, Winter Weather Conditions. *Building and Environment* (92): 111–121.
222. Castleton, H. F.; Stovin, V.; Beck, S.; Davison, J. B., 2010: Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*, 42. Jg. (10): 1582–1591.
223. Hegger, M.; Fuchs, M.; Stark, T.; Zeumer M., 2007: Energie Atlas. Nachhaltige Architektur. München.
224. Pfoser, N., 2011a: Fassadenbegrünung. Erweiterte Systematik. Bauwerksbegrünung Jahrbuch 2011. Stuttgart: 97–103.
225. Pfoser, N., 2010: Architekturmedium Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. *Stadt + Grün*, 59. Jg. (3): 54–59.
226. Pfoser, N., 2011b: Erweiterte Systematik der Fassadenbegrünung- Eigenschaften und Unterschiede von boden- und fassadengebundenen Begrünungssystemen. *International Journal for City as Nature*.
227. Pfoser, N., 2012: Schadensvermeidung bei der Anbringung von Fassadenbegrünungen. *International Journal for City as Nature*.
228. Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S., 2013: Gebäude Begrünung Energie. Potentiale und Wechselwirkungen. Kurzbericht. Technische Universität Darmstadt. Darmstadt.



229. Schlößer, S. A., 2003: Zur Akzeptanz von Fassadenbegrünung: Meinungsbilder Kölner Bürger - eine Bevölkerungsbefragung. Köln.
230. Köhler, M., Ottelé, M., 2012: Fassadenbegrünung. In: Köhler, M. (Hrsg.): Handbuch Bauwerksbegrünung. Planung - Konstruktion - Ausführung. Köln:
231. Loh, S., 2008: Living Walls – A Way to Green the Built Environment. BEDP Environment Design Guide, TEC (26): 1–7.
232. BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2021: Klimaschutz im Gebäudebereich: Grundlagen, Anforderungen und Nachweismöglichkeiten für klimaneutrale Gebäude - ein Diskussionsbeitrag. Bonn.
233. Scharf, B.; Pitha, U.; Oberarzbacher, S., 2012a: Living Walls- more than scenic beauties. in IFLA- International Federation of Landscape Architects Landscapes in Transition.
234. Schröder, F.-G., 2009: Automatisierte, biologische, senkrechte, städtische Fassadenbegrünung mit dekorativen funktionellen Parametern. Abschlussbericht zum Kooperationsprojekt im Rahmen von PRO INNO II. Dresden.
235. Thoennessen, M., 2002: Elementdynamik in fassadenbegrünendem wilden Wein. Kölner Geographische Arbeiten (78).
236. Wiener Umweltschutzabteilung, 2019: Leitfaden Fassadenbegruenung. Wien.
237. Bambach, G., 2012: Feuchtigkeit in Grünen Wänden messen und steuern. Tagungsband5. Symposium Fassadenbegrünung.
238. Bartfelder, F.; Köhler, M. (Hrsg.), 1987: Experimentelle Untersuchungen zur Funktion von Fassadenbegrünungen. PhD Technische Universität Berlin. Berlin.
239. LWG, 2018: Klima-Forschungs-Station – Pflanze trifft Bauwerk. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau. Zugriff: <https://www.lwg.bayern.de/landespflege/gartendokumente/merkblaetter/192124/index.php> [abgerufen am 04.09.2023].
240. Slama, S., 1989: Brandverhalten begrünter Dächer. Mustererlass der Argebau von Juni 1989. Herausgeber: Institut für Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen. Zugriff: [https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-untersuchungen/F004\\_brandschutz.pdf](https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-untersuchungen/F004_brandschutz.pdf) [abgerufen am 02.09.2022].
241. Gorbachevskaya, O.; Herfort, S., 2012: Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen. Humboldt Universität zu Berlin.
242. Ansel, W. (Hrsg.), 2016: Kommunale Gründach-Strategien. Nürtingen.
243. Appl, R.; Mann, G., 2012: Gründächer und Dachgärten. In: Köhler, M. (Hrsg.): Handbuch Bauwerksbegrünung. Planung-Konstruktion-Ausführung. Köln.
244. Boetticher, M.; Schachtschneider-Baum, D.; Dickhaut, W.; Ansel, W., 2012: Dachbegrünung- ein Thema für die Bauleitplanung. Methoden, Nutzen, Praxisbeispiele, Vorstellung des Leitfadens „Dachbegrünung für Kommunen“. (Präsentation).
245. Erlach, N., 2012: Dachgrün, Studie im Auftrag der MA 22. Wien.
246. FBB, 2010a: Grüne Innovation Dachbegrünung. Saarbrücken.
247. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie (BUE), 2019: Dachbegrünung. Leitfaden zur Planung. Unter Mitarbeit von N. Pfoser, F. Dierks, H. Bornholdt, R. Hensel, S. Krauß und N. B. Niemann. Hamburg.

248. Köhler, M., 1989: Ökologische Untersuchungen an extensiven Dachbegrünungen. Sonderdruck aus „Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie“. Band XVIII. Essen.
249. Smith, K. R.; Roebber, P. J., 2011: Green roof mitigation potential for a proxy future climate scenario in Chicago, Illinois. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50. Jg. (3): 507–522.
250. Speak, A. F.; Rothwell, J. J.; Lindley, S. J.; Smith, C. L., 2013: Reduction of the urban cooling effects of an intensive green roof due to vegetation damage. *Urban Climate* (3): 40–55.
251. Vijayaraghavan, K., 2016: Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (57): 740–752.
252. Mann, G.; Gohlke, R.; Wolff, F., 2021: BuGG-Marktreport Gebäudegrün 2021: Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünung Deutschland. Zugriff: [https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Marktreport/BuGG-Marktreport\\_Gebaeudegruen\\_2021.pdf](https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Marktreport/BuGG-Marktreport_Gebaeudegruen_2021.pdf) [abgerufen am 02.09.2022].
253. Bürgerschaft der freien und Hansestadt Hamburg, 2014: Gründachstrategie für Hamburg. Hamburg.
254. Köhler, M.; Malormy, W., 2009: Wärmeschutz durch extensive Gründächer. In: Venzmer, H. (Hrsg.): *Europäischer Sanierungskalender 2009*. Berlin: 195–212.
255. Heusinger, J.; Weber, S., 2015: Comparative microclimate and dewfall measurements at an urban green roof versus bitumen roof. *Building and Environment* (92): 713–723.
256. Köhler, M.; Wiartalla, W.; Feige, R., 2007: Interaction between PV-systems and extensive green roofs. Fifth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference. Awards and Trade Show.
257. Port, L.; Goeke, J., 2019: Thermische Analyse einer Dachbegrünung mit Moosmatten. *Bauphysik*, 41. Jg. (5): 233–242. DOI: 10.1002/bapi.201900021.
258. Santamouris, M., 2014: Cooling the cities: A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy* (103): 682–703.
259. Scharf, B.; Pitha, U.; Trimmel, H., 2012b: Thermal performance of green roofs. *World Green Roof Congress*. Copenhagen.
260. Theodosiou, T., 2009: Green Roofs in Buildings: Thermal and Environmental Behaviour. *Advances in Building Energy Research*, 3. Jg. (1): 271–288.
261. Ponte, S.; Sonti, N. F.; Phillips, T. H.; Pavao-Zuckerman, M. A., 2021: Transpiration rates of red maple (*Acer rubrum* L.) differ between management contexts in urban forests of Maryland, USA. *Sci Rep*, 11. Jg. (1): 22538. DOI: 10.1038/s41598-021-01804-3.
262. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 2010: *Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung: Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung: Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung*. Berlin.
263. Stratópoulos, L. M. F.; Duthweiler, S.; Häberle, K.-H.; Pauleit, S., 2018: Effect of native habitat on the cooling ability of six nursery-grown tree species and cultivars for future roadside plantings. *Urban Forestry & Urban Greening* (30): 37–45. DOI: 10.1016/j.ufug.2018.01.011.
264. Winbourne, J. B.; Jones, T. S.; Garvey, S. M.; Harrison, J. L.; Wang, L.; Li, D.; Templer, P. H.; Hutya, L. R., 2020: Tree Transpiration and Urban Temperatures: Current Understanding, Implications, and Future Research Directions. *BioScience*, 70. Jg. (7): 576–588. DOI: 10.1093/biosci/biaa055.
265. Meili, N.; Manoli, G.; Burlando, P.; Bou-Zeid, E.; Chow, W. T. L.; Coutts, A. M.; Daly, E.; Nice, K. A.; Roth, M.; Tapper, N. J.; Velasco, E.; Vivoni, E. R.; Faticchi, S., 2020: An urban ecohydrological model to quantify the effect of vegetation on urban climate and hydrology (UT&C v1.0). *Geosci. Model Dev*, 13. Jg. (1): 335–362. DOI: 10.5194/gmd-13-335-2020.

266. Xiao, Q.; McPherson, E. G.; Ustin, S. L.; Grismer, M. E., 2000: A new approach to modeling tree rainfall interception. *J. Geophys. Res.* 105 (D23): 29173–29188. DOI: 10.1029/2000JD900343.
267. Harlaß, R., 2008: Verdunstung in bebauten Gebieten. Dissertation. Technische Universität Dresden. Dresden.
268. Ballin, M.; Barcaroli, G.; Masselli, M.; Scarno, M., 2018: Redesign sample for Land Use/Cover Area frame Survey (LUCAS) 2018.
269. AdV-Online, 2022: Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwalter der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV). Zugriff: <https://www.adv-online.de/Startseite/> [abgerufen am 11.01.2022].
270. Zimmermann, L.; Raspe, S.; Schulz, C.; Grimmeisen, W., 2008: Wasserverbrauch von Wäldern: Bäume und Bestände verdunsten unterschiedlich stark. *Wald und Wasser* (66): 16–20.
271. Alikhani, S.; Nummi, P.; Ojala, A., 2021: Urban Wetlands: A Review on Ecological and Cultural Values. *Water* (13): 3301. DOI: 10.3390/w13223301.
272. Floris, P., 2018: Die Interaktion von Wurzeln und Boden besser verstehen. *Taspo Baumzeitung* (2): 31–35.
273. Ennos, R., 2019: Can trees really cool our cities down? Zugriff: <https://theconversation.com/can-trees-really-cool-our-cities-down-44099> [abgerufen am 01.05.2021].
274. Francis, R. A.; Lorimer, J., 2011: Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *Journal of Environmental Management*, 92. Jg. (6): 1429–1437.
275. Yun, S. H.; Park, C. Y.; Kim, E. S.; Lee, D. K., 2020: A Multi-Layer Model for Transpiration of Urban Trees Considering Vertical Structure. *Forests*, 11. Jg. (11): 1164. DOI: 10.3390/f11111164.
276. Stratópoulos-Le Chalony, L.M.F., 2020: „Klimabäume“ für die Stadt: Über die Rolle einer angepassten Arten- und Sortenwahl für die Kühlleistung von Straßenbäumen. Dissertation. Technische Universität München. München.
277. Böll, S., 2021: Trockenstressreaktionen heimischer und nicht-heimischer Stadtbaumarten in Extremsommern. Zugriff: [https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/lwg\\_anpassungsstrategien\\_stadtgruen21\\_bf.pdf](https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/lwg_anpassungsstrategien_stadtgruen21_bf.pdf) [abgerufen am 04.05.2022].
278. Balder, H., 1998: Die Wurzeln der Stadtbäume: Ein Handbuch zum vorbeugenden und nachsorgenden Wurzelschutz ; 38 Tabellen. Berlin.
279. Hagishima, A.; Narita, K.; Tanimoto, J., 2007: Field experiment on transpiration from isolated urban plants. *Hydrological Processes*, 21. Jg. (9): 1217–1222. DOI: 10.1002/hyp.6681.
280. Stadt Leipzig, 2022: UrbanGreenEye. Online verfügbar unter <http://urbangreeneye.de/> [abgerufen am 14.02.2023].
281. Akbari, H.; Cartalis, C.; Kolokotsa, D.; Muscio, A.; Pisello, A. L.; Rossi, F.; Santamouris, M.; Synnefa, A.; Wong, N. H.; Zinzi, M., 2016b: Local climate change and urban heat island mitigation techniques – the state of the art. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22. Jg. (1): 1–16.
282. Stadt Worms, 2022: Hitzeinseln und Klimaoasen in Worms und Metz - Stadt Worms. Zugriff: <https://www.worms.de/neu-de/zukunft-gestalten/klima-und-umwelt/Klimawandel/Klimaoasen-und-Hitzeinseln.php> [abgerufen am 08.02.2022].
283. US EPA, 2014: Using Trees and Vegetation to Reduce Heat Islands | US EPA. Zugriff: <https://www.epa.gov/heatislands/using-trees-and-vegetation-reduce-heat-islands> [abgerufen am 01.05.2021].
284. Yamashita, S.; Sekine, K.; Shoda, M.; Yamashita, K.; Hara, Y., 1986: On relationships between heat island and sky view factor in the cities of Tama River basin, Japan. *Atmospheric Environment* (1967), 20. Jg. (4): 681–686. DOI: 10.1016/0004-6981(86)90182-4.

285. Žuvela-Aloise, M.; Koch, R.; Buchholz, S.; Früh, B., 2016: Modelling the potential of green and blue infrastructure to reduce urban heat load in the city of Vienna. *Climatic Change* (135): 425–438.
286. Foos, E., 2018: Vom Kleingarten zur „Grünen Klimaoase“. *Gartenfreund* (6): 8–11.
287. Eu Kommission, 2021: Neue EU Waldstrategie 2030. Brüssel. Document: 52021DC0572.
288. Casalegno, S., 2011: Urban and Peri-Urban Tree Cover in European Cities: Current Distribution and Future Vulnerability Under Climate Change Scenarios. In: Casalegno, S. (Hrsg.): *Global Warming Impacts - Case Studies on the Economy, Human Health, and on Urban and Natural Environments*. Zugriff: [https://www.researchgate.net/publication/221917735\\_Urban\\_and\\_Peri-Urban\\_Tree\\_Cover\\_in\\_European\\_Cities\\_Current\\_Distribution\\_and\\_Future\\_Vulnerability\\_Under\\_Climate\\_Change\\_Scenarios](https://www.researchgate.net/publication/221917735_Urban_and_Peri-Urban_Tree_Cover_in_European_Cities_Current_Distribution_and_Future_Vulnerability_Under_Climate_Change_Scenarios) [abgerufen am 22.02.2022].
289. Dorendorf, J.; Eschenbach, A.; Schmidt, K.; Jensen, K., 2015: Both tree and soil carbon need to be quantified for carbon assessments of cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14. Jg. (3): 447–455. DOI: 10.1016/j.ufug.2015.04.005.
290. Strohbach, M. W.; Haase, D., 2012: Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city. *Landscape and Urban Planning*, 104. Jg. (1): 95–104. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.10.001.
291. FVA – Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), 2021: Wie viel Kohlenstoff speichern Stadtbäume? Zugriff: <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/klima-und-umwelt/klimawandel-und-co2/kohlenstoff-in-stadtbaeumen> [abgerufen am 14.09.2021].
292. Nowak, D. J.; Crane, D. E., 2002: Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116. Jg. (3): 381–389. DOI: 10.1016/S0269-7491(01)00214-7.
293. Sukopp, H.; Wittig, R., 1993: *Stadtökologie*. Stuttgart, Jena, New York.
294. Kern, S., 2019: *Der antiautoritäre Garten. Gärten, die sich selbst gestalten*. Stuttgart.
295. Zhao, D.; Lei, Q.; Shi, Y.; Wang, M.; Chen, S.; Shah, K.; Ji, W., 2020: Role of Species and Planting Configuration on Transpiration and Microclimate for Urban Trees. *Forests*, 11. Jg. (8): 825. DOI: 10.3390/f11080825.
296. Roloff, A., 2013: *Bäume in der Stadt. Besonderheiten, Funktion, Nutzen, Arten, Risiken*. Stuttgart.
297. Schmidt, K.; Poppendieck, H.-H., 2019: Veränderungen städtischer Ökosysteme. Pflanzenreaktionen auf das Stadtklima. In: Lozan, J. L.; Breckle, S.-W.; Grassl, H.; Kuttler, W.; Matzarakis, A. (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Die Städte*. Universität Hamburg. Hamburg: 159–165. Zugriff: [https://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/pdf/de/staedte/warnsignal\\_klima-die\\_staedte-kapitel-5\\_1.pdf](https://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/pdf/de/staedte/warnsignal_klima-die_staedte-kapitel-5_1.pdf) [abgerufen am 29.07.2021].
298. SELYE, H., 1973: The Evolution of the Stress Concept: The originator of the concept traces its development from the discovery in 1936 of the alarm reaction to modern therapeutic applications of syntoxic and catatoxic hormones. *American Scientist*, 61. Jg. (6): 692–699.
299. SELYE, H., 1936: A Syndrome produced by Diverse Nocuous Agents. *Nature* 138 (3479), 32. DOI: 10.1038/138032a0.
300. Dobbertin, M. K., 2021: Wenige Tage bestimmen den Zuwachs unserer Bäume - WSL. Zugriff: <https://www.wsl.ch/de/newsseiten/2021/12/wenige-tage-bestimmen-den-zuwachs-unserer-baeume.html> [abgerufen am 15.12.2021].
301. BIOCOM AG, 2017: Stadtluft lässt Bäume schneller wachsen. Zugriff: <https://biooekonomie.de/nachrichten/neues-aus-der-biooekonomie/stadtluft-laesst-baeume-schneller-wachsen> [abgerufen am 18.06.2021].

302. Bauer, J. K., 2018: Auswirkungen des Klimawandels auf den städtischen Baumbestand – Vergleich von Temperaturprofilen verwandter Baumarten. Masterarbeit. TU Dresden. Dresden.
303. Borchardt, W., 2020: Heißes Pflaster für Stadtbäume. Zugriff: <https://tllr.thueringen.de/fileadmin/TLLLR/Service/Veranstaltungen/Gartenbau/GaLaBau/2020/borchardt.pdf> [abgerufen am 07.08.2023].
304. Deffner, J.; Frick-Trzebitzky, F.; Schramm, E.; Winker, M., 2019: Städtisches Grün unter Druck: Potenziale von Wasserquellen für Anpassung an den Klimawandel. *Stadt + Grün*, 68. Jg. (5): 33–38.
305. Duthweiler, S.; Pauleit, S.; Rötzer, T.; Moser, A., 2017: Untersuchungen zur Trockenheitsverträglichkeit von Stadtbäumen. *Jahrbuch der Baumpflege* 2017: 137–154.
306. Fellhölter, G.; Schreiner, M.; Zander, M.; Ulrichs, C., 2015: Stresstest an Straßenbäumen in Berlin-Neukölln. *ProBaum* (2): 22–24.
307. Gillner, S., 2012: Stadtbäume im Klimawandel. Dendrochronologische und physiologische Untersuchungen zur Identifikation der Trockenstressempfindlichkeit häufig verwendeter Stadtbaumarten in Dresden. Dissertation. Technische Universität Dresden. Dresden.
308. Gillner, S.; Roloff, A., 2013: Dendrochronologische und physiologische Untersuchungen zur Trockenstressempfindlichkeit häufig verwendeter Stadtbaumarten in Dresden. *Jahrbuch der Baumpflege*: 246–251.
309. Gillner, S.; Vogt, J.; Roloff, A., 2013: Climatic response and impacts of drought on oaks at urban and forest sites. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12. Jg. (4): 597–605. DOI: 10.1016/j.ufug.2013.05.003.
310. Gläßer, T., 2018: Hitzestress und Trockenheit - der Garten im Klimawandel. *pflanzart*, 08. August.
311. Hahn, M., 2015: Stadtbäume im Trockenstress: Reagieren fremdländische Baumarten weniger empfindlich als einheimische? Universität Bayreuth. Bayreuth.
312. Böll, S., 2017a: 7 Jahre „Stadtgrün 2021“ - Einfluss des regionalen Klimas auf das Baumwachstum an drei bayerischen Standorten. *Jahrbuch der Baumpflege*: 91–114.
313. Böll, S., 2017b: Das Forschungsprojekt „Stadtgrün 2021“ - ein Überblick. *Jahrbuch der Baumpflege*: 23–28.
314. Böll, S.; Körber, K.; Schönfeld, P., 2010: Zur Auswahl von Baumarten unter dem Aspekt des Klimawandels: Das Projekt Stadtgrün 2021. *Jahrbuch der Baumpflege*: 300–305.
315. Böll, S., 2014: Stadtbäume im Test. Der tägliche Kampf gegen Tausalz, Luftverschmutzung und Klimawandel. *Aussenraum*, 1. Jg. (1): 46–51.
316. LWG – Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, 2021: Stadtbaumarten im Klimawandel. Zugriff: [https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/lwg\\_stadtgruen\\_falzflyer\\_bf.pdf](https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/lwg_stadtgruen_falzflyer_bf.pdf) [abgerufen am 02.02.2023].
317. Stearns, S. C.; Koella, J. C., 1986: The Evolution of Phenotypic Plasticity in Life-History Traits: Predictions of Reaction Norms for Age and Size at Maturity. *Evolution*, 40. Jg. (5): 893. DOI: 10.2307/2408752.
318. Turesson, G., 1922: The genotypical response of the plant species to the habitat. *Hereditas*, 3. Jg. (3): 211–350. DOI: 10.1111/j.1601-5223.1922.tb02734.x.
319. McDowell, N.; Pockman, W. T.; Allen, C. D.; Breshears, D. D.; Cobb, N.; Kolb, T.; Plaut, J.; Sperry, J.; West, A.; Williams, D. G.; Ypez, E. A., 2008: Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*, 178. Jg. (4): 719–739. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02436.x.
320. Zhang; Stratopoulos; Pretzsch; Rötzer, 2019: How Do *Tilia Cordata* Greenspire Trees Cope with Drought Stress Regarding Their Biomass Allocation and Ecosystem Services? *Forests*, 10. Jg. (8): 676. DOI: 10.3390/f10080676.

321. Rust, S., 2019: Stress bei Bäumen. In: A. Roloff (Hrsg.): Baumpflege. Stuttgart: 77–85.
322. Scheiber, S. M.; Beeson Jr, R. C.; Vyapari, S., 2007: Pentas water use and growth in simulated landscapes as affected by municipal compost and mined field clay soil amendments. *HortScience*, 42. Jg. (7): 1744–1747.
323. LWF – Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 2021: Stadtbäume unter Stress. Zugriff: <https://www.waldwissen.net/de/technik-und-planung/landschaftsentwicklung/stadtbaeume-unter-stress> [abgerufen am 29.07.2021].
324. Petersen, A.; Eckstein, D., 1988: ROADSIDE TREES IN HAMBURG—THEIR PRESENT SITUATION OF ENVIRONMENTAL STRESS AND THEIR FUTURE CHANCE FOR RECOVERY. *Arboricultural Journal*, 12. Jg. (1): 109–117. DOI: 10.1080/03071375.1988.9756382.
325. Zaharah, S. S.; Razi, I. M., 2009: Growth, stomata aperture, biochemical changes and branch anatomy in mango (*Mangifera indica*) cv. Chokanan in response to root restriction and water stress. *Scientia Horticulturae*, 123. Jg. (1): 58–67. DOI: 10.1016/j.scienta.2009.07.022.
326. Stratópoulos, L. M. F.; Zhang, C.; Häberle, K.-H.; Pauleit, S.; Duthweiler, S.; Pretzsch, H.; Rötzer, T., 2019a: Effects of Drought on the Phenology, Growth, and Morphological Development of Three Urban Tree Species and Cultivars. *Sustainability*, 11. Jg. (18): 5117. DOI: 10.3390/su11185117.
327. Nagase, A.; Dunnett, N., 2010: Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: Effects of watering and diversity. *Landscape and Urban Planning*, 97. Jg. (4): 318–327.
328. Moser, A.; Rötzer, T.; Pauleit, S.; Pretzsch, H., 2016: The Urban Environment Can Modify Drought Stress of Small-Leaved Lime (*Tilia cordata* Mill.) and Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Forests*, 7. Jg. (12): 71. DOI: 10.3390/f7030071.
329. Liu, M., 2021: Klimasensitivität der Triebblängen verschiedener Baumarten – Eine Fallstudie zu den Trockenjahren 2018 bis 2020. In: Roloff, A. (Hrsg.): Trockenstress bei Bäumen – Ursachen, Strategien, Praxis. Wiebelsheim: 104–117.
330. Watson, G. W.; Kelsey, P., 2006: The impact of soil compaction on soil aeration and fine root density of *Quercus palustris*. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4. Jg. (2): 69–74.
331. Hellweg, A.; Karsch-Frank, G.; Schneider, U., 2013: Grünflächen klimagerecht bauen. *Stadt + Grün*, 62. Jg. (3): 9–14.
332. Schönfeld, P., 2019: Straßenbäume und Klimawandel. *Deutsche Baumschule* (5): 24–28.
333. Kotremba, C., 2018: Klimawandeltolerante\_Pflanzen. Empfehlungen und Pflanzenlisten: Stiftung für Ökologie und Demokratie e. V.
334. Pietzarka, U., 2021: Vorstellung von 33 Favoriten-Baumarten: Trockenstresstolerante Stadt-Straßenbaumarten mit ihren Eigenschaften. In: Roloff, A. (Hrsg.): Trockenstress bei Bäumen – Ursachen, Strategien, Praxis. Wiebelsheim: 231–266.
335. Stratópoulos, L. M. F., 2020: „Klimabäume“ für die Stadt. Über die Rolle einer angepassten Arten- und Sortenwahl für die Kühlleistung von Straßenbäumen. Dissertation. Technische Universität München. München.
336. Walters, M. B.; Reich, P. B., 1996: Are Shade Tolerance, Survival, and Growth Linked? Low Light and Nitrogen Effects on Hardwood Seedlings. *Ecology*, 77. Jg. (3): 841–853. DOI: 10.2307/2265505.
337. Pro Baum, 2021: Gehölze im Klimawandel. Mit welchen Folgeschäden Pflanzen kämpfen, 06. Juli.
338. Roloff, A.; Grundmann, B.; Korn, S., 2010: Trockenstress bei Stadtbäumen – Mechanismen und Reaktionen der Anpassung, Nutzen für die Artenwahl. *Stadt + Grün*, 59. Jg. (2): 54–60.

339. Roloff, A.; Kniesel, B.; Korn, S., 2018: Trockenstress bei Stadtbäumen: Ursachen, Reaktionen, Anpassungen. In: Roloff, A. (Hrsg.): Vitalitätsbeurteilung von Bäumen: Aktueller Stand und Weiterentwicklung. Braunschweig: 171–182.
340. John, R. M.; Rougeulle, C., 2018: Developmental Epigenetics: Phenotype and the Flexible Epigenome. *Frontiers in cell and developmental biology* (6): 130. DOI: 10.3389/fcell.2018.00130.
341. Dressler, A., 2019: Anpassung an Trockenheit – Einfluss unterschiedlicher Bewässerungsstrategien auf die Trockenheitstoleranz junger Gehölze. Dissertation. Technische Universität Dresden. Dresden.
342. Dressler, A., 2021: Trockenstress-Anpassung in der Baumschule – Möglichkeiten und Grenzen. In: Roloff, A. (Hrsg.): Trockenstress bei Bäumen – Ursachen, Strategien, Praxis. Wiebelsheim: 51–64.
343. Roloff, A., 2020: An Trockenstress angepasst. *ProBaum* (4): 30.
344. Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung Gatersleben, 2021: Phänotypisierung. Zugriff: <https://www.ipk-gatersleben.de/infrastruktur/phaenotypisierung> [abgerufen am 28.07.2021].
345. Pflanzenforschung.de, 2022: Phänotypisierung. Zugriff: <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/phaenotypisierung-10020> [abgerufen am 14.02.2023].
346. Roloff, A., 2018: Vitalitätsbeurteilung von Bäumen: Aktueller Stand und Weiterentwicklung. Haymarket Media, Braunschweig.
347. Brune, M., 2016: Urban trees under climate change. Potential impacts of dry spells and heat waves in three German regions in the 2050s. Climate Service Center Germany. GERICS Report (24).
348. Grünig, M.; Mazzi, D.; Calanca, P.; Karger, D. N.; Pellissier, L., 2020: Crop and forest pest metawebs shift towards increased linkage and suitability overlap under climate change. *Communications biology*, 3. Jg. (1): 233. DOI: 10.1038/s42003-020-0962-9.
349. Roloff, A. (Hrsg.), 2021: Trockenstress bei Bäumen: Ursachen, Strategien, Praxis. Unter Mitarbeit von Anne Dreßler. Wiebelsheim.
350. Schumacher, J.; Fischer-Hüftle, P., 2011: Bundesnaturschutzgesetz, Kommentar. 2. Auflage. Stuttgart.
351. GALK, 2021: Straßenbaumliste GALK. Zugriff: <https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuuebersicht/strassenbaumliste> [abgerufen am 29.07.2021].
352. GALK, 2022: Straßenbaumtest II. Zugriff: <https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuuebersicht/strassenbaumtest-2> [abgerufen am 11.02.2022].
353. Bund deutscher Baumschulen (BdB) e. V.; GALK, 2020: Zukunftsbäume für die Stadt. Auswahl aus der GALK-Strassenbaumliste.
354. GALK e.V., 1999: Straßenbaumtest 1. Zugriff: <https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuuebersicht/strassenbaumtest-1> [abgerufen am 02.09.2022].
355. GALK e.V., 2012: Straßenbaumtest 2. Zugriff: <https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuuebersicht/strassenbaumtest-2> [abgerufen am 02.09.2022].
356. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (Hrsg.), 2021: Stadtgrün 2021: Neue Bäume braucht das Land! Zugriff: [https://www.lwg.bayern.de/landespflge/urbanes\\_gruen/085113/index.php](https://www.lwg.bayern.de/landespflge/urbanes_gruen/085113/index.php) [abgerufen am 14.02.2022].
357. Böll, S., 2017c: Projekt Stadtgrün 2021. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr.: KL/14/02.
358. LWG – Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, 2019: Forschungsprojekt Stadtgrün 2021. Neue Bäume braucht das Land! Zugriff: [https://www.lwg.bayern.de/landespflge/urbanes\\_gruen/085113/index.php](https://www.lwg.bayern.de/landespflge/urbanes_gruen/085113/index.php) [abgerufen am 18.05.2021].

359. Gliniars, R., 2021: Netzwerk Zukunftsbäume: Hohenheimer Gärten. Universität Hohenheim. Zugriff: [https://gaerten.uni-hohenheim.de/netzwerk\\_zukunftsbaeume](https://gaerten.uni-hohenheim.de/netzwerk_zukunftsbaeume) [abgerufen am 18.05.2021].
360. Förderverein Historische Parkanlagen Wuppertal e.V., 2011: Arboretum Burgholz. Zugriff: <http://www.wuppertals-gruene-anlagen.de/naturerlebnisse/arboretum-burgholz/> [abgerufen am 02.09.2022].
361. Heimatverein Gartenvorstadt Reuschenberg 2000 e.V., 2020: Arboretum Neuss-Reuschenberg. Zugriff: <https://www.heimatverein-reuschenberg.de/ueber-uns/arboretum-neuss-reuschenberg/> [abgerufen am 02.09.2022].
362. Stadt Coburg, 2022: Das „Grüne Labor Coburg“ am Himmelsacker – Digitales Stadtgedächtnis Coburg. Zugriff: <https://www.stadtgeschichte-coburg.de/blog/2015/01/30/das-gruene-labor-coburg-am-himmelsacker/> [abgerufen am 02.09.2022].
363. Förderverein Arboretum Baumpark Ellerhoop-Thiensen e.V., 2022: Arboretum Ellerhoop – ... der schönste Garten im Norden. Zugriff: <https://www.arboretum-ellerhoop.de/> [abgerufen am 02.09.2022].
364. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, 2019c: Kommunale Klimaanpassung – Hitze und Gesundheit –: Ein Methodenbaukasten. Zugriff: [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/KLIMPRAXstadtklima2019/B-hitze\\_in\\_der\\_Stadt-modellbaukasten-20190820-internet.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/KLIMPRAXstadtklima2019/B-hitze_in_der_Stadt-modellbaukasten-20190820-internet.pdf) [abgerufen am 03.03.2023].
365. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, 2022: KLIMAPRAX. Stadtgrün. Zugriff: <https://www.hlnug.de/themen/klimawandel-und-anpassung/projekte/klimprax-stadtgruen> [abgerufen am 09.03.2023].
366. Geoportal, 2022: inkasPortal. GeoNet Online GmbH. Zugriff: <https://geoportal.staedteregion-aachen.de/> [abgerufen am 11.02.2022].
367. Andres, C.; Balder, H.; Böhm, M.; Heuer, M.; Hilsbert, R.; Hüttenmoser, B., 2020: Straßenbegleitgrün: Wirtschaftlich, ökologisch und verkehrssicher. Stand: September 2020. Merching.
368. Balder, H.; Ehlebracht, K.; Mahler, E., 1997: Strassenbäume: Planen, Pflanzen, Pflegen am Beispiel Berlin. Berlin.
369. Roloff, A.; Korn, S.; Gillner, S., 2009: The Climate-Species-Matrix to select tree species for urban habitats considering climate change. Urban Forestry & Urban Greening, 8. Jg. (4): 295–308.
370. Fenzl, J.; Kircher, W.; Schmidt, C.; Schönfeld, P., 2017: Staudenmischpflanzungen. 2. Auflage. Bonn.
371. Bund deutscher Staudengärtner, 2018: Neue Staudenmischungen für trockenen Schatten. Zugriff: <https://www.gartenpraxis.de/Neue-Staudenmischungen-fuer-trockenen-Schatten,QUIEPTU4MTQzMDImTUIEPTExNTE.html> [abgerufen am 12.07.2021].
372. Schmidt, C., 2011: Staudenmischpflanzungen - Innovative Konzepte für pflegereduzierte Pflanzungen im öffentlichen Grün. Bund deutscher Landschaftsarchitekten. Weinheim/Bergstraße.
373. Schmidt, C., 2013: Innovative Konzepte für pflegereduzierte Pflanzungen im öffentlichen Grün: Staudenmischpflanzungen. Stadt + Grün, 62. Jg. (7): 9–16.
374. Schmidt, C., 2017: Getestete Staudenkonzepte für die Bepflanzung: Gehölzränder und -bereiche im öffentlichen Grün. Herausgeber: Stadt + Grün. Zugriff: <https://stadtundgruen.de/artikel/getestete-staudenkonzepte-fuer-die-bepflanzung-gehoeelzraender-und-bereiche-im-oeffentlichen-gruen-16254> [abgerufen am 04.09.2023].
375. Stadt + Grün, 2021: Staudenpflanzungen für Nachhaltigkeit in der Stadt. Zugriff: <https://stadtundgruen.de/artikel/staudenpflanzungen-fuer-nachhaltigkeit-in-der-stadt-15872.html> [abgerufen am 16.05.2023].
376. Bund deutscher Staudengärtner im Zentralverband Gartenbau e.V., 2022: Staudenmischungen. Zugriff: <https://www.staudenmischungen.de/> [abgerufen am 15.09.2022].



377. Arbeitskreis Pflanzenverwendung, 2011: Staudenmischungen. Attraktives Grün für clevere Gärtner.
378. LWG – Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (Hrsg.), 2022a: Staudenmischpflanzungen: Vielfalt statt Einfalt! Zugriff: [https://www.lwg.bayern.de/landespflge/urbanes\\_gruen/087938/index.php](https://www.lwg.bayern.de/landespflge/urbanes_gruen/087938/index.php) [abgerufen am 16.02.2022].
379. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, 2014: Fachbericht Staudenverwendung im öffentlichen Grün. Staudenmischpflanzungen für trockene Freiflächen. aus der Arbeit des AK „Pflanzenverwendung“, Arbeitsgruppe „Trockene Freiflächen“. Ausg.: Juli 2014. Bonn.
380. Schmidt, C., 2019: Baumscheiben und trocken-schattige Gehölbereiche: Neue Staudenkonzepte. Zugriff: <https://neulandschaft.de/artikel/baumscheiben-und-trocken-schattige-gehoeelzbereiche-neue-staudenkonzepte-6177> [abgerufen am 27.04.2023].
381. Arbeitskreis Pflanzenverwendung, 2018: Pflanzkonzepte für Baumscheiben und trocken-schattige Gehölbereiche. Herausgeber: BdS – Bund deutscher Staudengärtner. Zugriff: [https://www.bund-deutscher-staudengaertner.de/cms/staudenverwendung/mischpflanzungen/download/Baumscheibern\\_und\\_trockenschattige\\_Gehoeelzbereiche.pdf](https://www.bund-deutscher-staudengaertner.de/cms/staudenverwendung/mischpflanzungen/download/Baumscheibern_und_trockenschattige_Gehoeelzbereiche.pdf) [abgerufen am 27.01.2023].
382. Marquardt, M.; Kienbaum, L.; Kretschmer, L. A.; Penell, A.; Schweikert, K.; Ruttensperger, U.; Rosenkranz, P., 2021: Evaluation of the importance of ornamental plants for pollinators in urban and suburban areas in Stuttgart, Germany. *Urban Ecosystems*, 24. Jg. (4): 811–825. DOI: 10.1007/s11252-020-01085-0..
383. Salisbury, A.; Armitage, J.; Bostock, H.; Perry, J.; Tatchell, M.; Thompson, K., 2015: Enhancing gardens as habitats for flower-visiting aerial insects (pollinators): should we plant native or exotic species? *Journal of Applied Ecology*, 52. Jg. (5): 1156–1164. DOI: 10.1111/1365-2664.12499.
384. Rollings, R.; Goulson, D., 2019: Quantifying the attractiveness of garden flowers for pollinators. *Journal of Insect Conservation*, 23. Jg. (5-6): 803–817. DOI: 10.1007/s10841-019-00177-3.
385. BdS – Bund deutscher Staudengärtner, 2022: Insekten fördern mit Staudenmischungen: Empfehlung des Arbeitskreises Pflanzenverwendung im Bund deutscher Staudengärtner. Bonn.
386. BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2022: Jetzt Bienen füttern. Zugriff: <https://bienenfuettern.de/> [abgerufen am 21.02.2022].
387. BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2020: Bienenfreundliche Pflanzen. Das Pflanzenlexikon für Balkon und Garten. Zugriff: [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/BienenfreundlichePflanzen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=27](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/BienenfreundlichePflanzen.pdf?__blob=publicationFile&v=27) [abgerufen am 21.02.2022].
388. Verband deutscher Wildsamens- und Wildpflanzenproduzenten, 2022: Bezugsquellen - Verband deutscher Wildsamens- und Wildpflanzenproduzenten. Zugriff: <https://www.natur-im-vww.de/bezugsquellen/> [abgerufen am 17.02.2022].
389. Bevilacqua, P.; Coma, J.; Pérez, G.; Chocarro, C.; Juárez, A.; Solè, C.; de Simone, M.; Cabeza, L. F., 2015: Plant cover and floristic composition effect on thermal behaviour of extensive green roofs. *Building and Environment* (92): 305–316.
390. Kolb, W.; Schwarz, T., 1999: Dachbegrünung: intensiv und extensiv. Stuttgart.
391. Blanus, T.; Vaz Monteiro, M. M.; Fantozzi, F.; Vysini, E.; Li, Y.; Cameron, R., 2013: Alternatives to Sedum on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better „cooling service“? *Building and Environment* (59): 99–106.
392. Kolb, W., 1987: Abflussverhältnisse extensiv begrünter Flachdächer. *Zeitschrift für Vegetationstechnik* (3): 111–115.
393. FLL – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., 2018a: Dachbegrünungsrichtlinien: Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltungen von Dachbegrünungen. Bonn.

394. Berndtsson, J. C.; Bengtsson, L.; Jinno, K., 2009: Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Ecological Engineering*, 35. Jg. (3): 369–380.
395. VanWoert, N. D.; Rowe, D. B.; Andresen, J. A.; Rugh, C. L.; Fernandez, R. T.; Xiao, L., 2005: Green Roof Stormwater Retention. *Journal of Environmental Quality*, 34. Jg. (3): 1036–1044.
396. Ye, J.; Yu, S.; Zhang, H.; Xu, W., 2011: Study on rainwater retention effect of an extensive green roof. 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering. MACE.
397. Bengtsson, L., 2005: Peak flows from thin sedum-moss roof. *Hydrology Research*, 36. Jg. (3): 269–280.
398. Beradi, U.; GhaffarianHlseini, A.; GhaffarianHoseini, A., 2014: State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy* (115): 411–428.
399. Chenani, D. B.; Lehvavirta, S.; Häkkinen, T., 2015: Life cycle assessment of layers of green roofs. *Journal for Cleaner Production* (90): 153–162.
400. Lieseke, H. J., 1988: Untersuchungen zur Wasserrückhaltung extensiv begrünter Flachdächer. *Zeitschrift für Vegetationstechnik* (2): 56–66.
401. Mentens, J.; Raes, D.; Hermy, M., 2006: Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77. Jg. (3): 217–226.
402. Nagase, A.; Dunnett, N., 2012: Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. *Landscape and Urban Planning*, 104. Jg. (3-4): 356–363.
403. Meinken, E.; Krummradt, I., 2014: Grauwasser. Optimierung der Evapotranspirations- und Kühlleistung extensiver Dachbegrünungen durch gezielte Nutzung von Grauwasser. Herausgeber: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. Zugriff: <https://www.hswt.de/forschung/projekt/363-grauwasser-fur-dachbegrunungen> [abgerufen am 14.06.2023].
404. Shafique, M.; Luo, X.; Zuo, J., 2020: Photovoltaic-green roofs: A review of benefits, limitations, and trends. *Solar Energy* (202): 485–497. DOI: 10.1016/j.solener.2020.02.101.
405. BuGG – Bundesverband GebäudeGrün e.V., 2020: Geeignete Gehölze für Dachbegrünungen. Unter Mitarbeit von Felix Mollenhauer und Dr. Gunter Mann. 2. Aufl. Berlin.
406. FLL – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., 2018b: Fassadenbegrünungsrichtlinien. Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen. Bonn.
407. Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S., 2013b: Gebäude Begrünung Energie. Potentiale und Wechselwirkungen. Darmstadt.
408. Pfoser, N., 2023: Grüne Fassaden. München.
409. Pfoser, N., 2018: Vertikale Begrünung. Stuttgart.
410. Scarpa, M.; Mazzali, U.; Peron, F., 2014: Modeling the energy performance of living walls: Validation against field measurements in temperate climate. *Energy and Buildings* (79): 155–163. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.04.014.
411. Malys, L.; Musy, M.; Inard, C., 2014: A hydrothermal model to assess the impact of green walls on urban microclimate and building energy consumption. *Building and Environment* (73): 187–197. DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.12.012.
412. LWG – Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, 2022b: Klima-Forschungs-Station – Pflanze trifft Bauwerk. Zugriff: <https://www.lwg.bayern.de/landespflege/gartendokumente/merkblaetter/192124/index.php> [abgerufen am 14.06.2023].

413. FBB – Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V., 2022: Grüne Innovation Fassadenbegrünung. Online verfügbar unter <https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Fassadenbegrueunung/FBB-Fassadenbegrueunung.pdf> [abgerufen am 04.09.2023].
414. Ponweiser, D., 2021: Einsatz von Nutzpflanzen bei Fassaden- und Dachbegrünung. Wien.
415. Böll, S.; Mahsberg, D., 2019: Projektsteckbrief „Vergleichende Untersuchungen zum Einsatz gebietsfremder und heimischer Stadtklimabäume“. Zugriff: [https://www.zsk.tum.de/fileadmin/w00bqp/www/PDFs/TP5/Steckbrief\\_TP5f.pdf](https://www.zsk.tum.de/fileadmin/w00bqp/www/PDFs/TP5/Steckbrief_TP5f.pdf) [abgerufen am 14.02.2023].
416. Schönfeld, P.; Böll, S.; Körber, K., 2021: Stadtgrün 2021 - Neue Bäume braucht das Land. Zugriff: [https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflge/dateien/lwg\\_stadtgruen\\_falzflyer\\_bf.pdf](https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflge/dateien/lwg_stadtgruen_falzflyer_bf.pdf) [abgerufen am 14.02.2023].
417. Stratópoulos, L. M. F.; Zhang, C.; Duthweiler, S.; Häberle, K.-H.; Rötzer, T.; Xu, C.; Pauleit, S., 2019b: Tree species from two contrasting habitats for use in harsh urban environments respond differently to extreme drought. *International journal of biometeorology*, 63. Jg. (2): 197–208. DOI: 10.1007/s00484-018-1653-9.
418. Rahman, M. A.; Moser, A.; Gold, A.; Rötzer, T.; Pauleit, S., 2018: Vertical air temperature gradients under the shade of two contrasting urban tree species during different types of summer days. *Science of the total environment* (633): 100–111. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.168.
419. Tröltzsch, J.; Görlach, B.; Lückge, H.; Peter, M.; Sartorius, C., 2012: Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Herausgeber: Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.
420. Zevenbergen, C.; Fu, D.; Pathirana, A. (Hrsg.), 2018: *Sponge cities: Emerging approaches, challenges and opportunities*. Basel, Beijing, Wuhan, Barcelona, Belgrade.
421. Sieker, 2022: Das Konzept der Schwammstadt (Sponge-city). Zugriff: <https://www.sieker.de/fachinformationen/umgang-mit-regenwasser/article/das-konzept-der-schwammstadt-sponge-city-577.html> [abgerufen am 18.02.2022].
422. Schwammstadt.at, 2022: Tatsachen: das Schwammstadt-Prinzip für Bäume. Zugriff: <https://www.schwammstadt.at/tatsachen> [abgerufen am 18.02.2022].
423. Hoyer, J.; Dickhaut, W.; Kronawitter, L.; Weber, B., 2011: *Water Sensitive Urban Design: Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future*. Berlin.
424. Brombach, H.; Dettmar, J., 2019: Im Spiegel der Statistik: Abwasserkanalisation und Regenwasserbehandlung in Deutschland. *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall*, 66. Jg. (5): 354–364.
425. Erlwein, S.; Rosenberger, L.; Linke, S.; Zölch, T.; Wirth, V.; Timmermann, A., 2021b: Potenziale von grüner Infrastruktur für ein nachhaltiges Starkregenmanagement. Factsheet Grüne Stadt der Zukunft 01.
426. BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2022: *Starkregeneinflüsse auf die bauliche Infrastruktur*. Unter Mitarbeit von Bernhard Fischer. 2., erweiterte Auflage. Bonn.
427. BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.), 2015: *Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung. Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte*. Bonn.
428. Wainwright, H. M.; Flores Orozco, A.; Bücken, M.; Dafflon, B.; Chen, J.; Hubbard, S. S.; Williams, K. H., 2016: Hierarchical Bayesian method for mapping biogeochemical hot spots using induced polarization imaging. *Water Resources Research*, 52. Jg. (1): 533–551. DOI: 10.1002/2015WR017763.
429. Flores Orozco, A.; Bücken, M.; Steiner, M.; Malet, J.-P., 2018: Complex-conductivity imaging for the understanding of landslide architecture. *Engineering Geology* (243): 241–252. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.07.009.
430. Umweltbundesamt, 2020: Klimafitte Stadtbäume und das Schwammstadtprinzip. Zugriff: <https://www.klimawandelanpassung.at/newsletter/kwa-nl45/kwa-klimafittestadtbaeume> [abgerufen am 18.06.2021].

431. Stadt Wien, 2019: „Schwammstadt“ macht Bäume für den Klimawandel fit. Zugriff: <https://www.wien.gv.at/umwelt/coolswien/schwammstadt.html> [abgerufen am 18.02.2022].
432. science.ORF.at, 2019: Die Schwammstadt lässt Bäume wachsen. Zugriff: <https://science.orf.at/v2/stories/2966570/> [abgerufen am 15.06.2023].
433. Klimawandelanpassung.at, 2022: Die Innovation für Stadtbäume: das Schwammstadt-Prinzip. Umweltbundesamt GmbH Wien, Österreich. Zugriff: <https://www.klimawandelanpassung.at/newsletter/kwa-nl42/kwa-schwammstadtprinzip> [abgerufen am 15.02.2022].
434. Österreichische Gesellschaft für Landschaftsarchitektur, 2022: Schwammstadt. Zugriff: <https://hauserlandschaft.org/arbeitskreis-schwammstadt/> [abgerufen am 04.09.2023].
435. Stadt Zürich, 2020: Hitzeminderung: Stadt Zürich testet Elemente der Schwammstadt - Stadt Zürich. Zugriff: <https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/departement/medien/medienmitteilungen/2020/dezember/201203a.html> [abgerufen am 18.02.2022].
436. Flade, A. (Hrsg.), 2019: Zurück zur Natur? Erkenntnisse und Konzepte der Naturpsychologie. Wiesbaden.
437. Umweltbundesamt, 2021c: Naturbasierte Lösungen für klimaresiliente europäische Städte. Zugriff: <https://www.umweltbundesamt.de/naturbasierte-loesungen-fuer-klimaresiliente#undefined> [abgerufen am 14.02.2023].
438. Öko-Institut e.V., 2022: Nature-based solutions and global climate protection. Zugriff: <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/nature-based-solutions-and-global-climate-protection> [abgerufen am 14.02.2023].
439. Hanning, M., 2006: Wie viel „Wildnis“ ist erwünscht? Zur Akzeptanz von Sukzession auf städtischen und stadtnahen Flächen. *Stadt + Grün*, 55. Jg. (1): 36–42.
440. Henninger, S., 2011: *Stadtökologie: Bausteine des Ökosystems Stadt*. Paderborn.
441. BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2019: Masterplan Stadtnatur. Zugriff: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Naturschutz/masterplan\\_stadtnatur\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/masterplan_stadtnatur_bf.pdf) [abgerufen am 08.03.2023].
442. Piana, M. R.; Aronson, M. F. J.; Pickett, S. T. A.; Handel, S. N., 2019: Plants in the city: understanding recruitment dynamics in urban landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17. Jg. (8): 455–463. DOI: 10.1002/fee.2098.
443. Sieber, S., 2020: Grün statt Grau: Klimaanpassung und Stadtnatur – ein Thema für Gewerbegebiete. *Stadt + Grün*, 69. Jg. (6): 32–36.
444. Williams, S. E.; Shoo, L. P.; Isaac, J. L.; Hoffmann, A. A.; Langham, G., 2008: Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change. *PLoS Biology*, 6. Jg. (12): 2621–2626. DOI: 10.1371/journal.pbio.0060325.
445. BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2009: Renaturierung als Strategie nachhaltiger Stadtentwicklung. Ergebnisse des Forschungsprojektes. *Praxis* (62). Bonn.
446. BUND - BUND für Naturschutz und Umwelt in Deutschland, 2021b: Stadtnatur – grüne Freiräume schaffen. Zugriff: <https://www.bund.net/themen/naturschutz/stadtnatur-gruene-freiraume-schaffen/> [abgerufen am 18.05.2021].
447. Böll, S.; Mahsberg, D.; Albrecht, R.; Peters, M. K., 2019: Urbane Artenvielfalt fördern: Arthropodenvielfalt auf heimischen und gebietsfremden Stadtbäumen. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 51. Jg. (12): 576–583.

448. Klimagärten - Klimakampagne der Berliner Gartenfreunde, 2022: Vom Kleingarten zur grünen Klimaoase. Zugriff: <https://www.klimagaerten.de/wissenschaftliche-basis/vom-kleingarten-zur-gruenen-klimaoase/15> [abgerufen am 08.02.2022].
449. Gloor, S.; Hofbauer, M. G., 2018: Der ökologische Wert von Stadtbäumen bezüglich der Biodiversität. *Jahrbuch der Baumpflege*: 33–48.
450. Dettmar, J., 2005: Wild Urban Woodlands- New Perspectives for Urban Forestry. *Forests for Shrinking Cities? The Project „Industrial Forests of the Ruhr“*: 263–276.
451. Sjöman, H.; Morgenroth, J.; Sjöman J. D.; Saebo, A.; Kowarik, I., 2016: Diversification of the urban forest - Can we afford to exclude exotic tree species? *Urban Forestry & Urban Greening* (18): 237–241.
452. Hansen, R.; Heidebach, M.; Kuchler, F.; Pauleit, S., 2012: Brachflächen im Spannungsfeld zwischen Naturschutz und baulicher Wiedernutzung. *Bfn-Skripten* (324). Bonn- Bad Godesberg .
453. Köhler, R., 1998: Tierökologische Untersuchungen an Brachflächen im östlichen Ruhrgebiet. *Stadtbiotopkartierung* (2): 22–34.
454. Mathey, J.; Kochan, B.; Stutzriemer, S., 2000: Ökologische Potenziale städtischer Industriebrachen und Möglichkeiten ihrer Einbindung in Biotopverbundsysteme. Dresden.
455. Zimmermann, P., 1987: Dachbegrünung Eine ökologische Untersuchung auf Kiesdach, extensiv und intensiv begrünten Dächern. Veröffentlichung für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden Württemberg (62): 545–547.
456. Mann, G., 1996. Dachbegrünungen als ökologische Ausgleichsflächen. Faunistische Untersuchung von drei Dachbegrünungen in Linz. *Zeitschrift für Ökologie, Natur- und Umweltschutz*, 13. Jg. (3): 3–14.
457. Bundeszentrale für politische Bildung, 2022: Stadt und/oder Natur? Bundeszentrale für politische Bildung, 02. Januar.
458. Knapp, S.; Dinsmore, L.; Fissore, C.; Hobbie, S. E.; Jakobsdottir, I.; Kattige, J.; King, J. Y.; Klotz Stefan; McFadden, J. P.; Cavender-Bares, J., 2012: Phylogenetic and functional characteristics of household yard florae and their changes along an urbanization gradient. *Ecology*, 93. Jg. (8): 83–98.
459. Kratochwil, A., 1996: Zur Gültigkeit der Inseltheorie bei Festland-Ökosystemen: eine kritische Betrachtung für den Naturschutz. *Braunschweiger Geobotanische Arbeiten* (5): 7–37.
460. Roloff, A., 2016: Verwendung nichtheimischer Baumarten in der Stadt und als Straßenbäume in Jena. In: *Stadt Jena (Hrsg.): Bäume in Jena – Stadt- und Straßenbäume im Klimawandel / Stadtbaumkonzept. Schriften zur Stadtentwicklung* (7): 36–45.
461. Mathey, J.; Rößler, S.; Lehmann, I.; Bräuer, A.; Goldberg, V.; Kurbjuhn, C.; Westbeld, A., 2012: Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel. *NaBiV – Naturschutz und Biologische Vielfalt* (111).
462. Staak, A., 2015: Lebe schnell, stirb jung. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ. Zugriff: <https://www.ufz.de/index.php?de=35372> [abgerufen am 18.05.2021].
463. Mell, I. C., 2010: Green infrastructure: concepts, perceptions and its use in spatial planning. Newcastle University.
464. Amati, M.; Taylor, L., 2010: From Green Belts to Green Infrastructure. *Planning Practice & Research*, 25. Jg. (2): 143–155. DOI: 10.1080/02697451003740122.
465. Tan, P. Y.; Jim, C. (Hrsg.), 2017: Greening cities. Forms and functions. Singapore: Springer. *Advances in 21st Century Human Settlements*.

466. Ecolonia, 2022: Grünsystem Köln. unantastbares Stadtkulturerbe. Zugriff: <https://www.koeln4.de/s/eco/p/gruensystem.php> [abgerufen am 18.02.2022].
467. BMWSB – Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, 2018: Bundespreis Stadtgrün 2022: Extensive Grünflächen: nachhaltig, biodivers und klimaangepasst. Zugriff: <https://bundespreis-stadtgruen.de/startseite/wettbewerb/> [abgerufen am 12.07.2021].
468. Rupp, J.; Schmitz, J.; Jean-Louis, G.; Linke, S.; Putz, A., 2021a: Gemeinschaftliche Finanzierung von grünen, lebenswerten Stadtquartieren. Grüne Stadt der Zukunft: klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt. Factsheet 03.
469. Schöpflin, P.; Young, C.; Rupp, J.; Putz, A.; Linke, S., 2021b: Engagement und Potential von Unternehmen bei der Gestaltung von Stadtgrün. Grüne Stadt der Zukunft: klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt. Factsheet 04.
470. Welling, M.; Hirsch, I.; Linke, S.; Zölch, T.; Bauer, A.; Mittermüller, J., 2021c: Potenziale des Münchner Grüngürtels für die klimaresiliente Stadtentwicklung. Grüne Stadt der Zukunft: klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt. Factsheet 02.
471. NDR, 2021: Den Garten dem Klimawandel anpassen. Zugriff: <https://www.ndr.de/ratgeber/garten/Den-Garten-dem-Klimawandel-anpassen,klimawandel380.html> [abgerufen am 12.07.2021].
472. White, E. V.; Gatersleben, B., 2010: Greenery on residential buildings: Does it affect preferences and perceptions of beauty? *Journal of Environmental Psychology*, 31. Jg. (1): 89–98.
473. Goldstein, P., 2022: Trotz Protest: Baumfällung in Friedrichshain hat begonnen. *Berliner Morgenpost*, 11. Januar.
474. Anstiftung.de, 2022: Urbane Gärten. Zugriff: <https://anstiftung.de/praxis/urbane-gaerten> [abgerufen am 23.02.2022].
475. Feldmann, F.; Röther, S.; Quambusch, M.; Vogler, U., 2021: Ebenen des Stadtgrünwissens bei der Planung des multifunktionalen, inklusiven Gemeinschaftsgartens „Ludwigsgarten Braunschweig“. *Journal für Kulturpflanzen*, 73. Jg. (11-12): 364–375. DOI: 10.5073/JfK.2021.11-12.03.
476. Johnson, P., 2018: Heterotopia and gardens – *Heterotopian Studies*. Zugriff: [https://www.researchgate.net/publication/263155376\\_The\\_Geographies\\_of\\_Heterotopia](https://www.researchgate.net/publication/263155376_The_Geographies_of_Heterotopia) [abgerufen am 04.09.2023].
477. Incredible Edible Todmorden, 2022: The Future Of Local Food In Todmorden. Zugriff: <https://www.incredible-edible-todmorden.co.uk/> [abgerufen am 24.02.2022].
478. Stadt Andernach, 2022: Essbare Stadt Andernach. Zugriff: <https://www.andernach.de/stadt/essbare-stadt/> [abgerufen am 24.02.2022].
479. Stadt Kassel, 2022: Essbare Stadt Kassel. Zugriff: <https://essbare-stadt.de/wp/> [abgerufen am 23.02.2022].
480. Wissenschaftenwandeln, 2022: Essen wird essbar! – WissenSchaffenWandeln. Zugriff: <https://www.uni-due.de/ifn/wissenschaftenwandeln.php> [abgerufen am 04.09.2023].
481. Feldmann, F.; Bao, F.; Bothe, S.; Bücken, M.; Jow, H.; Krüger, N.; Röther, S.; Senfleben, C.; Südwold, M., 2023a: Stadtgrünwissen partizipativ auf dem 1. Braunschweiger Stadtgrüntag: Wasser in Garten und Stadt. *Journal für Kulturpflanzen*, 75. Jg. (1-2): 60–65 DOI: 10.5073/JFK.2023.01-02.08.
482. Feldmann, F.; Bloem, E.; Dirksmeyer, W.; Golla, B.; Greef, J. M.; Piorr, A.; Saltzmann, J.; Vogler, U., 2023b: Definition gebräuchlicher Begriffe der urbanen Landwirtschaft und englischer Entsprechungen. *Journal für Kulturpflanzen*, 75. Jg. (1-2): 2–8 .DOI: 10.5073/JFK.2023.01-02.02.
483. Feldmann, F.; Piorr, A.; Vogler, U., 2023c: Die Formen der urbanen Landwirtschaft in Deutschland. *Journal für Kulturpflanzen*, 75. Jg. (1-2): 9–36. DOI: 10.5073/JFK.2023.01-02.03.

484. Feldmann, F.; Quambusch, M.; Vogler, U., 2023d: Urbane Landwirtschaft in der grünen Infrastruktur: Bericht vom 12. Fachsymposium Stadtgrün. *Journal für Kulturpflanzen*, 75. Jg. (1-2): 55–59. DOI: 10.5073/JFK.2023.01-02.07.
485. Stierand, P., 2006: Das Nahrungssystem der Stadt: Lebensmittel als neue Perspektive in der Stadtentwicklung. *RaumPlanung* (129): 265–269.
486. Stierand, P., 2008: Stadt und Lebensmittel: Die Bedeutung des städtischen Ernährungssystems für die Stadtentwicklung. Dissertation. Technische Universität Dortmund. Dortmund.
487. United Nations, 2016: Neue Urbane Agenda. Quito. Zugriff: [www.habitat3.org](http://www.habitat3.org) [abgerufen am 23.02.2022].
488. Deutscher Städtetag, 2021: Positionspapier Urbane Landwirtschaft. Berlin, Köln.
489. Stierand, P., 2014: Speiseräume. Die Ernährungswende beginnt in der Stadt. Berlin.
490. Milan Urban Food Policy Pact, 2021: Cities - Milan Urban Food Policy Pact. Zugriff: <https://foodtrails.milanurbanfoodpolicypact.org/cities/> [abgerufen am 11.02.2022].
491. Herzog, C. P., 2013: A multifunctional green infrastructure design to protect and improve native biodiversity in Rio de Janeiro. *Landscape and Ecological Engineering*, 12. Jg. (1): 141–150. DOI: 10.1007/s11355-013-0233-8.
492. Lin, B. B.; Philpott, S. M.; Jha, S.; Liere, H., 2017: Urban Agriculture as a Productive Green Infrastructure for Environmental and Social Well-Being. In: Tan, P. Y.; Jim C. Y. (Hrsg.): *Greening cities: Forms and functions*. Singapore: 155–179.
493. Gallo P; Casazza, C.; Sala, M., 2016: Performances and potential of a productive urban green infrastructure. *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment* (11): 104–112. DOI: 10.13128/Techne-18408.
494. Bohn, K.; Chu, D., 2021: Food-productive green infrastructure: Enabling agroecological transitions from an urban design perspective. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, 6. Jg. (1). DOI: 10.1002/uar2.20017.
495. Martens, J.; Obenland, W., 2017: Die Agenda 2030: Globale Zukunftsziele für nachhaltige Entwicklung. Herausgeber: Global Policy Forum; terre des hommes. Vollständig aktualisierte und überarbeitete Neuauflage. Bonn, Osnabrück.
496. BGL – Bundesverband Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau e.V., 2022: Charta Zukunft Stadt und Grün. Zugriff: <https://die-gruene-stadt.de/ueber-uns/charta/> [abgerufen am 24.02.2022].
497. Stratmann, F., 2018: gtp2 in China – Contract for the German contribution to the horticultural EXPO 2019 in Beijing. gtp2 architekten | düsseldorf, 03. Juli.
498. China Flower Association & Beijing International Horticultural Exhibition Coordination Bureau, 2020: Final Report on the International Horticultural Exhibition 2019, Beijing, China. Zugriff: <https://aiph.org/expo-2019-beijing-china/> [abgerufen am 24.02.2022].
499. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen, 2010: Ökologisches Bauen / Ökologische Gebäudekonzepte. Zugriff: [https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches\\_bauen/](https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/) [abgerufen am 17.02.2022].
500. Feldmann, F.; Vogler, U., 2021: Towards sustainable performance of urban horticulture: ten challenging fields of action for modern integrated pest management in cities. *Journal of plant diseases and protection*, 128. Jg. (1): 55–66. DOI: 10.1007/s41348-020-00379-x.
501. Feng, H.; Hewage, K., 2014: Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings. *Energy and Buildings* (75): 281–289.

502. Price, A., Jones, E.C., Jefferson, F., 2015: Vertical Greenery Systems as a Strategy in Urban Heat Island Mitigation. *Water, Air, & Soil Pollution* (226).
503. Köhler, M., Schmidt, M., Laar, M., Wachsmann, U., Krauter, S., 2002: Photovoltaic-panels on greened roofs: positive interaction between two elements of sustainable architecture. RIO 02 - World Climate & Energy Event.
504. Hui, S.; Chan, S. C., 2011: Integration of green roof and solar photovoltaic systems. Joint Symposium 2011: Integrated Building Design in the New Era of Sustainability 2011: 1–12.
505. Lamnatou, C.; Chemisana, D., 2015: A critical analysis of factors affecting photovoltaicgreen roof performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (43): 264–280.
506. Hegger, M., 2012: UrbanReNet. Vernetzte regenerative Energiekonzepte im Siedlungs- und Landschaftsraum. Schlussbericht.
507. FBB – Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V., 2006: Kombinationslösungen Dachbegrünung - Photovoltaik - Brauchwassernutzung. Zugriff: [https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Dachbegruenung/FBB-Photovoltaik\\_und\\_Zisterne.pdf](https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Dachbegruenung/FBB-Photovoltaik_und_Zisterne.pdf) [abgerufen am 02.03.2023].
508. Genske, D. D.; Jödecke, T.; Ruff, A., 2008: Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energien: Darstellung von Handlungsebenen und verfügbaren Instrumenten. Bonn.
509. Lehmann, I.; Scharte, K., 2012: Energieerzeugung aus städtischer Biomasse: Fallbeispiel: Stadt Dresden. *PlanerIn* (1): 43–44.
510. Feldmann, F., 2019: Vielschichtige Wechselwirkungen im urbanen Grün: „Beziehungskisten“. Tagungsbericht der urbane Pflanzen Konferenz. *Phytomedizin*, 49. Jg. (3).
511. Technische Universität München, 2021: Grüne Stadt der Zukunft. Klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt. Zugriff: <https://www3.ls.tum.de/lapl/forschung/gruene-stadt-der-zukunft/> [abgerufen am 09.11.2021].
512. Staak, A., 2016: Presse - Blau-grüne Infrastrukturen für ein neues, ressourceneffizientes Stadtquartier. Zugriff: [https://www.ufz.de/index.php?de=36336&webc\\_pm=05/2021](https://www.ufz.de/index.php?de=36336&webc_pm=05/2021) [abgerufen am 18.05.2021].
513. Lenke, S.; Putz, A., 2021: Grüne Stadt der Zukunft- Klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt. Die Planung einer grünen Stadt der Zukunft (1).
514. Skiba, A., 2021: Grüne Stadt der Zukunft- Klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt. Einleitung und Synthese.
515. Haury, S.; Dosch, F., 2022: Neues Stadtgrün – vielseitiger Nutzen. *IzR – Informationen zur Raumentwicklung*, 49. Jg. (2): 48–63.
516. BMWSB – Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, 2020: Neue Leipzig Charta. Die transformative Kraft der Städte für das Gemeinwohl. Zugriff: [https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/wohnen/neue-leipzig-charta-2020.pdf;jsessionid=E2028787CA4618AEC2D8B152F7090BA2.2\\_cid332?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/wohnen/neue-leipzig-charta-2020.pdf;jsessionid=E2028787CA4618AEC2D8B152F7090BA2.2_cid332?__blob=publicationFile&v=2) [abgerufen am 19.04.2023].
517. Quambusch, M.; Strohbach, M.; Hörmann, V.; Rutikanga, A.; Preidl, S.; Shrestha, N.; Strassemeyer, J.; Dahal, S.; Golla, B.; Beyer, M.; Gerchow, M.; Bücken, M.; Hoppenbrock, J.; Feldmann, F., 2023: Entwicklung eines Verfahrens für die klimawirksame Gestaltung der multifunktionalen, urbanen grünen Infrastruktur – (CliMax)“. Auftaktveranstaltung des multidisziplinären Forschungsprojektes „Maximierung der Kohlenstoffsequestrierung in Stadtbäumen. *Journal für Kulturpflanzen*, 75. Jg. (1-2): 66–71. DOI: 10.5073/JFK.2023.01-02.09.





