

# **Fassadenbegrünung**

Auswirkung auf Wärmeschutz, Schallschutz und Mikroklima

## **Greening of house fronts**

Their effects on thermal protection, noise control and microclimate

### **Bachelorarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades

### **Bachelor of Science in Engineering (BSc)**

der Fachhochschule FH Campus Wien

Bachelorstudiengang: Architektur – Green Building

#### **Vorgelegt von:**

Pauline Anna Krizmanich

#### **Personenkennzeichen**

1710733025

#### **Erstbegutachter:**

Dipl.- Ing. Tobias Steiner

#### **Eingereicht am:**

10.07.2019

Erklärung:

Ich erkläre, dass die vorliegende Bachelorarbeit von mir selbst verfasst wurde und ich keine anderen als die angeführten Behelfe verwendet bzw. mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

Ich versichere, dass ich dieses Bachelorarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Weiters versichere ich, dass die von mir eingereichten Exemplare (ausgedruckt und elektronisch) identisch sind.

Datum: .....10.07.19.....

Unterschrift: *Pauline Krizmanich*.....

## **Kurzfassung**

In der folgenden Bachelorarbeit wird das Thema Fassadenbegrünung und ihre Wirkung auf die Umgebung (Mikroklima) und den Innenraum behandelt. Zu Beginn werden die verschiedenen Begrünungstechniken, deren Eigenschaften und Voraussetzungen beschrieben. Im Weiteren wird auf die Wirkungen der vertikalen Begrünungen eingegangen.

Ein großer Schwerpunkt, welcher in der Arbeit behandelt wird, ist der Wärmeschutz von Fassadenbegrünungen, die Auswirkung auf das Mikroklima und welche Vorgänge für die klimatischen Effekte der Begrünung zuständig sind.

Neben dem Wärmeschutz behandelt die folgende Arbeit auch die Luftqualität und den Schall in Städten und ob die Fassadenbegrünung wirksam in diesen Bereichen ist.

Abschließend werden die bedeutendsten Herausforderungen für eine funktionierende Fassadenbegrünung genannt und analysiert. Hier wird auf Kosten, Pflege und Wartung und möglicherweise aufkommende Schäden und deren Ursachen eingegangen.

## **Abstract**

This thesis deals with the topic greening of facades and their effect on the environment (microclimate) and the interior. At the beginning, there is some information about the different options of green facades, and their different characteristic features.

Moreover, the effects of vertical greening will be discussed.

A major focus of this thesis is the thermal insulation of green facades, the impact on the microclimate and which processes are responsible for the climatic effects of the greening.

In addition to the thermal insulation, the following work also deals with the air quality and the sound in cities and whether the facade greening is effective in these subjects.

In the end the work there is some information of the challenge of a well functioning green facade. So the last part includes the costs incurred, care and maintenance, and the potential damage caused by them.

## Schlüsselbegriffe

<u>Schlüsselworte</u>	<u>Keywords</u>
bodengebundene Fassadenbegrünung	climbing facade
Evapotranspiration	evapotranspiration
Fassadenbegrünung	facade greening
Mikroklima	microclimate
wandgebundene Fassadenbegrünung	facade integrated greenwalls
Wärmeschutz	thermal insulation

# Inhaltsverzeichnis

<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>SCHLÜSSELBEGRIFFE</b> .....	<b>V</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>VI</b>
<b>1. EINLEITUNG</b> .....	<b>8</b>
1.1. <b>Geschichtliche Entwicklung</b> .....	<b>8</b>
1.2. <b>Aktueller Forschungsstand</b> .....	<b>10</b>
<b>2. FASSADENBEGRÜNUNG</b> .....	<b>11</b>
2.1. <b>Bodengebundene Fassadenbegrünung</b> .....	<b>12</b>
2.1.1.  Ohne Kletterhilfe .....	13
2.1.2.  Mit Kletterhilfe .....	14
2.2. <b>Autarke Fassadenbegrünung</b> .....	<b>16</b>
2.2.1.  Flächige Fassadenbegrünung.....	17
2.2.2.  Modulare Fassadenbegrünung .....	18
2.2.3.  Lineare Fassadenbegrünung .....	19
<b>3. FASSADENBEGRÜNUNG – QUALITÄT IM UMFELD</b> .....	<b>21</b>
3.1. <b>Temperatur</b> .....	<b>21</b>
3.1.1.  Mikroklima.....	21
3.1.2.  Wirkung von Fassadenbegrünung .....	27
3.2. <b>Luft</b> .....	<b>33</b>
3.3. <b>Schall</b> .....	<b>37</b>
<b>4. FASSADENBEGRÜNUNG – QUALITÄT IM INNENRAUM</b> .....	<b>39</b>
4.1. <b>Allgemeine Wirkung auf den Innenraum</b> .....	<b>39</b>
4.2. <b>Wärmeschutz</b> .....	<b>39</b>
4.2.1.  Verschattung.....	40
4.2.2.  Verdunstung.....	41
4.2.3.  Pufferzone.....	42
<b>5. HERAUSFORDERUNGEN VON FASSADENBEGRÜNUNGEN</b> .....	<b>45</b>
5.1. <b>Kosten</b> .....	<b>45</b>
5.2. <b>Wartung und Pflege</b> .....	<b>46</b>
5.3. <b>Schäden</b> .....	<b>47</b>
<b>6. ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>49</b>

QUELLENVERZEICHNIS .....	50
--------------------------	----

# 1. Einleitung

Die in der Arbeit behandelte Materie ist ein sehr aktuelles Thema, welches durch die positiven Effekte eine adaptive Reaktion auf den Klimawandel darstellt.

Durch den Klimawandel und die Urbanisierung sinkt durch erhöhte Temperaturen und mehr Hitzetagen die Lebensqualität in Städten. Vertikale Begrünungen der Hauswände können die negativen Effekte der anthropogen verursachten Überhitzung in Städten reduzieren, schaffen eine höhere Lebensqualität und können somit vielen in der Stadt lebenden Menschen den Alltag erleichtern. Durch die weiterhin steigende Anzahl an Stadtbewohner/innen steigt auch die Anzahl der betroffenen Personen.

Wodurch diese Steigerung der Lebensqualität durch die Begrünung in Städten erreicht wird und wie es zu dem heutigen Stand kam, wird im Folgenden erklärt.

## 1.1. Geschichtliche Entwicklung

Die Bedeutung und Technik von Fassadenbegrünung geht über Tausende von Jahren zurück und hatte in den verschiedensten Kulturen unterschiedliche Werte und Statussymbole.

Von Begrünungen in Städten bzw. im Wohngebiet spricht man erstmals im alten Babylon und somit schon ab etwa 3000 vor Christus. In dieser Kultur kamen Pflanzen vor allem im Sinne von hängenden Gärten zur Anwendung.

Bei den Römern wurde vermehrt Wein als Kletterpflanze verwendet, wodurch auch die heute noch sehr populären Weinlauben entstanden sind.<sup>1</sup>

Ab der ersten Verwendung in Babylon fand die Begrünung zwar in diversen Hochkulturen ihre Anwendung, es kam jedoch nicht zu großartigen Entwicklungen, die langzeitige Folgen mitbrachten. Weiterhin wurden je nach Kultur Lauben, Gänge, Gräber und eher selten Wände begrünt.

---

<sup>1</sup> Hopkins, Graeme/ Goodwin, Christine: Living Architecture: Green Roofs and Walls.1. Auflage. Collingwood: CSIRO Publishing 2011. S.12

Ab dem 17. Jahrhundert wurden diverse Pflanzenarten aus Amerika und etwas später auch aus Asien nach Europa gebracht, wodurch eine weitaus größere Pflanzenvielfalt entstanden ist. Zu dieser Zeit wurde auch vermehrt damit begonnen Architektur zu begrünen. Die Begrünung von Bauwerken war jedoch dem Adel und Wohlstand vorbehalten und fand bis zum Ende des 19. Jahrhunderts im bürgerlichen Raum keine Anwendung. Daher wurden ausschließlich Schlösser, Villen und viele weitere Gebäude, die Macht repräsentierten, begrünt. Für die Begrünung wurden häufig Kletterpflanzen verwendet.

Ab dem 20. Jahrhundert kam es zu einer Wende der Symbolik von Begrünungen an Bauwerken, es wurden nun auch Gebäude des Bürgertums begrünt, somit war die Begrünung nicht mehr ausschließlich dem Adel vorbehalten. Für das Bürgertum nutzte man häufig Spalierobst, welches auch zur Nahrungsversorgung diente. Klimatischen und energietechnischen Perspektiven der Begrünung wurden zu dieser Zeit noch keine Aufmerksamkeit geschenkt. Erst in den 80ern wurde begonnen, sich mit Fassaden- und Bauwerksbegrünung in diesem Kontext auseinanderzusetzen. In dieser Zeit kam es durch mangelnde Forschung und somit mangelndem Wissen häufig zu Schäden der Architektur, wodurch bis heute noch Vorurteile gegenüber Fassadenbegrünung herrschen.<sup>2</sup> Jedoch hat ab dieser Zeit die Forschung erheblich zugenommen und es wurde somit auch weitaus mehr Literatur zu diesem Thema veröffentlicht.<sup>3</sup> Ein großer Schritt in der Geschichte war die Entwicklung der wandgebundenen Vertikalbegrünung, wodurch die Begrünung weitaus vielfältiger eingesetzt werden kann.

Experimente und Forschungen dutzender über die Jahre beteiligter Personen in den verschiedensten Bereichen der Technik und Naturwissenschaften hat die Fassadenbegrünung weiterentwickelt.

---

<sup>2</sup> Finke, Cerstin/ Osterhoff, Julia: Fassaden begrünen. 1. Auflage. Taunusstein: Eberhard Blottner Verlag 2001. S.7ff.

<sup>3</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.18

## 1.2. Aktueller Forschungsstand

Begrünung in Städten ist durch den Klimawandel und die Urbanisierung ein sehr wichtiges und global behandeltes Thema. Bei Entwicklungen, Projekten und Forschungen bezüglich Fassadenbegrünung steht Europa an der Spitze. In Österreich herrscht ein sehr starkes Engagement für Fassadenbegrünung. Immer mehr Firmen und Vereinigungen beschäftigen sich mit dem Thema und entwickeln so neue Techniken und Projekte.

In Wien forcieren Vereinigungen wie der „GRÜNSTATTGRAU“- Verband für Bauwerksbegrünung oder die Umweltschutzvereinigung (Magistratsabteilung 22) die Bewohner/innen über Fassadenbegrünung aufzuklären und zu unterstützen. Parallel zur Information der Bürger sind viele dieser Vereine auch in der Forschung tätig und entwickeln kostengünstige und innovative Begrünungstechniken. Durch sie gibt es zahlreiche Förderprogramme, welche durch finanzielle Mittel das Begrünen von Häusern unterstützen. Ein aktuelles Projekt (im August 2019 die ersten Realisierungen) ist z.B. „50 grüne Häuser“. In diesem Projekt sollen 50 begrünte Häuser Klima und Luftqualitäten in Bereichen des 10. Bezirks (Favoriten) aufwerten. Für das Projekt können sich Mieter/innen, Hausbewohner/innen und Verwaltungen bewerben. Die Bewerbung war bis 31. Mai möglich. Anschließend werden 50 Häuser ausgewählt, bei denen die für die Planung und Umsetzung anfallenden Kosten übernommen werden. Die Bewohner/innen müssen ausschließlich die Kosten für die Pflege übernehmen, wobei ihnen zu Beginn eine kostenlose Einschulung durch die Organisation des Projekts bereitgestellt wird. Weiters soll es sich für die Pflege um einen monatlich finanziellen Aufwand von in etwa 25 € handeln.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Stadt Wien: Gratis Fassadenbegrünung für 50 Häuser. In: <https://www.stadt-wien.at/wien/news/fassadenbegruenung-favoriten.html> (letzter Zugriff: 08.06.19)

## 2. Fassadenbegrünung

Aufgrund der Biodiversität steht eine Vielfalt an Pflanzen zu Verfügung, welche sich zur Fassadenbegrünung eignen.

Da jede Pflanzenart eigene Eigenschaften und Anforderungen hat, müssen die verschiedenen Arten gesondert behandelt werden. Entscheidende Unterschiede sind z.B. die Menge an Wasser- oder Nährstoffversorgung.

Weiters differenzieren sich Pflanzenarten in ihrem Wachstumsverhalten. Beispielsweise brauchen einige Gewächse mehrere Jahre bis sie eine dichte Ebene bilden, während andere mit wenigen Jahren auskommen.

Ein weiteres wichtiges Merkmal ist das Verhalten der Begrünung je nach Jahreszeit. Daher unterscheidet man immergrüne, sommergrüne und wintergrüne Gewächse. Während eine Pflanze mit einer sommergrünen Belaubungsphase ausschließlich im Sommer Laub trägt, trägt jene Pflanze, die als Wintergrün bezeichnet wird, im Winter Blätter. Eine immergrüne Bepflanzung verliert ihre Blätter in keiner Jahreszeit und trägt somit das ganze Jahr über Laub. Dies sind sehr wichtige Eigenschaften für die Anwendung von Begrünung an Gebäuden.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.67

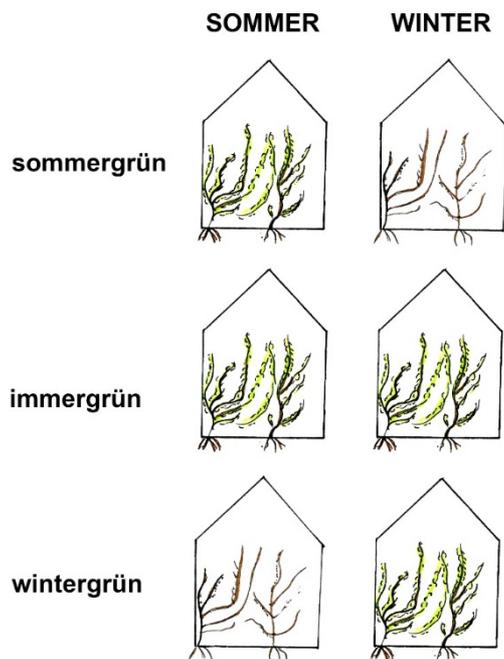


Abb. 1: Einteilung der Pflanzen nach Jahreszeiten

Es gibt zahlreiche weitere Faktoren, welche bei der Begrünung von Fassaden eine große Rolle spielen. Für eine funktionierende Begrünung müssen diese Faktoren so koordiniert werden, dass ein möglichst effektives und innovatives Ergebnis erreicht wird.<sup>6</sup>

Unter den zahlreichen Möglichkeiten von Einteilungen gibt es eine, die bei der Fassadenbegrünung von besonderer Bedeutung ist: Die Einteilung in bodengebundene und autarke Begrünung. Sie unterscheidet Pflanzen, die direkten Kontakt zum Boden haben, von Pflanzen, die durch spezielle Systeme direkt an der Fassade angebracht werden.<sup>7</sup>

## 2.1. Bodengebundene Fassadenbegrünung

<sup>6</sup> Finke, Cerstin/Osterhoff, Julia: Fassaden begrünen. 1. Auflage. Taunusstein: Eberhard Blottner Verlag 2001. S.23

<sup>7</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.14

Bei der bodengebundenen Fassadenbegrünung ist Voraussetzung, dass der Pflanze ein gewisser Bereich an fruchtbarem Boden zur Verfügung steht, in welchem sie ihre Wurzeln schlagen kann und wodurch sie ihren Wasser- und Nährstoffgehalt erhält.<sup>8</sup> Zusätzliche Wasserzufuhr ist häufig notwendig, da durch den mangelnden Niederschlag und die oft sehr geringe Fläche an speicherfähigem Boden der Wasserbedarf der Pflanze nicht gedeckt werden kann. In vielen Fällen ist die zusätzliche Wasserversorgung nicht dauerhaft notwendig, sondern bezieht sich auf sehr trockene Tage.<sup>9</sup>

Jedoch besteht bei vielen Gebäuden nicht die Möglichkeit auf einen fruchtbaren Boden zurückzugreifen, wo die Pflanze gedeihen kann. Hier ist die autarke Wandbegrünung von Vorteil, welche nicht auf den Boden zurückgreift aber ein wesentlich komplexeres System ist.

Bodengebundene Pflanzen können entweder völlig ohne Klettergerüst mit eigener Statik auskommen oder sie benötigen ein Klettergerüst, dies ist von der Pflanzenart abhängig.

### **2.1.1. Ohne Kletterhilfe**

Pflanzen, die keine Sekundärkonstruktion benötigen um eine Wand hinaufzuwachsen, nennt man Selbstklimmer.<sup>10</sup>

Voraussetzung für diese Pflanzen ist eine geeignete Oberfläche, welche eine gewisse Haftung gewährleistet.<sup>11</sup> Als Unterkonstruktion eignen sich alle Baumaterialien, die einen festen Untergrund für die Pflanze bieten, bei der sie durch ihre Haftung keine Schäden anrichten kann. Daher eignen sich Materialien wie Sand, bröckelnder Putz etc. nicht, da es hier zum Abbröckeln des Materials und somit zu

---

<sup>8</sup> Gonzalez, Silvia/ Heidenreich Wolfgang/ Schmidt Alexandra u.a.: Praxisratgeber Gebäudebegrünung. 1. Auflage. Andechs: Ulenspiegel Druck GmbH & Co KG 2015. S.15f.

<sup>9</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.1

<sup>10</sup> Seipel, Holger/ Schmitt, Jens/ Bietenbeck, Martin u.a.: Fachkunde- für Garten- und Landschaftsbau. 7. Auflage. Hamburg: Verlag Dr. Felix Büchner 2017. S. 456

<sup>11</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.72

Bauschäden kommen würde.<sup>12</sup> Glas- und Metalluntergründe eignen sich ebenfalls nicht, da die direkt angebrachte Pflanze durch den hohen Reflexionsgrad des Untergrundes unmittelbar einer enormen Hitze ausgesetzt ist.<sup>13</sup>

Die zu begrünende Fassade sollte keine Risse und Rillen aufweisen, da sich Selbstklimmer sehr gerne in kleine schattige Vertiefungen festsetzen, sich weiter ausbreiten und so enormen Bauschäden verursachen können.

Ein späteres Entfernen dieser Begrünung stellt sich im Allgemeinen als äußerst kompliziert heraus und ist in den meisten Fällen mit hohen Renovierungskosten verbunden.<sup>14</sup>

Jedoch handelt es sich bei dieser Begrünungsart um die kostengünstigste Variante, mit der am wenigsten Aufwand verbunden wird, was Errichtung und Pflege betrifft.

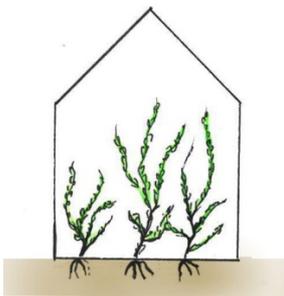


Abb. 2: Selbstklimmer

### 2.1.2. Mit Kletterhilfe

Es gibt verschiedene Arten von Pflanzen, welche eine Kletterhilfe benötigen. Diese Arten lassen sich in die 3 Kategorien, Ranker, Schlinger und Spreizklimmer einteilen.<sup>15</sup>

<sup>12</sup> Eberle, Janine: Fassadenbegrünung, Vorteile, Wissenswertes und praktische Beispiele. In: <https://www.naturundwirtschaft.ch/de/assets/Dateien/Bilder/Publikationen/Fassadenbegr%C3%BCnungJE.pdf> (letzter Zugriff: 18.04.19)

<sup>13</sup> Pitha, Ulrike/ Scharf, Bernhard/ Enzi, Vera u. a.: Leitfaden Fassadenbegrünung. 1. Auflage. Wien: AV+Astoria Druckzentrum GmbH 2013. S.27

<sup>14</sup> Eberle, Janine: Fassadenbegrünung, Vorteile, Wissenswertes und praktische Beispiele. In: <https://www.naturundwirtschaft.ch/de/assets/Dateien/Bilder/Publikationen/Fassadenbegr%C3%BCnungJE.pdf> (letzter Zugriff: 18.04.19)

Die Gerüste dieser drei Gruppen unterscheiden sich nach dem Wachstumsverhalten der jeweiligen Begrünung.<sup>16</sup>

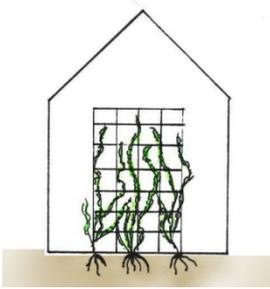
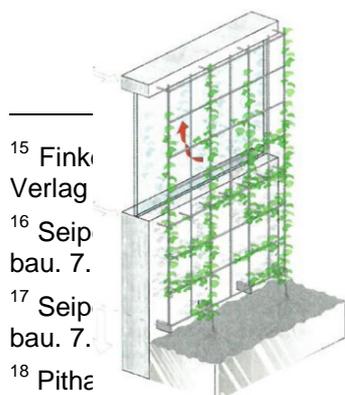


Abb. 3: Bodengebundene Fassadenbegrünung mit Klettergerüst

Während Pflanzen, die zu den Rankern zählen ein gitterartiges Gerüst mit dünnen Profilen benötigen, verlangen Schlinger ein vertikal ausgerichtetes Gerüst (nicht gitterartig), welches ein stärkeres Profil als bei den Rankern aufweist. Spreizklimmer brauchen eine Konstruktion, die eine hohe Anzahl an horizontalen Stäben hat und der Pflanze so ihren Halt bietet.<sup>17</sup>

Es gibt jedoch Anforderungen, die auf alle Pflanzen und deren Gerüste der 3 Kategorien zutreffen. Es ist darauf zu achten, dass zwischen Unterkonstruktion und Klettergerüst genügend Platz vorhanden ist, damit sich die Pflanze ungestört ausbreiten kann. Der Abstand richtet sich nach dem Wachstumsverhalten der jeweiligen Pflanze.

Da die Pflanze unmittelbaren Kontakt zum Gerüst hat, ist das gewählte Material der Kletterkonstruktion und sein thermisches Verhalten von großer Bedeutung. Bei einem falsch angewandten Material können Frostschäden und Überhitzungen zu negativen Folgen für die Pflanze führen.<sup>18</sup>



<sup>15</sup> Fink Verlag

<sup>16</sup> Seip bau. 7.

<sup>17</sup> Seip bau. 7.

<sup>18</sup> Pithe

AV+Astoria Druckzentrum GmbH 2013. S.23ff.

ulia: Fassaden begrünen. 1. Auflage. Taunusstein: Eberhard Blottner

ns/ Bietenbeck, Martin u.a.: Fachkunde- für Garten- und Landschafts- rlag Dr. Felix Büchner 2017. S. 459

ns/ Bietenbeck, Martin u.a.: Fachkunde- für Garten- und Landschafts- rlag Dr. Felix Büchner 2017. S. 459

ard/ Enzi, Vera u.a.: Leitfaden Fassadenbegrünung. 1. Auflage. Wien: AV+Astoria Druckzentrum GmbH 2013. S.23ff.

Abb. 4: Bodengebundene Fassadenbegrünung mit Klettergerüst

(Quelle: Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.166)

## 2.2. Autarke Fassadenbegrünung

Autarke Fassadenbegrünung auch „Living Wall“ oder wandgebundene Fassade genannt, ist die direkte Anbringung von Begrünung an der Fassade, mithilfe von komplexen Systemen.<sup>19</sup>

Je nach Ausführung wird die autarke Begrünung unterteilt in flächige Bauweise, modulare Bauweise und lineare Bauweise.<sup>20</sup>

Alle 3 Arten der Begrünung haben jedoch gemeinsam, dass die Begrünung keinen direkten Kontakt zum Boden hat und die Wasser- und Nährstoffzufuhr nicht auf natürlicher Weise erfolgt, sondern durch eine Anlage geregelt werden muss. Sie unterscheiden sich jedoch durch ihre Art und Weise, wie sie an dem Gebäude angebracht werden.

Im Allgemeinen handelt es sich hier um ein aufwendigeres System als bei bodengebundenen Systemen.

Jedoch eignet sich diese Technik sehr gut für Stadtbereiche, in denen kein fruchtbarer Boden zu Verfügung steht.<sup>21</sup> Weiters kann sie sehr aktiv und völlig variabel in die Architekturgestaltung eingebunden werden, und schafft so einen fließenden Übergang zwischen Architektur und Natur.<sup>22</sup>

Im Allgemeinen ist die Pflanzenauswahl bei der autarken Begrünung größer als bei der bodengebundenen Begrünung. Durch das aufwendige System können Technik und Mechanik an die Pflanze angepasst werden. Daher kann für die

---

<sup>19</sup> FBB Fachvereinigung Bauwerksbegrünung: E.V.: Grüne Innovation Fassadenbegrünung. In: <https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Fassadenbegruenung/FBB-Fassadenbegruenung.pdf> (letzter Zugriff: 12.04.2019)

<sup>20</sup> Dettmar, Jörg/ Sieber, Sandra/ Pfoser, Nicole: Gutachten Fassadenbegrünung. Darmstadt: TU Darmstadt. Fachbereich Architektur. Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung. Gutachten 2016. S.19

<sup>21</sup> FBB Fachvereinigung Bauwerksbegrünung: E.V.: Grüne Innovation Fassadenbegrünung. In: <https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Fassadenbegruenung/FBB-Fassadenbegruenung.pdf> (letzter Zugriff: 12.04.2019)

<sup>22</sup> Dettmar, Jörg/ Sieber, Sandra/ Pfoser, Nicole: Gutachten Fassadenbegrünung. Darmstadt: TU Darmstadt. Fachbereich Architektur. Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung. Gutachten 2016. S.19

Pflanze die Umgebung in gewisser Weise optimiert werden. Voraussetzung bei der Nutzung verschiedener Pflanzenarten in einem System, ist die Verwendung von Pflanzen mit übergreifenden Anforderungen an Standort und Pflege. Bei autarken Begrünungen werden bis zu 15 verschiedenen Pflanzenarten in einem System verwendet.<sup>23</sup>

### 2.2.1. Flächige Fassadenbegrünung

Diese Art von Begrünung kann einen bestimmten Teilbereich begrünen, als auch eine ganzflächig homogene „Schutzhülle“ für das Gebäude bieten.

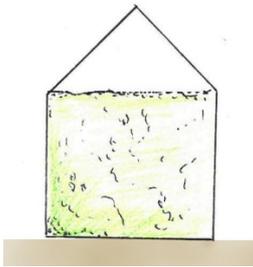


Abb. 5: flächige Fassadenbegrünung

Hier werden die durch die Begrünung auftretenden Lasten durch eine Sekundärkonstruktion abgeleitet bzw. auf die Fassade übertragen.

In dieser befindet sich auch die Anlage, welche für die Nährstoff- und Wasserzufuhr notwendig ist.

Wenn keine Sekundärkonstruktion nötig ist, wird ein pflanzentragendes Geotextil sowie Leitungen für die Nährstoff- und Wasserversorgung direkt an der Wand montiert.<sup>24</sup> Neben den Leitungen, die für die Versorgung der Pflanze zuständig sind, braucht man auch Leitungen, die für die Ableitung der überschüssigen Stoffe

<sup>23</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.72

<sup>24</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.87f.

verantwortlich sind. Eine regelmäßige Überprüfung aller Leitungen ist Voraussetzung für ein funktionierendes System.<sup>25</sup>

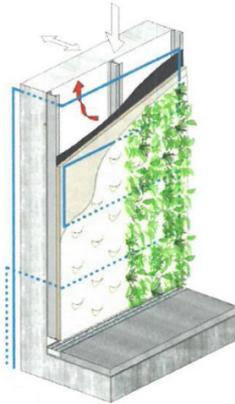


Abb. 6: Wasserversorgung und Durchlüftung

(Quelle: Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.167)

### 2.2.2. Modulare Fassadenbegrünung

Hier ist die Begrünung an ein gewisses Raster gebunden. Dieser Raster ist von der Modulgröße abhängig. Unter einem Modul versteht man einen rechteckigen Kasten, in dem sich Substrat befindet, in welchem die Pflanze wurzeln kann. Diese Module werden vorkultiviert und anschließend an die Fassade angebracht.



Abb. 7: modulare Fassadenbegrünung

Die Zufuhr von Nährstoffen und Wasser erfolgt hier über Rohre, welche an der Unterkonstruktion angebracht werden, oder direkt über die Module.<sup>26</sup> Die Ablei-

<sup>25</sup> Dettmar, Jörg/ Sieber, Sandra/ Pfoser, Nicole: Gutachten Fassadenbegrünung. Darmstadt: TU Darmstadt. Fachbereich Architektur. Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung. Gutachten 2016. S.20

<sup>26</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.81ff.

zung von überschüssigem Wasser, das Pflanze und Substrat nicht aufnehmen können, findet über eine Bodenrinne statt.<sup>27</sup>

Je nach Größe der Module unterscheidet sich der Montieraufwand. Meist weisen sie Größen von ca. 1 x 0,5m auf und sind in diesem Größenverhältnis noch händisch zu montieren.<sup>28</sup>

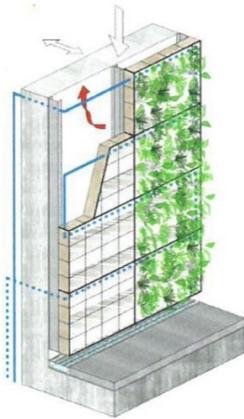


Abb. 8: Wasserversorgung und Durchlüftung

(Quelle: Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.167)

### 2.2.3. Lineare Fassadenbegrünung

Dieses System baut darauf auf, dass Kästchen/Töpfe auf einer Tragkonstruktion übereinander gereiht werden.

Ähnlich wie bei einem Bücherregal werden hier mehrere horizontale Ebenen übereinander angebracht, welche den sogenannten Untergrund für die mit Substrat befüllten Pflanzenbehälter bieten.<sup>29</sup> Hier ist darauf zu achten, dass zwischen den

<sup>27</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.160f.

<sup>28</sup> Dettmar, Jörg/ Sieber, Sandra/ Pfoser, Nicole: Gutachten Fassadenbegrünung. Darmstadt: TU Darmstadt. Fachbereich Architektur. Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung. Gutachten 2016. S.21

<sup>29</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.78f.

horizontalen Ebenen genügend Höhenabstand ist, um den Platzbedarf der Pflanze zu decken und sie somit in ihrem Wachstum nicht zu behindern.<sup>30</sup>

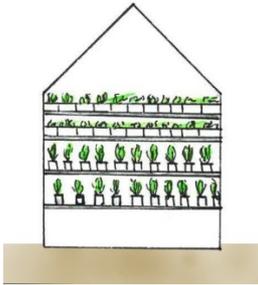


Abb. 9: lineare Fassadenbegrünung

Die Nährstoff- sowie Wasserversorgung erfolgt hier durch die Leitungen in der horizontal darüberliegenden Ebene der jeweiligen Pflanze.<sup>31</sup> Es ist darauf zu achten, dass die Leitungen vor Frost geschützt sind, da durch ein Gefrieren erhebliche Schäden entstehen können.<sup>32</sup>

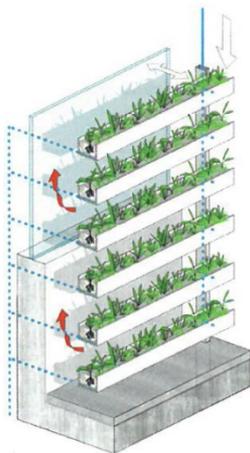


Abb. 10: Wasserversorgung und Durchlüftung

(Quelle: Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.167)

<sup>30</sup> Dettmar, Jörg/ Sieber, Sandra/ Pfoser, Nicole: Gutachten Fassadenbegrünung. Darmstadt: TU Darmstadt. Fachbereich Architektur. Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung. Gutachten 2016. S.21

<sup>31</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.78f.

<sup>32</sup> Dettmar, Jörg/ Sieber, Sandra/ Pfoser, Nicole: Gutachten Fassadenbegrünung. Darmstadt: TU Darmstadt. Fachbereich Architektur. Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung. Gutachten 2016. S.21

### 3. Fassadenbegrünung – Qualität im Umfeld

In Städten kommt es durch Versiegelung von Grünflächen, dichter Bebauung, Verkehr und vielen weiteren Einflüssen zu klimatischen Problemen, welche sich im Zuge des Klimawandels stärker bemerkbar machen.

Die Erhöhung von Grünflächenanteilen in der Stadt kann dieser Problematik entgegenwirken und führt somit zu einer Steigerung der Lebensqualität im urbanen Kontext.

Da Fassaden einen großen Flächenanteil in Städten ausmachen, spielt die Fassadenbegrünung eine entscheidende Rolle.

#### 3.1. Temperatur

##### 3.1.1. Mikroklima

Um in einer Stadt eine hohe Lebensqualität zu gewährleisten, ist das Mikroklima, welches ein Zusammenspiel von vielen Faktoren wie Temperatur, Oberflächenstrahlung, Luftqualität und Luftströmung ist, von großer Bedeutung. Diese und viele weitere Faktoren spielen zusammen und lassen ein lokal beschränktes Klima entstehen.

Zu den wichtigsten Faktoren für das Klima in der Stadt zählen jedoch die Strahlungsverteilung und Intensität als auch die Windverhältnisse im urbanen Raum.<sup>33</sup>



Abb. 11: Einflüsse auf das Mikroklima

<sup>33</sup> Hagen, Katrin: Freiraum im Freiraum - Mikroklimatische Ansätze für die städtische Landschaftsarchitektur. Wien: Technische Universität. Institut für Städtebau. Landschaftsarchitektur und Entwerfen. Fachbereich Landschaftsplanung und Gartenkunst. Dissertation 2011. S.28

Die Intensität der Sonnenstrahlung hängt von Klimaregion, Orientierung/Himmelsrichtung, Jahreszeit und Tageszeit ab.

Wie die Sonne im weiteren Verlauf auf die Umgebung beziehungsweise auf das Mikroklima wirkt, ist von vielen Einflüssen wie Bebauungsdichte, Baumaterialien und Bauweise abhängig.<sup>34</sup>

Während sich die Strahlungsverhältnisse in ihrer Intensität unterscheiden, ist der Ablauf des Vorganges derselbe. Dies passiert folgendermaßen: Sonnenstrahlen treffen als kurzwellige Strahlung auf die Oberflächen von Erde, Gebäuden, Verkehrsflächen etc., wie sich die Strahlung anschließend auf die Temperatur auswirkt ist abhängig von dem bestrahlten Material. Hierbei spielen Materialeigenschaften wie Absorptions-, Reflexionsvermögen, Wärmespeicherkapazität und Wärmeleitfähigkeit eine große Rolle. Die Intensität der eintreffenden Sonnenstrahlen ist orts-, jahreszeit- und tageszeitabhängig.<sup>35</sup>

Die Absorption ist für die Aufnahme von Strahlung im Material zuständig. Das bedeutet, dass die Strahlung im Material in Wärme umgewandelt und anschließend wieder an die Umgebung abgegeben wird. Wie lange diese Wärmeabgabe dauert und wann sie erfolgt, ist wiederum von der Wärmespeicherkapazität und Wärmeleitfähigkeit des jeweiligen Materials abhängig.

Eine bedeutende Rolle spielt das Reflexionsvermögen. Bei Auftritt von Strahlung auf ein Material wird ein Teil der Strahlung wieder zurückgegeben, hier spricht man von einer Reflexion. Die eintreffende Sonnenstrahlung ist orts- und klimazonenabhängig, während die Intensität der wieder abgegebenen Strahlen vom bestrahlten Material abhängig ist.<sup>36</sup>

---

<sup>34</sup> Enzi, Vera/ Verband für Bauwerksbegrünung: Grüne Bauweise für Städte der Zukunft. In: [http://www.gruenstadtklima.at/download/leitfaden\\_GSK.pdf](http://www.gruenstadtklima.at/download/leitfaden_GSK.pdf) (letzter Zugriff: 31.03.2019)

<sup>35</sup> Forkel, Matthias: Strahlungs- und Wärmehaushalt der Erde. In: <http://www.klima-der-erde.de/strahlungshshlt.html> (letzter Zugriff: 23.04.2019)

<sup>36</sup> Törring, Jens Thoms: Absorption, Reflexion und Brechung. In: <https://www.sonnentaler.net/dokumentation/wiss/optik/weiter/reflexion/> (letzter Zugriff: 20.04.2019)

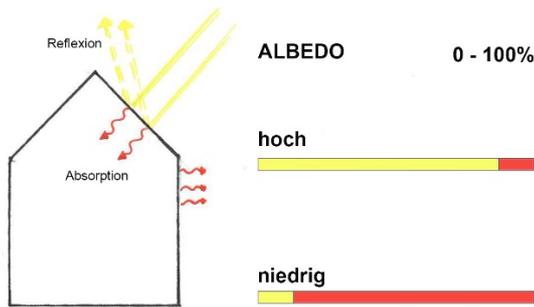


Abb. 12: Albedo

Albedo bezeichnet das Verhältnis zwischen den eintreffenden Strahlen zu der Strahlenmenge, die (von nichtleuchtenden Oberflächen) reflektiert wird. Sie wird in Prozent angegeben und befindet sich somit zwischen 0 und 100%.

Eine Fläche, welche die Strahlung hauptsächlich absorbiert und in Wärme umwandelt, hat eine sehr geringe Albedo, während eine Fläche, welche die gesamte eintreffende Strahlung reflektiert, eine sehr hohe Albedo aufweist. Daraus folgt, dass der Wert angibt, wie hoch der Anteil der Strahlung ist, der in Wärme umgewandelt wird, im Verhältnis zur Strahlung, die wieder zurück an die Umgebung abgegeben wird. Dieses Verhältnismaß wirkt sich sehr stark auf das urbane Klima aus.<sup>37</sup>

Im Gegensatz zur Natur weisen bebaute Flächen einen geringeren Albedowert auf. Somit wird ein Großteil der Strahlung absorbiert, die restliche Strahlung wird reflektiert. Durch die unterschiedlich hohen Häuser in Städten kommt es in den meisten Fällen zu Mehrfachreflexionen zwischen den Häusern, die für mehr Wärmestrahlung sorgen.<sup>38</sup>

Der hohe Anteil an versiegelten Flächen in Städten bringt ebenfalls mit sich, dass das durch Niederschläge angefallene Wasser unmittelbar in die Kanalisation eingeleitet wird. Dies ist einerseits eine große Herausforderung für das Kanalsystem und führt andererseits auch zu klimatischen Folgen im Stadtgebiet.

<sup>37</sup> Wolf, Christian: Strahlungsbilanz und Geographische Verteilung. In: [http://www.physik.uni-regensburg.de/forschung/gebhardt/gebhardt\\_files/skripten/Strahlungsbilanz.Wolf.pdf](http://www.physik.uni-regensburg.de/forschung/gebhardt/gebhardt_files/skripten/Strahlungsbilanz.Wolf.pdf) (letzter Zugriff: 20.04.2019)

<sup>38</sup> Breuste, Jürgen/ Pauleit, Stephan/ Haase, Dagmar u.a.: Stadtökosysteme-Funktion, Management und Entwicklung. 1. Auflage. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016. S.65ff.

Da das durch Niederschläge anfallende Wasser direkt in die Kanalisation abgeleitet wird, ist der Wasseranteil, der in den Grünflächen und Versickerungsflächen gespeichert wird, geringer. Bei Flächen, die eine Speicherung zulassen, verdunstet das Wasser anschließend. Durch die Verminderung des gespeicherten Wassers, kommt auch weniger Verdunstung zustande.<sup>39</sup> Die Verdunstung führt zu einer Temperaturverminderung der Umgebung. Neben den Grünflächen und den versiegelten Flächen unterscheidet man auch noch Verdunstungsflächen. Sie können das Niederschlagswasser speichern und anschließend verdunsten. Jedoch sind sie weit nicht so effektiv wie Grünflächen, da hier das Wasser ausschließlich über den Boden verdunstet (nicht über Pflanzen) und da sie die Flüssigkeit relativ schnell zum Grundwasser durchsickern lassen und somit eine relativ geringe „Speicherkapazität“ für das Wasser darstellen.

Durch die starke Reduktion von Grünflächen wird als Folgewirkung die Verdunstungskühle in Städten vermindert.<sup>40</sup>

Zu dem hohen Versiegelungsgrad führt die dichte Bebauung in Städten. Ursprüngliche Grünflächen wurden zur anthropogenen Nutzung als Bauland umfunktioniert. Dadurch werden in den Städten Grünflächen reduziert und versiegelte Flächen nehmen in Form von Verkehrs- und bebauten Flächen zu.

Diese Umwandlung von natürlichen in künstliche Materialien wie z.B. Asphalt, Beton sorgt für erhebliche Auswirkungen auf das Klima, Luftqualität, Wasserwirtschaft und viele weitere Aspekte.

Die großflächig bebauten und versiegelten Flächen in Städten, sorgen auch für weitaus höhere Werte der langwelligen Strahlung, die aus der ursprünglichen Sonneneinstrahlung entsteht, wodurch höhere Temperaturen als im ländlichen Gebiet aufkommen.

Zusätzlich ist in der Stadt die Wärmespeicherkapazität aufgrund der Baumaterialien erheblich höher.

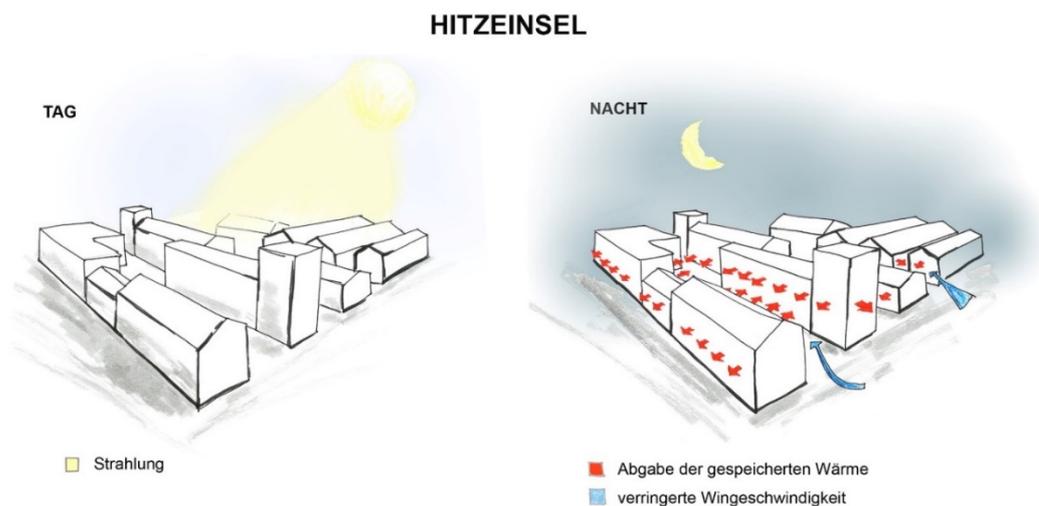
---

<sup>39</sup> Grimm, Karl: Wasser und Gebäude. Wien: fh- CampusWien. Skriptum SS2019. S.7-34

<sup>40</sup> Hagen, Katrin: Freiraum im Freiraum - Mikroklimatische Ansätze für die städtische Landschaftsarchitektur. Wien: Technische Universität. Institut für Städtebau. Landschaftsarchitektur und Entwerfen. Fachbereich Landschaftsplanung und Gartenkunst. Dissertation 2011. S.31

Das bedeutet, dass sich die Stadt an warmen Tagen sehr stark aufheizt und die Wärme gespeichert wird. Die gespeicherte Wärme wird bei geringerer Umgebungstemperatur wieder an die Umgebung abgegeben. Zusätzlich ist die Luftströmung in Städten geringer, wodurch ein geringerer Luftaustausch und somit auch geringerer Wärmeaustausch stattfindet. Besonders bemerkbar machen sich diese Aspekte in Städten in der Nacht, da in Nächten tendenziell eine geringere Temperatur herrscht als tagsüber.

Das bedeutet, dass es in Städten durch die Abgabe der gespeicherten Wärme zu keiner, beziehungsweise nur in sehr geringem Ausmaß, zur nächtlichen Ausküh-



lung kommt. Durch diesen Effekt spricht man bei Städten von einer „Hitzeinsel“.<sup>41</sup>

Abb. 13: Hitzeinsel

Eine Hitzeinsel beschreibt den thermischen Unterschied zwischen der Stadt und ihrem Umland. Diese Temperaturdifferenzen können je nach Flächennutzung in ihrer Höhe sehr stark variieren. Selbst innerhalb eines Stadtgebietes können sehr unterschiedliche Temperaturen anfallen.<sup>42</sup>

Jedoch ist bei Oberflächenmaterialien mit einem hohem Albedowert eine sehr gute Wärmespeicherkapazität und Wärmeleitfähigkeit vorhanden, welche die Wärmein-

<sup>41</sup> Stiles, Richard/ Hagen, Kathrin/ Trimmel, Heidi: Wirkungszusammenhänge Freiraum und Mikroklima. Wien. 2010. S.10-15

<sup>42</sup> Hagen, Katrin: Freiraum im Freiraum - Mikroklimatische Ansätze für die städtische Landschaftsarchitektur. Wien: Technische Universität. Institut für Städtebau. Landschaftsarchitektur und Entwerfen. Fachbereich Landschaftsplanung und Gartenkunst. Dissertation 2011. S.36ff.

sel negativ beeinflussen. Das bedeutet, dass die Umgebungstemperaturen durch das Wärmeübertragungsverhalten des jeweiligen Materials die Umgebung daran hindern, in der Nacht abzukühlen, da in dieser Zeit die Wärme durch Wärmeaustausch an die Umgebung abgegeben wird.<sup>43</sup>

So wie das Makroklima ist auch das Mikroklima vom Klimawandel betroffen. Der anthropogen verursachte Klimawandel sorgt für drastische globale und somit auch lokale Folgen.

Die globale Erwärmung bringt höhere Temperaturextreme, mehr und extremeren Niederschlag, mehr Hitzetage, geringere Luftqualität und dutzende weitere negative Folgen mit sich. Dadurch kommt es zu einer radikalen Belastung des gesamten Ökosystems.

Doch auch im urbanen Kontext bringt der Klimawandel katastrophale Folgen mit sich. Da im allgemeinen Städte höhere Umgebungstemperaturen als unbebaute und unversiegelte Flächen aufweisen, kommt es im urbanen Raum zu extremen und häufigeren Hitzetagen, das nächtliche Auskühlen wird weiterhin vermindert und die Niederschläge fallen extremer aus. Das bedeutet, dass die durch den Klimawandel negativ beeinflussten klimatischen Aspekte, sich in der Stadt um einiges stärker bemerkbar machen als im Umland.<sup>44</sup> Diese Einflüsse vermindern die Lebensqualität in Städten grundlegend. Jedoch wirken sich diese Folgen nicht nur auf den menschlichen Komfort aus, sondern stellen auch eine markante Gefährdung der physischen als auch psychischen menschlichen Gesundheit dar.<sup>45</sup> So kommt es in Städten beispielweise in Hitzeperioden zum sogenannten „Hitzestress“.<sup>46</sup> Unter anderem wird durch die starke thermische Belastung die Leistungsfähigkeit als auch das Wohlbefinden sehr stark vermindert. Weiters können

---

<sup>43</sup> Hagen, Katrin: Freiraum im Freiraum - Mikroklimatische Ansätze für die städtische Landschaftsarchitektur. Wien: Technische Universität. Institut für Städtebau. Landschaftsarchitektur und Entwerfen. Fachbereich Landschaftsplanung und Gartenkunst. Dissertation 2011. S.47

<sup>44</sup> Hagen, Katrin: Freiraum im Freiraum - Mikroklimatische Ansätze für die städtische Landschaftsarchitektur. Wien: Technische Universität. Institut für Städtebau. Landschaftsarchitektur und Entwerfen. Fachbereich Landschaftsplanung und Gartenkunst. Dissertation 2011. S.17

<sup>45</sup> Hutter, Hans-Peter/ Wallner, Peter/ Allex, Brigitte u.a.: Klima und Gesundheit. Klagenfurt. 1. Auflage: Kreiner Druck 2013. S.23 ff.

<sup>46</sup> Hagen, Katrin: Freiraum im Freiraum - Mikroklimatische Ansätze für die städtische Landschaftsarchitektur. Wien: Technische Universität. Institut für Städtebau. Landschaftsarchitektur und Entwerfen. Fachbereich Landschaftsplanung und Gartenkunst. Dissertation 2011. S.33

die Folgen so extrem sein, dass es zu höheren Sterberaten von bereits beeinträchtigten Personen während der Hitzeperiode kommen kann.<sup>47</sup>

Diese Tatsache stellt in Zeiten der Urbanisierung ein großes Problem da. Immer mehr Menschen ziehen in Städte und sind davon betroffen.<sup>48</sup>

Durch vielerlei Gründe wie etwa geringe Geburtenrate steigt der Altersdurchschnitt der Bevölkerung. Da ältere Personen aus gesundheitlichen Gründen durchaus schlechter mit den Folgen von Hitzeinseln umgehen können, entsteht auf diese Weise eine starke Bedrohung für Stadtbewohner/innen auf.<sup>49</sup>

Aufgrund der generationenübergreifenden langfristigen Betroffenheit des Klimawandels ist eine globales handeln durch Umsetzung von Klimapolitik notwendig. Selbst bei einer sehr nachhaltigen und effizienten Klimapolitik wird es noch über mehrere Generationen dauern, bis sich die Änderungen global auf die Umwelt auswirken. Das bedeutet, dass die Mitigation, darunter versteht man die aktive Bekämpfung vom Klimawandel, nicht ausreicht. Daher muss man in Städten auch in Form der Adaption auf die negativen Folgen des Klimawandels eingehen und ihnen entgegenwirken, um im urbanen Raum weiterhin eine gewisse Lebensqualität garantieren zu können. Dafür muss man innovative Konzepte einsetzen, um die Umstände zu verbessern. In diesem Kontext spielen die steigenden Temperaturen in Städten eine große Rolle.<sup>50</sup>

### 3.1.2. Wirkung von Fassadenbegrünung

---

<sup>47</sup> Hutter, Hans-Peter/ Wallner, Peter/ Allex, Brigitte u.a.: Klima und Gesundheit. Klagenfurt. 1. Auflage: Kreiner Druck 2013. S.23 ff.

<sup>48</sup> Bähr, Jürgen: Einführung in die Urbanisierung. In: [https://www.berlin-institut.org/fileadmin/user\\_upload/handbuch\\_texte/pdf\\_Baehr\\_Einfuehrung\\_Urbanisierung\\_2011.pdf](https://www.berlin-institut.org/fileadmin/user_upload/handbuch_texte/pdf_Baehr_Einfuehrung_Urbanisierung_2011.pdf) (letzter Zugriff: 15.04.2019)

<sup>49</sup> Lehr, Ursula: Alterung der Bevölkerung. In: [https://www.berlin-institut.org/fileadmin/user\\_upload/handbuch\\_texte/pdf\\_Lehr\\_Alterung\\_aktualisiert\\_2013.pdf](https://www.berlin-institut.org/fileadmin/user_upload/handbuch_texte/pdf_Lehr_Alterung_aktualisiert_2013.pdf) (letzter Zugriff: 15.04.2019)

<sup>50</sup> Kampusch, Verena: Grün findet Stadt. Wien: Technische Universität Wien. Masterarbeit 2018. S.26

Eine adaptive Maßnahme im urbanen Raum ist das Schaffen von Grünflächen. Grünflächen können viele Problematiken des Mikroklimas positiv beeinflussen und im besten Falle vollständig kompensieren.

Um die dichte Besiedelung in Städten nicht negativ zu beeinflussen und somit keine Einschränkung an Bau- und Verkehrsfläche zu verursachen, muss man zu innovativen Begrünungstechniken greifen. Es können positive klimatische Effekte durch Begrünung erzielt werden, ohne dass die Bebauungsdichte und somit auch die Bevölkerungsdichte beeinflusst wird.

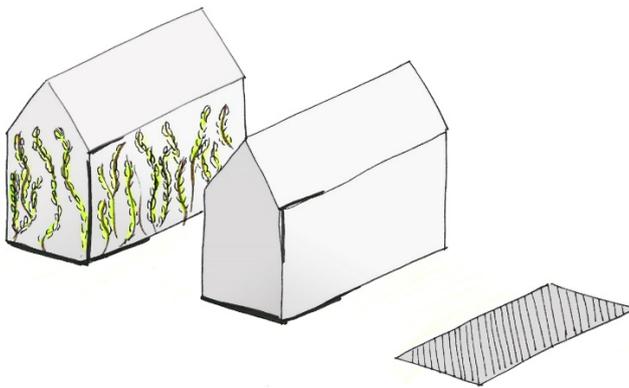


Abb. 14: Schaffung von Oberflächen in Städten

Durch die erhöhte Bebauungsdichte und dem dadurch mangelnden Flächenausmaß an fruchtbarem Boden ist es notwendig die Vegetationsflächen mit der geschaffenen Architektur zu kombinieren.

Durch ein Bauwerk wird eine gewisse Fläche an fruchtbaren Boden verbraucht. Jedoch wird im Städtebau nicht nur Oberfläche verbraucht, sondern es wird auch weitaus mehr Oberfläche, als an Erdoberfläche verbraucht wird, geschaffen. Die durch Architektur entstandene Mantelfläche der Häuser unterscheidet sich jedoch in ihren Eigenschaften sehr stark von der Erdoberfläche. Hier spielt (wie in Kapitel 4.1.1 erwähnt) die Strahlung bzw. die Umwandlung von Globalstrahlung in langwellige Strahlung eine sehr große Rolle.

Um bei den durch Bebauung geschaffenen Oberflächen ähnlich positive Effekte wie bei grünen Freiflächen im urbanen Kontext zu erzielen, nutzt man Dach- und

Fassadenbegrünungen.<sup>51</sup>

Begrünte Fassaden wirken sich durchaus positiv auf das Mikroklima aus, indem sie Extremtemperaturen abmindern und somit für einen höheren thermischen Komfort im Stadtgebiet sorgen.

Im Sommer werden dadurch die Temperaturen gekühlt, während im Winter die Lufttemperatur in Begrünungsnähe milder ausfällt.

Belegt wurde, dass die Wirkung in den Sommermonaten am größten ist, da es hier zu sehr starken Temperaturextremen kommt. Im Allgemeinen gilt: je extremer die Temperatur, desto stärker die Abminderung. Daher gibt es in diversen Monaten kaum einen Temperaturunterschied, während in Monaten, welche höhere Extremwerte bezüglich der Temperatur aufweisen, auch die Wirkung der Begrünung erheblich stärker als in den übrigen ist.

Da aufgrund des Klimawandels auch die Temperaturen weitaus extremer ausfallen und besonders in den Sommermonaten die Temperaturen durch die globale Erwärmung erheblich ansteigen, kann die Fassadenbegrünung im urbanen Kontext in gewissem Maß adaptiv entgegenwirken, da gerade zu diesen Zeiten in denen die Temperaturen die höchsten Extremwerte aufweisen, die Wirkung am effektivsten ist.<sup>52</sup>

Bei der Fassadenbegrünung wird die Umgebungstemperatur durch Evapotranspiration, Abgabe von Wasser an die Atmosphäre durch Verdunstung, verringert. Die Verdunstung kann entweder direkt über eine Wasser- oder Bodenfläche (Evaporation) oder über Pflanzen (Transpiration) erfolgen. Ein weitaus höherer Anteil der globalen Verdunstung von Wasser findet durch Evaporation statt.<sup>53</sup>

---

<sup>51</sup> Pitha, Ulrike/ Scharf, Bernhard/ Enzi, Vera u.a.: Grüne Bauweise für Städte der Zukunft. In: [http://www.gruenstadtklima.at/download/leitfaden\\_GSK.pdf](http://www.gruenstadtklima.at/download/leitfaden_GSK.pdf) (letzter Zugriff 15.04.2019)

<sup>52</sup> Hancvencl, Georg: Fassadengebundene Vertikalbegrünung. Wien: Institut für Universität für Bodenkultur Wien. Department für Bautechnik und Naturgefahren. Ingenieurbiologie und Landschaftsbau. Masterarbeit 2013. S.103ff.

<sup>53</sup> Jaeschko, Scott: Pflanzen schwitzen besser. In: <https://www.pflanzenforschung.de/index.php?CID=8884> (letzter Zugriff: 09.04.2019)

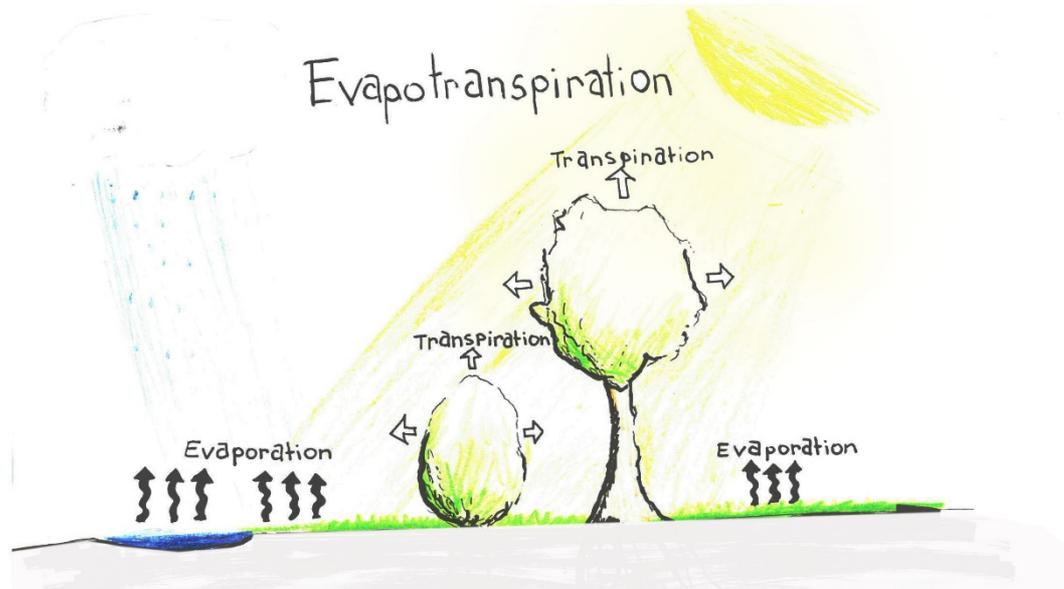


Abb. 15: Evapotranspiration

Bei der Transpiration wird von der Pflanze Wasser aufgenommen, welches anschließend durch Energiezufuhr von ihr verdunstet wird. Der Großteil der Verdunstung findet durch die Spaltöffnungen an der Unterseite des Blattes statt.<sup>54</sup> Die Effektivität der Transpiration ist von der Pflanzenart abhängig. Jedoch gilt: je dichter die Belaubung, desto effektiver die Transpiration, welche somit auch einen stärker kühlenden Effekt mit sich bringt und somit eine Überhitzung verhindert.<sup>55</sup>

Die Pflanze sorgt durch die Verdunstung nicht nur für Kühlung der Umgebung, sondern kühlt auch sich selbst.<sup>56</sup> Weiter verdunstet die Begrünung je nach Tageszeit und Jahreszeit unterschiedliche Mengen an Wasser. Unter anderem davon abhängig, ob es sich um sommergrüne, wintergrüne oder immergrüne Pflanzen handelt.

Voraussetzung für die Transpiration ist die ausreichende Wasserversorgung der Begrünung. Pflanzen verwenden weitaus mehr Wasser für die Verdunstung als für

<sup>54</sup> Koch: FG Geohydraulik und Ingenieurhydrologie. In: [https://www.uni-kassel.de/fb14/geohydraulik/Lehre/Hydrologie\\_I/skript/IngHydro5.pdf](https://www.uni-kassel.de/fb14/geohydraulik/Lehre/Hydrologie_I/skript/IngHydro5.pdf) (letzter Zugriff: 16.04.2019)

<sup>55</sup> Hagen, Katrin: Freiraum im Freiraum - Mikroklimatische Ansätze für die städtische Landschaftsarchitektur. Wien: Technische Universität. Institut für Städtebau. Landschaftsarchitektur und Entwerfen. Fachbereich Landschaftsplanung und Gartenkunst. Dissertation 2011. S.43

<sup>56</sup> Bohn, Kristin: Zur Rolle von Artenvielfalt und Variabilität im optimalen Verhalten von Ökosystemen. Jena: Friedrich-Schiller-Universität Jena. Diplomarbeit 2007. S.23

den eigenen Zellenaufbau.<sup>57</sup> Um ein innovatives Gesamtkonzept zu erhalten, ist für die Wasserversorgung die Verwendung von Regenwasser sehr sinnvoll. Da nur ein sehr geringer Anteil der Wasserversorgung direkt durch Niederschläge stattfindet, macht es Sinn, das durch Niederschläge aufkommende Wasser in einer Zisterne zu sammeln und anschließend über Leitungen zur Fassadenbegrünung zu leiten. Eine weitere Möglichkeit ist die Nutzung von Grauwasser, welche jedoch einen weitaus aufwendigeren Aufbereitungsvorgang voraussetzt. Eine weniger nachhaltige Option wäre die Verwendung von Trinkwasser, da dies innerhalb des Wasserkreislaufes eine weitaus höhere Wasserqualität aufweist, als die Pflanzen benötigen.<sup>58</sup>

Neben der Wasserzufuhr hat auch die Wasserspeicherung eine große Bedeutung, die bei der Fassadenbegrünung je nach Art der Begrünung (bodengebunden /wandgebunden) im Erdboden oder dem angebrachten Substrat stattfindet.<sup>59</sup>

Eine strikte Trennung von Evaporation und Transpiration in ihrer Effizienz und Wirkung ist nur sehr schwer möglich, da sie gemeinsam als Evapotranspiration auftreten. Die Evapotranspiration ist abhängig vom Wasserdampfgehalt der Luft und wie dieser zum Sättigungsdampfdruck der Umgebung steht. Der Sättigungsdampfdruck ist wiederum abhängig von der Temperatur und gibt an, wie viel Wasser in Form von Wasserdampf von der Luft aufgenommen werden kann, ohne dass Kondensat entsteht. Entscheidend für die Evapotranspiration ist der tatsächliche Wasserdampfgehalt im Verhältnis zum maximal möglichen Wasserdampfgehalt der Luft (Sättigungsdampfdruck). Im Weiteren spielen Parameter wie Wind, Lufttemperatur und vor allem die Sonnenstrahlung eine entscheidende Rolle für den Verdunstungsgrad und sind somit ausschlaggebend dafür, wie viel Wasser durch die Evapotranspiration verdunstet.<sup>60</sup>

---

<sup>57</sup> Koch: FG Geohydraulik und Ingenieurhydrologie. In: [https://www.uni-kassel.de/fb14/geohydraulik/Lehre/Hydrologie\\_I/skript/IngHydro5.pdf](https://www.uni-kassel.de/fb14/geohydraulik/Lehre/Hydrologie_I/skript/IngHydro5.pdf) (letzter Zugriff: 16.04.2019)

<sup>58</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.117

<sup>59</sup> Koch: FG Geohydraulik und Ingenieurhydrologie. In: [https://www.uni-kassel.de/fb14/geohydraulik/Lehre/Hydrologie\\_I/skript/IngHydro5.pdf](https://www.uni-kassel.de/fb14/geohydraulik/Lehre/Hydrologie_I/skript/IngHydro5.pdf) (letzter Zugriff: 16.04.2019)

<sup>60</sup> Koch: FG Geohydraulik und Ingenieurhydrologie. In: [https://www.uni-kassel.de/fb14/geohydraulik/Lehre/Hydrologie\\_I/skript/IngHydro5.pdf](https://www.uni-kassel.de/fb14/geohydraulik/Lehre/Hydrologie_I/skript/IngHydro5.pdf) (letzter Zugriff: 16.04.2019)

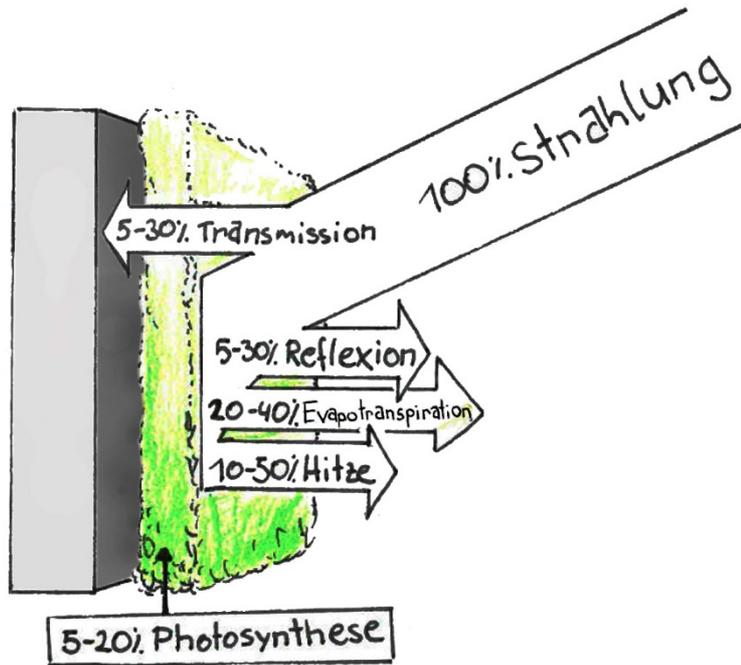


Abb. 16: Strahlungsverteilung der Fassadenbegrünung (Quelle: [https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/weitere\\_Informationen/Waermedaemmung\\_Kuehlung.pdf](https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/weitere_Informationen/Waermedaemmung_Kuehlung.pdf) (letzter Zugriff: 10.06.19))

In der Abbildung sieht man, wie die Begrünung auf die Solarstrahlung reagiert und im weiteren Verlauf handelt.

Hier fällt auf, dass die Spannweiten der Zahlenangaben sehr weit sind, da sie sich in ihrer Höhe sehr stark durch Begrünungsart, Pflanzenart, Ausrichtung und zahlreiche weitere Faktoren beeinflussen lassen.

Die Evapotranspiration übernimmt 20-40% der Strahlung, sie ist in ihrer Höhe von den bereits erläuterten Parametern abhängig.

Neben der Evapotranspiration hat die Begrünung noch eine aktive Wirkung, welche sich positiv auf die Umgebung auswirkt: die Photosynthese. Auch sie wirkt temperaturregulierend und hat eine positive Auswirkung auf die Luftqualität.

Diese aktiven Maßnahmen durch Photosynthese und Evapotranspiration von Fassadenbegrünung sind ein markantes Alleinstellungsmerkmal, welches die vertikale Begrünung von herkömmlichen Fassaden unterscheidet und sie weitaus effektiver macht.

Neben den aktiven Effekten ist die Fassadenbegrünung natürlich auch noch von passiven Maßnahmen wie Reflexion, Hitzestrahlung, Transmission und Absorption begleitet. Diese Maßnahmen finden auch bei herkömmlichen Fassaden wie z.B. der Putzfassade statt, unterscheiden sich aber je nach Fassadenart in ihrer Intensität und Auswirkung auf das Mikroklima.<sup>61</sup>

### 3.2. Luft

In Städten kommt es durch Verkehr, Industrie und Bewirtschaftung zu geringerer Luftqualität als im Umland. Das bedeutet, dass die Luft in Städten vermehrt von Schadstoffen und Feinstaub belastet ist. Jedoch ist die Intensität in den letzten Jahren zurückgegangen und man spricht von einer Verbesserung der Luftqualität im urbanen Raum.<sup>62</sup>

Trotz dieser Entwicklung ist weiterhin eine starke Ansammlung an Schadstoffen vorhanden.

Viele der Schadstoffe kommen vor allem durch den stark betriebenen Verkehr auf, aber auch die Industrie und Bauwirtschaft spielen eine große Rolle.

Bei Feinstaub handelt es sich um Mikropartikel, deren Durchmesser 10 Mikrometer nicht überschreiten. Hier gilt, je kleiner die Partikel sind, desto schädlicher können sie durch ein tieferes Eindringen in den Körper sein.<sup>63</sup>

Neben der Feinstaubbelastung wird die Luftqualität noch von weiteren Schadstoffen wie Kohlenmonoxid, Ozon, Stickoxide und vielen weiteren Stoffen belastet.<sup>64</sup>

---

<sup>61</sup> Pitha, Ulrike/ Scharf, Bernhard/ Enzi, Vera u.a.: Grüne Bauweise für Städte der Zukunft. In: [http://www.gruenstadtklima.at/download/leitfaden\\_GSK.pdf](http://www.gruenstadtklima.at/download/leitfaden_GSK.pdf) (letzter Zugriff: 15.04.2019)

<sup>62</sup> Mooshammer, Hanns: Luftschadstoffe und Gesundheitsgefahren. In: <https://www.gesundheit.gv.at/leben/umwelt/luftschaedstoffe/gesundheitsgefahren> (letzter Zugriff: 17.04.2019)

<sup>63</sup> Schneider, Martin/ Gaal, Gabor: Fakten zu Feinstaub und Stickoxiden. In: <https://www.swr.de/abgasalarm/wie-schaedlich-die-luftverschmutzung-wirklich-ist-8-fakten-zu-feinstaub-und-stickoxiden/-/id=18988100/did=18971804/nid=18988100/12nqid0/index.html> (letzter Zugriff: 16.04.2019)

<sup>64</sup> Mooshammer, Hanns: Luftschadstoffe und Gesundheitsgefahren. In: <https://www.gesundheit.gv.at/leben/umwelt/luftschaedstoffe/gesundheitsgefahren> (letzter Zugriff: 17.04.2019)

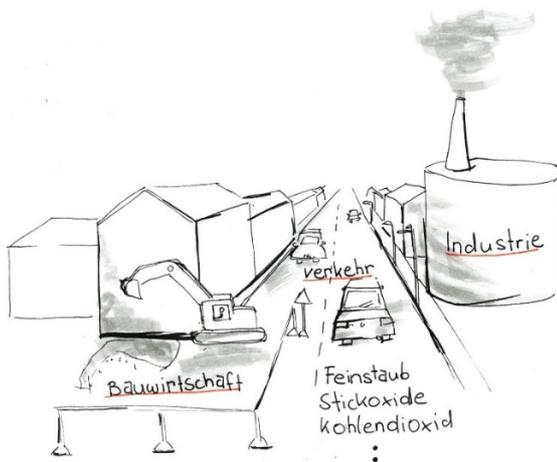


Abb. 17: Belastung der Luftqualität in Städten

All diese Schadstoffe bringen eine gesundheitsschädigende Wirkung mit sich und können über längere Zeit eine höhere Krankheitsrate der Stadtbewohner/innen bedeuten. So können Krankheiten wie Asthma, Lungenkrebs, Lungenentzündungen etc. häufiger auftreten. Weiters kann dies wie bei der in Städten entstehenden „Hitzeinsel“ auch auf die Luftqualität bezogen, eine enorme Belastung für bereits gesundheitlich eingeschränkte und vorbelastete Bewohner/innen bedeuten.<sup>65</sup>

Die vertikale Begrünung an der Fassade kann nicht nur für ein besseres Klima sorgen, sondern auch die Schadstoffe in der Luft können durch Pflanzen reduziert und gebunden werden.<sup>66</sup>

Ein bedeutender Effekt für die Luftqualität im urbanen Raum ist die Bindung von Feinstaub. Die winzig kleinen Partikel lassen sich auf der Pflanzenoberfläche nieder. Die Oberfläche der Pflanze, je nach Pflanzenart kann es sich hier um die Ober- oder Unterseite der Pflanze handeln, sorgt dafür, dass die Partikel auf dem Blatt haften bleiben. Bei Fassadenbegrünung kommen häufig Pflanzen zur Anwendung, bei denen die Partikel auf der Unterseite haften. Je nach Oberflächen-

<sup>65</sup> Schneider, Martin/ Gaal, Gabor: Fakten zu Feinstaub und Sickoxiden. In: <https://www.swr.de/abgasalarm/wie-schaedlich-die-luftverschmutzung-wirklich-ist-8-fakten-zu-feinstaub-und-stickoxiden/-/id=18988100/did=18971804/nid=18988100/12nqid0/index.html> (letzter Zugriff: 16.04.2019)

<sup>66</sup> Kampusch, Verena: Grün findet Stadt. Wien: Technische Universität Wien. Masterarbeit 2018. S.23

beschaffenheit können die Partikel auch durch Niederschläge nicht von der Pflanze gelöst werden. Da sich die Partikelbindung auf die einzelnen Blätter bezieht, gilt hier je stärker die Belaubung, umso stärker die Feinstaubbindung. Daraus folgt, dass die Wirkung je nach Jahreszeit durch die saisonale Belaubung der Pflanzen sehr unterschiedlich sein kann.<sup>67</sup> Bei sommergrünen Pflanzen kann es dazu kommen, dass die Blätter der Pflanzen im Herbst abfallen, an denen weiterhin die Staubpartikel haften, die anschließend gemeinsam mit den Blätter beseitigt werden.<sup>68</sup>

Auch die Photosynthese der Pflanzen sorgt durch das Entziehen des Kohlendioxids aus der Luft und die Freisetzung von Sauerstoff für eine erheblich bessere Luftqualität. Voraussetzung für die Photosynthese ist Licht, daher unterscheidet sich die Stärke der Photosynthese je nach Verschattungsfaktor des Blattes. Das bedeutet, dass die obersten Blätter am effektivsten reagieren und somit auch am meisten Sauerstoff an die Umgebung abgeben, während die darunter liegenden Blätter durch die geringere Lichtzufuhr weitaus weniger Photosynthese betreiben. Im Weiteren ist sie ebenfalls durch die unterschiedlichen Lichtverhältnisse tageszeitabhängig.<sup>69</sup>

---

<sup>67</sup> Gorbacheevskaya, Olga/ Herfort, Susanne: Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen. In: [https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-untersuchungen/F001\\_feinstaubbindung.pdf](https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-untersuchungen/F001_feinstaubbindung.pdf) (letzter Zugriff: 16.04.2019)

<sup>68</sup> Eberle, Janine: Fassadenbegrünung, Vorteile, Wissenswertes und praktische Beispiele. In: <https://www.naturundwirtschaft.ch/de/assets/Dateien/Bilder/Publikationen/Fassadenbegr%C3%BCnungJE.pdf> (letzter Zugriff: 18.04.2019)

<sup>69</sup> Bohn, Kristin: Zur Rolle von Artenvielfalt und Variabilität im optimalen Verhalten von Ökosystemen. Jena: Friedrich-Schiller-Universität Jena. Diplomarbeit 2007. S.16-23

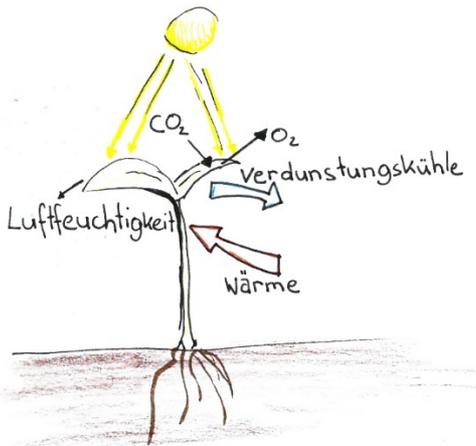


Abb. 17: Photosynthese

Neben der Sauerstoffproduktion sorgen die Photosynthese und Evapotranspiration durch die Umwandlung von Wasser vom flüssigen in gasförmigen Zustand für eine höhere relative Luftfeuchtigkeit.

Die relative Luftfeuchtigkeit gibt an, wie viel Prozent von dem maximal möglichen Wasserdampf tatsächlich in der Luft ist. Je höher die Temperatur der Luft ist, desto mehr Wasserdampf kann sie aufnehmen.<sup>70</sup>

Die behagliche Luftfeuchte liegt bei 30-40%. Bei einem geringeren Feuchtegehalt der Luft treten häufig gesundheitliche Beschwerden auf. Durch die Austrocknung der Schleimhäute klagen viele Menschen bei einer geringeren Luftfeuchtigkeit über Halsweh, trockene Augen etc. Aber auch die Bakterienverbreitung kann hier schneller stattfinden, wodurch sich als Folgewirkung Erkältungen und andere Krankheiten schneller verbreiten können.<sup>71</sup>

Pflanzen haben durch ihren Verdunstungseffekt eine positive Auswirkung auf den Feuchtegehalt der Luft. Um wie viel sie die relative Luftfeuchtigkeit erhöhen, ist abhängig vom Verdunstungsgrad. So kommt es dazu, dass die Begrünung in der Nacht der Luft weniger Feuchtigkeit spendet als tagsüber, dies lässt sich durch die

<sup>70</sup> Hancvencel, Georg: Fassadengebundene Vertikalbegrünung. Wien: Institut für Universität für Bodenkultur Wien. Department für Bautechnik und Naturgefahren. Ingenieurbiologie und Landschaftsbau. Masterarbeit 2013. S.63

<sup>71</sup> Hahn, Nadja: „Trockene Luft“ und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. In: [https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2007\\_009.pdf](https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2007_009.pdf) (letzter Zugriff: 17.04.2019)

geringere Energiezufuhr durch Strahlung in der Nacht und somit geringerer Anteil an Verdunstung herbeiführen. Dadurch ist der nächtliche Unterschied des relativen Feuchtegehalts in unmittelbarer Nähe zur begrünten Fassade im Vergleich zur Putzfassade nur um einen minimalen Prozentsatz erhöht. Tagsüber kann es jedoch zu weitaus stärkeren Unterschieden und somit positiven Auswirkungen der begrünten Fassaden kommen. Besonders bemerkbar macht sich die Feuchtezufuhr der Luft im Sommer, da durch die Strahlung eine verstärkte Evapotranspiration stattfindet und somit mehr Wasserdampf an die Umgebung abgegeben wird. Voraussetzung ist die ausreichende Wasserversorgung der Pflanze.<sup>72</sup>

### 3.3. Schall

Bei Schall spricht man von mechanischen Schwingungen, die vom Menschen über das Gehör wahrgenommen werden können.

Ein hoher Schallpegel stellt in vielen Städten ein enormes Problem dar. Durch das starke Ausmaß an Verkehr, Baustellen, Industrie und sonstigen lärmschaffenden Tätigkeiten ist der anthropogen erzeugte Lärmpegel in Städten erheblich höher als im Umland.<sup>73</sup>

Jede einzelne der zahlreichen Schallquellen in der Stadt sorgt dafür, dass sich Schallschwingungen radial in alle Richtungen ausbreiten, bis sie auf ein Hindernis treffen. Durch das Hindernis wird die weitere Ausbreitung der Schallwellen verhindert und sie müssen auf das Objekt reagieren. Ein Teil der Schwingungen wird in Form von Transmission durch das Material gelassen, ein anderer Anteil wird in Wärme umgewandelt, während ein Großteil reflektiert wird. Unter der Absorption versteht man jenen Anteil an Schwingungen, der nicht reflektiert (d.h. den Anteil der in Wärme umgewandelt und transmittiert) wird. Ob Schall als Lärmbelästigung

---

<sup>72</sup> Hancvencel, Georg: Fassadengebundene Vertikalbegrünung. Wien: Institut für Universität für Bodenkultur Wien. Department für Bautechnik und Naturgefahren. Ingenieurbiologie und Landschaftsbau. Masterarbeit 2013. S.73ff.

<sup>73</sup> Kindig, Mario: Qualitätsmerkmale einer Lärmkartierung auf Crowdsourcing - Basis - Erfassung, Aufbereitung und Präsentation gezeigt an einem Beispiel. Wien: Universität Wien. Masterarbeit 2014. S.25ff.

empfundener wird, ist sehr stark von der Intensität der Schallquelle und Frequenzen als auch dem Verhältnis zwischen Absorption und Reflexion abhängig.<sup>74</sup>

Fassaden haben besonders in Städten eine große Auswirkung auf den Schallpegel, da sie als Hindernis für die mechanischen Schwingungen dienen und je nach Beschaffenheit absorbieren und reflektieren.

Begrünung hat eine schallreduzierende Wirkung, weshalb sich Fassadenbegrünung sehr gut zur Schallreduktion im urbanen Kontext anbietet.

Pflanzen weisen ihre Wirkung durch Umwandlung von Schallwellen in mechanische Bewegung als auch durch Reflexion auf.<sup>75</sup>

Die Intensität der Begrünung als Schallschutz ist abhängig von der Bewuchsdichte, Blattdicke, Orientierung der Blätter, Art der Begrünung und der auftretenden Frequenz. Daher können Geräusche je nach Frequenzhöhe von derselben Pflanze besser oder schlechter abgeschirmt werden.

Weiters gilt: je dichter die Bewuchsdichte, desto effektiver die Schallabminderung. Die Dicke der einzelnen Blätter spielt auch eine Rolle, ordnet sich jedoch der Bewuchsdichte unter.<sup>76</sup>

Neben dem Wachstumsverhalten der Pflanze spielt auch die Konstruktion, bzw. ob es sich um eine wandgebundene oder bodengebundene Begrünung handelt, eine Rolle. Autarke Begrünung, die direkt mit einer Substratschicht an der Wand angebracht ist, hat eine weitaus stärkere Wirkung als jene die regalartig angeordnet ist, oder bodengebunden wächst. Zu der Begrünung kommt bei diesen Systemen das Substrat, welches ebenfalls eine schallmindernde Wirkung hat. Hier gilt: je dicker die Substratschicht, desto besser die Schallminderung.<sup>77</sup>

---

<sup>74</sup> Späh, Moritz/ Weber, Lutz/ Österreicher, Timo u.a.: Schallschutzpflanzen – Optimierung der Abschirmwirkung von Hecken und Gehölzen. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Forschungsbericht. 2011. S.10f.

<sup>75</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.136

<sup>76</sup> Späh, Moritz/ Weber, Lutz/ Österreicher, Timo u.a.: Schallschutzpflanzen – Optimierung der Abschirmwirkung von Hecken und Gehölzen. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Forschungsbericht. 2011. S.10f.

<sup>77</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.136

## **4. Fassadenbegrünung – Qualität im Innenraum**

Neben der Wirkung auf das Umfeld wirkt sich die Fassadenbegrünung auch auf den Innenraum aus und kann hier für positive Effekte sorgen.

### **4.1. Allgemeine Wirkung auf den Innenraum**

Die Wirkungen der Fassadenbegrünung auf den Innenraum überschneidet sich mit der auf die Umgebung. Sie unterscheidet sich von der Umgebung und Bepflanzungsart in ihrer Effizienz.

Daher können Luftverbesserungen ausschließlich bei direktem Luftwechsel z.B. durch Fensteröffnung von außen erlangt werden.

Durch den Verschattungseffekt können Begrünungen auch als effektiver Blendenschutz verwendet werden. Gegenüber technischer Verschattungsvorrichtungen kann die Begrünung nicht je nach Tageszeit und somit Sonneneinstrahlungswinkel verändert werden. Daher eignet sich die Begrünung weniger als Beschattung für kleine Öffnungen wie Fenster, welche je nach Tageszeit auch für die Belichtung der Räume zuständig sind, als für große transparente Flächen, welche ohne Verschattungsvorrichtung zu sommerlicher Überwärmung führen.

Am effektivsten ist die Wirkung von Fassadenbegrünung auf den Innenraum in Bezug auf den Wärmeschutz.

### **4.2. Wärmeschutz**

Der Wärmeschutz von Fassadenbegrünung ist abhängig von biologischen, chemischen und physikalischen Aspekten. Aufgrund der individuellen Wirkung je nach Bepflanzungsart, Dichte, Ausrichtung usw. kann man hier von keinen konkreten Zahlen sprechen, welche sich auf jede Begrünung anwenden lassen. Weiters sind die Effekte der Begrünung nicht nur von der Pflanze abhängig, sondern auch von Architektur, Standort und Makroklima und vor allem auch vom Wandaufbau.

In den folgenden Kapiteln werden Verschattung, Verdunstung und das Entstehen einer sogenannten „Pufferzone“ erläutert, da sich Fassadenbegrünung auf diese Weise positiv auf den Wärmeschutz des Innenraumes auswirkt. Alle drei Phänomene erreichen auf verschiedene Weise eine Abminderung von Extremtemperaturen im Außen- und Innenraum.

#### **4.2.1. Verschattung**

Durch die unterschiedlichen Temperaturen und Verfügbarkeit der Sonne in den 4 Jahreszeiten ist das Thema Verschattung sehr saison- und orientierungsabhängig.

Während man im Winter die passive Solarenergie in das Gebäude bekommen möchte, muss man im Sommer darauf achten, die passive Sonnenenergie zu minimieren, um einen Schutz vor einer sommerlichen Überwärmung zu garantieren.

Diese Saisonalität lässt sich jedoch sehr gut mit Begrünung kombinieren, da auch Pflanzen jahreszeitenabhängig wachsen und reagieren.

Daher eignen sich sommergrüne Pflanzen als bodengebundene Begrünung besonders an transparenten Gebäudeteilen (Fenster, sonstige Verglasungen) an Süd- und Westseite. Die verglasten Flächen werden dadurch im Sommer verschattet und schützen so vor einer sommerlichen Überwärmung. Im Sommer kann in etwa 40-70% der Sonneneinstrahlung durch Begrünung absorbiert beziehungsweise reflektiert werden und kommt somit nicht in den Raum. Im Winter fallen die Blätter ab und die Sonne kann durch die transparenten Flächen ins Gebäudeinnere kommen.

Immergrüne Pflanzen eignen sich wiederum bei geschlossenen Wandflächen im Norden, Osten und Westen, da sie hier für einen geringeren Wärmeverlust sorgen. Dies wird einerseits durch die Pufferwirkung bewirkt, andererseits wird dadurch im Winter die Sonne nicht blockiert, und man kann die passive Sonnenenergie nutzen.

Zu beachten ist, dass zwischen der Begrünung und der transparenten/opaken Fläche ein gewisser Abstand besteht, um einen Hitzestau zu vermeiden.<sup>78</sup>

---

<sup>78</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.105ff.

Verglichen mit konventionellen Verschattungssystemen aus verschiedensten Materialien wie Aluminium, Holz etc. hat sich die Fassadenbegrünung als ein deutlich effektiveres Verschattungssystem erwiesen.<sup>79</sup> Durch die natürliche Wucherung der Pflanze richtet sie sich in den meisten Fällen zur Sonne, um möglichst viel Strahlung aufnehmen zu können, und garantiert somit auf die Verschattung bezogen eine sehr hohe Effizienz.<sup>80</sup> Die Höhe der Effizienz ist vor allem von der Dichte der Begrünung abhängig und somit existieren keine Kennzahlen, die auf jede Fassadenbegrünung zutreffen. Es gilt jedoch, je dichter die Blätter angeordnet sind, desto effektiver die Verschattung.<sup>81</sup>

#### 4.2.2. Verdunstung

Die Verdunstung ist ein sehr energieaufwendiger Prozess. Die Energie wird der Umgebung entnommen, wodurch es zur Verdunstungskühle kommt. Hier unterscheidet man die Photosynthese von der Evapotranspiration, in beiden Fällen handelt es sich um aktive Maßnahmen, die sich positiv auf den Wärmeschutz auswirken.

Die Evapotranspiration beschreibt die direkte Verdunstung durch Boden/Wasser und die Verdunstung durch die Pflanze. (genauer in Kapitel 3.1.2.)

Neben der Evapotranspiration hat auch noch die Photosynthese eine Verdunstungswirkung. Hierbei handelt es sich um eine sehr komplexe biochemische Reaktion. Als Energiequelle dient das Licht, das durch Sonnenstrahlung auf die Pflanze trifft. Weitere Elemente, die Voraussetzung sind, sind Wasser und Kohlendioxid, welches sich in der Luft befinden. Das Kohlendioxid wird durch die Pflanze aufgenommen und nach einer komplexen biochemischen Reaktion in der Pflanze wird Sauerstoff an die Umgebung abgegeben. Es gilt jedoch je mehr Wasser der Pflanze zur Verfügung steht, desto effektiver die Intensität der Photosynthese und der Transpiration (die direkte Verdunstung von Wasser der Pflanze). Daher ist eine

---

<sup>79</sup> Henri Rebers, Felix: Hortitecture, 1. Auflage. Berlin: Jovis Verlag 2018. S.192

<sup>80</sup> Hancvenc, Georg: Fassadengebundene Vertikalbegrünung. Wien: Institut für Universität für Bodenkultur Wien. Department für Bautechnik und Naturgefahren. Ingenieurbiologie und Landschaftsbau. Masterarbeit 2013. S.14

<sup>81</sup> Henri Rebers, Felix: Hortitecture, 1. Auflage. Berlin: Jovis Verlag 2018. S.192

ausreichende Wasserversorgung oberste Priorität für eine effektive Fassadenbegrünung. Entscheidend ist, dass sowohl die Verdunstung durch Evapotranspiration als auch die Photosynthese durch den großen Energieaufwand der Umgebung Wärme entzieht. Man spricht von der Verdunstungskühle.<sup>82</sup>

Durch die Kühlung der Umgebung kann sich die Oberfläche der Wand nicht so stark erhitzen, was sich im Weiteren auch auf den Innenraum auswirkt.

Die Temperaturunterschiede zwischen Wand, Pflanze und Luft sind jedoch von der Dichte und Art der Bepflanzung abhängig und variieren somit auch je nach Jahreszeit.<sup>83</sup>

#### **4.2.3. Pufferzone**

Durch die Pufferwirkung werden Wetter- bzw. Klimaextreme in gewisser Weise neutralisiert und dringen somit abgemindert zur Gebäudehülle durch. Dies führt dazu, dass die Begrünung eine dämmende Funktion hat und somit im Winter als auch im Sommer Energie für Heizung und Kühlung eingespart wird. Weiters wirkt sich diese Abminderung der Extremtemperaturen positiv auf die Lebensdauer der Baumaterialien aus. Durch den Schutz vor Niederschlägen und Spitzentemperaturen werden die Materialien geringer beansprucht und können somit eine längere Lebensdauer aufweisen, was sich als äußerst nachhaltig erweist.

Diese Pufferwirkung ergibt sich aus vielen Komponenten, die zusammenspielen. Neben der Verschattung und der Verdunstung spielt der Schutz vor Wittereinflüssen wie Regen und Wind eine große Rolle.<sup>84</sup>

Durch den Mantel aus Pflanzen wird der Wind, der auf die Gebäudehülle trifft, von den Blättern abgeschirmt und die Luftströmungsgeschwindigkeit minimiert. Hier ist zu beachten, dass starke auftretende Windböen, mit hoher Geschwindigkeit von

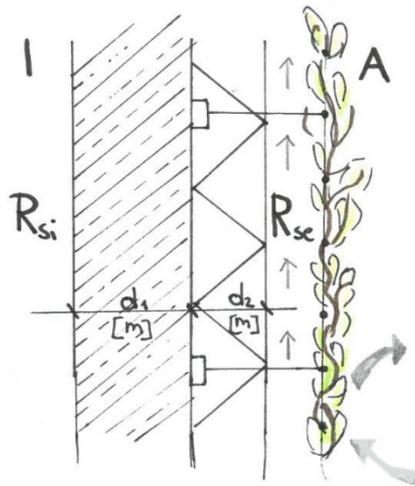
---

<sup>82</sup> Bohn, Kristin: Zur Rolle von Artenvielfalt und Variabilität im optimalen Verhalten von Ökosystemen. Jena: Friedrich-Schiller-Universität Jena. Diplomarbeit 2007. S.16-23

<sup>83</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.78f.

<sup>84</sup> Pitha, Ulrike/ Scharf, Bernhard/ Enzi, Vera u.a.: Leitfaden Fassadenbegrünung. 1. Auflage. Wien: AV+Astoria Druckzentrum GmbH 2013. S.7ff.

der Vegetationsschicht abgebremst werden, während schwächere Windströme von der Bepflanzung durchgelassen werden.<sup>85</sup> Dadurch kommt es hinter der Fassadenbegrünung unmittelbar auf der Gebäudehülle zu einer geringeren Luftströmung. Diese reduzierte Luftströmung wirkt sich somit auf den Wärmeübergangskoeffizienten und als Folgewirkung auch auf den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) aus.<sup>86</sup>



$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + R_{se}} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

$R_{si/se}$  ... Wärmeübergangswiderstand innen/außen  $[m^2 K/W]$   
 $\lambda$  ... Wärmeleitfähigkeit  $[W/mK]$

Abb. 18: U-Wert Berechnung

Vergleichbar ist dieser Effekt mit einer hinterlüfteten Fassade, bei welcher der Wert für den Wärmeübergangskoeffizient außen und innen als derselbe angenommen werden darf. Da die Luftströmung durch die vorgehängte Fassade reduziert wird, wird die Luft zwischen Wandkonstruktion und vorgehängte/ hinterlüftete Fassade als unbewegt bezeichnet und es kann der Wert des Wärmeübergangskoeffizienten innen verwendet werden. Der Wärmeübergangskoeffizient ist geringer, daher ist auch der damit berechnete U-Wert geringer.<sup>87</sup>

<sup>85</sup> Hagen, Katrin: Freiraum im Freiraum - Mikroklimatische Ansätze für die städtische Landschaftsarchitektur. Wien: Technische Universität. Institut für Städtebau. Landschaftsarchitektur und Entwerfen. Fachbereich Landschaftsplanung und Gartenkunst. Dissertation 2011. S.50

<sup>86</sup> Dunnett, Nigel/ Kingsbury, Noel: Planting green roofs and livingwalls. 1. Auflage. Portland: Timber Press Inc 2008. S.196

<sup>87</sup> Marti, Kurt: U- Wert - Berechnung und Bauteilkatalog. In: [https://www.fr.ch/sites/default/files/contens/sde/\\_www/files/pdf67/U-Wert-Berechnung\\_und\\_Bauteilkatalog\\_Neubauten\\_d.pdf](https://www.fr.ch/sites/default/files/contens/sde/_www/files/pdf67/U-Wert-Berechnung_und_Bauteilkatalog_Neubauten_d.pdf) (letzter Zugriff: 29.03.2019)

Nach diesem Prinzip wirkt ebenfalls die Fassadenbegrünung als ein energieeffektiver Schutz, wobei auch hier die Effizienz von der Bewuchsdichte, Blattgröße und Art der Begrünung (wandgebunden/bodengebunden) abhängig ist.<sup>88</sup> Weiter ist zu beachten, dass es sich beim U-Wert ausschließlich um die Wirkung handelt, jedoch darf bei begrünten Wänden der U-Wert nicht nach diesem Prinzip berechnet werden, da im Gegensatz zur hinterlüfteten Fassade bei der Begrünung die Wirkung nicht dauerhaft mit derselben Intensität vorhanden ist.

---

<sup>88</sup> Dunnett, Nigel/ Kingsbury, Noel: Planting green roofs and livingwalls. 1. Auflage. Portland: Timber Press Inc 2008. S.196

## 5. Herausforderungen von Fassadenbegrünungen

### 5.1. Kosten

Fassadenbegrünungen können je nach Begrünungs- und Pflanzenart mit sehr hohen Kosten verbunden sein. Die Kosten für Begrünungen setzen sich aus Anschaffungskosten, Kosten für Wartung der nötigen Technik und Pflege der Pflanzen zusammen.

Durch die aufwendigeren Systeme fallen bei wandgebundenen, im Gegensatz zur bodengebundenen Begrünung, sehr hohe Kosten in der Anschaffung an.<sup>89</sup> Laut Wiener Fassadenbegrünungsleitfaden ist bei wandgebundenen Fassaden mit Anschaffungskosten von 200 - 4000 €/m<sup>2</sup> zu rechnen, während die Kosten bei bodengebundenen Begrünungen nur zwischen 15 – 35 €/m<sup>2</sup> liegen.<sup>90</sup>

Zu berücksichtigen ist jedoch, dass bei Neubauten auf eine aufwendige und eventuell repräsentative Fassadengestaltung verzichtet werden kann, da sie sowieso von der Begrünung bedeckt wird. Durch Verminderung des Aufwandes der Gestaltung von Fassaden im Neubau werden Kosten gespart, welche grundsätzlich bei den Anschaffungskosten der Begrünung miteinberechnet werden müssen.<sup>91</sup>

Doch auch bei den Pflegekosten können sich durch die unterschiedlichen Pflanzenarten je nach Begrünung starke Differenzen ergeben. Sie werden von Wuchsverhalten der Pflanze, Begrünungssystem, Wasserversorgungs- Nährstoffanlage, Erreichbarkeit, Flächenausmaß und vielen weiteren Aspekten beeinflusst.

Neben den Kostenaufwänden ergeben sich nach „Inbetriebnahme“ auch finanzielle Einsparungen. Die ergeben sich durch Verminderung der Heiz- und Kühllasten und somit Reduzierung der Betriebskosten. Im Weiteren können durch innovative Anwendung von Begrünung auch auf technische Geräte, wie Verschattungselemente und Klimaanlage verzichtet werden. In diesen Fällen erspart man sich

---

<sup>89</sup> Pitha, Ulrike/ Scharf, Bernhard/ Enzi, Vera: Leitfaden Fassadenbegrünung. 1. Auflage. Wien: AV+Astoria Druckzentrum GmbH 2013. S.10

<sup>90</sup> Pitha, Ulrike/ Scharf, Bernhard/ Enzi, Vera u.a.: Leitfaden Fassadenbegrünung. 1. Auflage. Wien: AV+Astoria Druckzentrum GmbH 2013. S.23ff.

<sup>91</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.51

nicht nur die Anschaffungskosten dieser Geräte, sondern auch die Wartungskosten, welche weitaus höher anfallen als die der Begrünung. Durch den Schutz der Baumaterialien vor Schmutz und Niederschlag, wird eine längere Lebensdauer garantiert und so ebenfalls zu einer finanziellen Einsparung und zu einer nachhaltigen Nutzung führt.

Das Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen ist sehr individuell und unterscheidet sich durch zahlreiche Faktoren bei jeder einzelnen Begrünung. Daher lassen sich die finanziellen Aufwendungen nicht mit den Einsparungen gleichsetzen und auf jede Begrünung anwenden. Man geht jedoch davon aus, dass die Einsparungen über die gesamte Lebensdauer der Begrünung die anfallenden Mehrkosten durch Anschaffung, Pflege und Wartung decken.

In zahlreichen Städten gibt es effektive Förderungsprogramme, die für mehr Fassadenbegrünungen im urbanen Raum sorgen, somit einen Anteil der Kosten übernehmen und auch im Laufe der Planung und Umsetzung Unterstützung bieten.<sup>92</sup>

## **5.2. Wartung und Pflege**

Um Schäden an der Fassade zu vermeiden, muss die Begrünung regelmäßig gepflegt und gestutzt werden. Wie häufig und intensiv die Pflege stattfinden muss, ist abhängig von der Begrünungs- und Pflanzenart.<sup>93</sup>

Während bodengebundene Systeme nur etwa einmal jährlich gestutzt und gepflegt werden müssen, handelt es sich bei wandgebundenen Systemen um zwei- bis viermal im Jahr.

Bei Kletterpflanzen, die hauptsächlich bei der bodengebundenen Begrünung angewandt werden, ist es wichtig die Triebe bei Öffnungen wie Fenstern, Türen etc. zu stützen und die Pflanze so in Form zu halten. Weiters müssen die Pflanzen von Dachrinnen und sonstigen technischen Vorrichtungen ferngehalten werden, da sie

---

<sup>92</sup> Dettmar, Jörg/ Sieber, Sandra/ Pfoser, Nicole: Gutachten Fassadenbegrünung. Darmstadt: TU Darmstadt. Fachbereich Architektur. Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung. Gutachten 2016. S.32 ff.

<sup>93</sup> Finke, Cerstin/ Osterhoff, Julia: Fassaden begrünen. 1. Auflage. Taunusstein: Eberhard Blottner Verlag 2001. S.65

zu Verstopfungen führen und/oder durch ihre Spannung große Schäden anrichten können. Bei der bodengebundenen Fassade geht es somit hauptsächlich darum, die Pflanzen in die richtige Richtung zu leiten und gegebenenfalls einzugrenzen und zu stoppen, wenn sie Richtungen einnehmen, bei denen mit späteren Bauschäden zu rechnen ist.

Die wandgebundene Begrünung muss häufiger geprüft und gepflegt werden, da sie ein weitaus komplexeres System aufweist. Bei der Pflege muss ebenfalls die Vegetation gestutzt werden, Pflanzen, die verwelkt sind bzw. nicht mehr gedeihen, müssen ausgetauscht und die gesamte Begrünung muss mit Nährstoffen versorgt werden. Zusätzlich muss noch das Substrat überprüft und gegebenenfalls teilweise erneuert werden.

Auch die technischen Anlagen, wie Wasserversorgungs- und Nährstoffanlage, sind regelmäßig zu überprüfen. Daher macht es Sinn, die Pflanzenpflege und Wartung der technischen Geräte zu kombinieren. Zu beachten ist jedoch, dass die Pflanzenwartung in weitaus kürzeren Intervallen als die Wartung der technischen Geräte stattfinden muss.

Häufig sind bei Pflege und Wartung durch die Höhe und bedingte Erreichbarkeit der Begrünung Hebegeräte, wie beispielsweise eine Hubbühne notwendig, die ein Erreichen der Pflanzen ermöglichen.

### **5.3. Schäden**

Fassadenbegrünungen können häufig auch für Schäden am Gebäude sorgen. Schäden entstehen jedoch hauptsächlich bei falscher Anwendung und/oder nachlässiger Wartung und Pflege. In beiden Fällen können entweder die Begrünung und/oder das Gebäude Schäden davontragen, wobei letzteres mit stärkeren negativen Auswirkungen und somit auch höheren Kosten verbunden ist.

Ein häufiges Merkmal für eine fehlerhafte Anwendung sind Feuchteschäden. Sie können durch mangelnde Abdichtung, fehlerhafte Montage der Sekundärkonstruktion, falsche Dosierung der Wasserversorgung, zu geringen Abstand zur Wandkonstruktion und somit mangelnde Luftdurchflutung zustande kommen. Über-

schüssige Feuchte kann zur Schimmel- und Pilzbildung führen, wodurch Bauteile Langzeitschäden bekommen können.

Wenn die Gebäudehülle bereits vor der Begrünung Mängel aufweist, muss auf diese Mängel Rücksicht genommen werden, um weitere Schäden zu vermeiden. Dies betrifft beispielsweise Putzfassaden, die bereits Risse aufweisen. Sie sollten keinesfalls mit Selbstklimmer begrünt werden, da sich die Pflanze in die Risse zurückzieht, dort weiterwächst und die Risse somit verstärkt.

Kletterpflanzen sind im Allgemeinen aufgrund ihres ausbreitenden Wachstumes zu begrenzen und ihre Kräfte nicht zu unterschätzen. Durch mangelnde Begrenzung und Wartung können sie durch ihr schlingendes Wachstum Schäden an Dachrinnen und sonstigen technischen Anlagen (z.B. Lüftungsanlagen) anrichten.

Weiters können auch Schäden durch chemische Reaktionen entstehen, bzw. die Fassade sich negativ auf die Begrünung auswirken.

Um eine effiziente, langlebige Begrünung mit einem sehr geringen Schadensrisiko zu schaffen, müssen somit zahlreiche Faktoren wie Pflanzenart, Wuchsverhalten, Klima, Standort, Materialien, Konstruktion, Wandaufbau etc. aufeinander abgestimmt werden.

Um solch eine genaue Planung zu erlangen, ist es sinnvoll, Fachleute, wie Botaniker/innen, Architekt/innen, Bauingenieur/innen etc. mit einzubeziehen. Durch die jeweiligen Spezialgebiete kann auf die einzelnen Problemzonen eingegangen werden und dadurch Schadensrisiko und somit nachträgliche Mehrkosten enorm vermindert und die Fassadenbegrünung möglichst energieeffizient gestaltet werden.<sup>94</sup>

---

<sup>94</sup> Pfoser, Nicole: Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018. S.205ff.

## **6. Zusammenfassung**

Aus Folgenden in der Arbeit untersuchten Schwerpunkten ergibt sich, dass durch die vertikale Begrünung an der Fassade die Lebensqualität in Städten angehoben werden kann.

Es kann durch die Verbesserung des Mikroklimas adaptiv auf den Klimawandel eingegangen und somit besonders in den Sommermonaten für ein erträglicheres Klima gesorgt werden. Doch auch im Winter sorgt die Begrünung durch ihre dämpfende Wirkung für mildere Temperaturen im Innenraum. Durch diese Effekte wird der Energieverbrauch für die Heizung und Kühlung der Innenräume minimiert und kann somit Teil eines nachhaltigen Energiekonzeptes sein.

Neben dem Wärmeschutz im Innenraum und der positiven Auswirkung auf das Mikroklima sorgt die Begrünung auch für eine bessere Luftqualität, Lärmreduzierung und mehr Biodiversität in Städten.

Durch richtige Anwendung und Planung durch Spezialisten können langlebige energieeffiziente Begrünungen geschaffen werden, welche die einen oder anderen Vorurteile aus dem Weg räumen.

Zusammengefasst handelt es sich um ein System, das Städte durchaus aufwerten kann und sehr viel Zukunftspotential mit sich bringt.

## Quellenverzeichnis

### Monographien, Promotions- und Habilitationsschriften, Diplomarbeiten

**Bohn, Kristin:** Zur Rolle von Artenvielfalt und Variabilität im optimalen Verhalten von Ökosystemen. Jena: Friedrich-Schiller-Universität Jena. Diplomarbeit 2007.

**Hagen, Katrin:** Freiraum im Freiraum -Mikroklimatische Ansätze für die städtische Landschaftsarchitektur. Wien: Technische Universität, Institut für Städtebau, Landschaftsarchitektur und Entwerfen, Fachbereich Landschaftsplanung und Gartenkunst. Dissertation 2011.

**Hancvencel, Georg:** Fassadengebundene Vertikalbegrünung. Wien: Institut für Universität für Bodenkultur Wien. Department für Bautechnik und Naturgefahren. Ingenieurbiologie und Landschaftsbau. Masterarbeit 2013.

**Henri Rebers, Felix:** Hortitecture. 1. Auflage, Berlin: Jovis Verlag 2018.

**Kampusch, Verena:** Grün findet Stadt. Wien: Technische Universität Wien. Masterarbeit 2018.

**Kindig, Mario:** Qualitätsmerkmale einer Lärmkartierung auf Crowdsourcing-Basis -Erfassung, Aufbereitung und Präsentation gezeigt an einem Beispiel. Wien: Universität Wien. Masterarbeit 2014.

**Pfoser, Nicole:** Vertikale Begrünung. Fachbibliothek grün. 1. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 2018.

### **Sammelwerke**

**Breuste, Jürgen/ Pauleit, Stephan/ Haase, Dagmar u.a.:** Stadtökosysteme-Funktion, Management und Entwicklung. 1. Auflage. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016.

**Dettmar, Jörg/ Sieber, Sandra/ Pfoser, Nicole:** Gutachten Fassadenbegrünung. Darmstadt: TU Darmstadt. Fachbereich Architektur. Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung. Gutachten 2016.

**Dunnett, Nigel/ Kingsbury Noel:** Planting green roofs and living walls, 1. Auflage, Portland: Timber Press Inc 2008

**Finke, Cerstin/ Osterhoff, Julia:** Fassaden begrünen. 1. Auflage. Taunusstein: Ebehrhard Blottner Verlag 2001.

**Gonzalez, Silvia/ Heidenreich Wolfgang/ Schmidt Alexandra u.a.:** Praxisratgeber Gebäudebegrünung. 1. Auflage. Andechs: Ulenspiegel Druck GmbH & Co KG 2015.

**Hutter, Hans-Peter/ Wallner, Peter/ Allex, Brigitte u.a.:** Klima und Gesundheit. Klagenfurt. 1. Auflage: Kreiner Druck 2013.

**Pitha, Ulrike/ Scharf, Bernhard/ Enzi, Vera u.a.:** Leitfaden Fassadenbegrünung. 1. Auflage. Wien: AV+Astoria Druckzentrum GmbH 2013.

**Seipel, Holger/ Jens Schmitt, Wiefelstede/ Bietenbeck, Martin:** Fachkunde- für Garten- und Landschaftsbau. 7. Auflage. Hamburg: Verlag Dr. Felix Büchner 2017.

**Späh, Moritz/ Weber, Lutz/ Österreicher, Timo u.a.:**Schallschutzpflanzen – Optimierung der Abschirmwirkung von Hecken und Gehölzen. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Forschungsbericht. 2011.

**Stiles, Richard/ Hagen, Kathrin/ Trimmel, Heidi:** Wirkungszusammenhänge Freiraum und Mikroklima. Wien. 2010.

### **Skripten**

**Grimm, Karl:** Wasser und Gebäude. Wien: FH - Campus Wien. Skriptum SS2019.

### **Internet**

**Bähr, Jürgen:** Einführung in die Urbanisierung. In: [https://www.berlin-institut.org/fileadmin/user\\_upload/handbuch\\_texte/pdf\\_Baehr\\_Einfuehrung\\_Urbanisierung\\_2011.pdf](https://www.berlin-institut.org/fileadmin/user_upload/handbuch_texte/pdf_Baehr_Einfuehrung_Urbanisierung_2011.pdf) (letzter Zugriff: 15.04.2019)

**Eberle, Janine:** Fassadenbegrünung, Vorteile, Wissenswertes und praktische Beispiele. In: [https://www.naturundwirtschaft.ch/de/assets/Dateien/Bilder/Publikationen/Fassade\\_nbegr%C3%BCnungJE.pdf](https://www.naturundwirtschaft.ch/de/assets/Dateien/Bilder/Publikationen/Fassade_nbegr%C3%BCnungJE.pdf) (letzter Zugriff: 18.04.2019)

**Enzi, Vera/ Verband für Bauwerksbegrünung:** Grüne Bauweise für Städte der Zukunft. In: [http://www.gruenstadtklima.at/download/leitfaden\\_GSK.pdf](http://www.gruenstadtklima.at/download/leitfaden_GSK.pdf) (letzter Zugriff: 31.03.2019)

**FBB Fachvereinigung Bauwerksbegrünung E.V.:** Grüne Innovation Fassadenbegrünung. In: <https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Fassadenbegruenung/FBB-Fassadenbegruenung.pdf> (letzter Zugriff: 12.04.2019)

**Forkel, Matthias:** Strahlungs- und Wärmehaushalt der Erde. In: <http://www.klima-der-erde.de/strahlungshshlt.html> (letzter Zugriff: 23.04.2019)

**Gorbacheevskaya, Olga/ Herfort, Susanne:** Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen. In: [https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-untersuchungen/F001\\_feinstaubbindung.pdf](https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-untersuchungen/F001_feinstaubbindung.pdf) (letzter Zugriff: 16.04.2019)

**Hahn, Nadja:** „Trockene Luft“ und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. In: [https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2007\\_009.pdf](https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2007_009.pdf) (letzter Zugriff: 17.04.2019)

**Hala,Victoria:** Pflanzentröge zur Begrünung der Stadt. In: <https://smartcity.wien.gv.at/site/50-gruene-haeuser/> (letzter Zugriff: 23.04.2019)

**Jaeschko, Scott:** Pflanzen schwitzen besser. In: <https://www.pflanzenforschung.de/index.php?cID=8884>

(letzter Zugriff: 09.04.2019)

**Koch, M.:** FG Geohydraulik und Ingenieurhydrologie. In: [https://www.uni-kassel.de/fb14/geohydraulik/Lehre/Hydrologie\\_I/skript/IngHydro5.pdf](https://www.uni-kassel.de/fb14/geohydraulik/Lehre/Hydrologie_I/skript/IngHydro5.pdf)

(letzter Zugriff: 16.04.2019)

**Lehr, Ursula:** Alterung der Bevölkerung. In : [https://www.berlin-institut.org/fileadmin/user\\_upload/handbuch\\_texte/pdf\\_Lehr\\_Alterung\\_aktualisiert\\_2013.pdf](https://www.berlin-institut.org/fileadmin/user_upload/handbuch_texte/pdf_Lehr_Alterung_aktualisiert_2013.pdf) (letzter Zugriff: 15.04.2019)

**Marti, Kurt:** U- Wert -Berechnung und Bauteilkatalog. In: [https://www.fr.ch/sites/default/files/contens/sde/\\_www/files/pdf67/U-Wert-Berechnung\\_und\\_Bauteilekatalog\\_Neubauten\\_d.pdf](https://www.fr.ch/sites/default/files/contens/sde/_www/files/pdf67/U-Wert-Berechnung_und_Bauteilekatalog_Neubauten_d.pdf) (letzter Zugriff: 29.03.2019)

**Mooshammer, Hanns:** Luftschadstoffe und Gesundheitsgefahren. In: <https://www.gesundheit.gv.at/leben/umwelt/luftschadstoffe/gesundheitsgefahren> (letzter Zugriff: 17.04.2019)

**Pitha, Ulrike/ Scharf, Bernhard/ Enzi, Vera u.a.:** Grüne Bauweise für Städte der Zukunft. In: [http://www.gruenstadtklima.at/download/leitfaden\\_GSK.pdf](http://www.gruenstadtklima.at/download/leitfaden_GSK.pdf)

(letzter Zugriff: 15.04.2019)

**Schneider, Martin/ Gaal, Gabor:** Fakten zu Feinstaub und Sickoxiden. In: <https://www.swr.de/abgasalarm/wie-schaedlich-die-luftverschmutzung-wirklich-ist-8-fakten-zu-feinstaub-und-stickoxiden/-/id=18988100/did=18971804/nid=18988100/12nqid0/index.html>

(letzter Zugriff: 16.04.2019)

**Törring, Jens Thoms:** Absorption, Reflexion und Brechung. In:  
<https://www.sonntaler.net/dokumentation/wiss/optik/weiter/reflexion/>

(letzter Zugriff: 20.04.2019)

**Wolf Christian:** Strahlungsbilanz und Geographische Verteilung. In:  
[http://www.physik.uni-regens-burg.de/forschung/gebhardt/gebhardt\\_files/skripten/Strahlungsbilanz.Wolf.pdf](http://www.physik.uni-regens-burg.de/forschung/gebhardt/gebhardt_files/skripten/Strahlungsbilanz.Wolf.pdf)

(letzter Zugriff: 20.04.2019)

