



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna | Austria

## DIPLOMARBEIT

# Nachhaltige Architektur mit bionischen Entwicklungen bei großvolumigen Bauten

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
einer Diplom-Ingenieurin unter der Leitung von

Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Fadai Alireza

E259-02

Forschungsbereich Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

**Katharina Neumeister**

1427172

Wien, im November 2020

---

Unterschrift

Um den Lesefluss zu erleichtern, sind sämtliche personenbezogenen  
Bezeichnungen geschlechtsneutral zu verstehen.

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit „Nachhaltige Architektur mit bionischen Entwicklungen bei großvolumigen Bauten“ selbstständig verfasst habe. Die verwendeten Quellen und Hilfsmittel sind im Quellenverzeichnis aufgelistet; zitierte und inhaltlich entnommene Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die Arbeit mit Hilfe eines Plagiaterkennungsdienstes auf dem derzeitigen Stand der Technik überprüft wird, um den hohen Qualitätsvorgaben der TU gerecht zu werden und Verletzungen meines persönlichen Urheberrechts durch einen Abgleich mit anderen Abschlussarbeiten zu vermeiden.

---

Datum

---

Unterschrift

# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	6
Abstract.....	7
1. Bionik.....	8
1.1. Begriffserklärung .....	8
1.2. Sensorik .....	9
1.3. Robotik .....	10
1.4. Soziales Verhalten / Soziale Strukturen .....	10
1.5. Praktische Beispiele .....	11
2. Bionik in der Architektur .....	13
2.1. Adaptive Gebäudehüllen .....	13
2.1.1. Allgemeines.....	13
2.1.2. Bionische Komponente .....	14
2.1.3. Technische Lösungen .....	16
2.2. Leichtbaukonstruktionen .....	18
2.2.1. Allgemeines.....	18
2.2.2. Bionische Komponente .....	19
2.2.3. Technische Lösungen .....	21
2.3. Klimatisierung und Lüftung.....	24
2.3.1. Allgemeines.....	24
2.3.2. Bionische Komponente .....	25
2.3.3. Technische Lösungen .....	26
3. Basis der Nachhaltigkeit.....	38
3.1. Energieeffizienz.....	38
3.1.1. Geschichte des energieeffizienten Bauens .....	38
3.1.2. Grundlagen in der Planung .....	40
3.1.3. Allgemeine Maßnahmen .....	42

3.1.4.	Einteilung nach Wärmegewinnung .....	43
3.1.5.	Beispiele für energieeffiziente Bauelemente .....	46
3.2.	Ressourceneffizienz .....	49
3.2.1.	Materialeffizienz .....	49
3.2.2.	Nachnutzung .....	55
3.2.3.	Effiziente Flächennutzung .....	56
3.3.	Lebenszyklusbetrachtung.....	57
3.3.1.	Begriffserklärung Ökobilanzierung .....	57
3.3.2.	Analyse der Lebenszyklusphasen .....	59
3.3.3.	Vergleich technische und wirtschaftliche Lebensdauer .....	61
3.3.4.	Zusammensetzung der Lebenszykluskosten.....	63
4.	Leitfaden für Planer .....	66
4.1.	Grundlagen .....	66
4.1.1.	Planung .....	66
4.1.2.	Ausführung .....	68
4.1.3.	Nutzung.....	73
4.2.	Details .....	75
4.2.1.	Gebäudehülle – Sonnenschutz .....	75
4.2.2.	Gebäudehülle – Lüftung .....	78
4.2.3.	Solaranlage .....	84
4.2.4.	Begrünung.....	86
5.	Schlussfolgerung.....	89
	Quellenverzeichnis .....	91
	Abbildungsverzeichnis.....	93
	Detailverzeichnis.....	97
	Tabellenverzeichnis.....	98

## Kurzfassung:

Diese Diplomarbeit befasst sich mit nachhaltiger Architektur unter der Zuhilfenahme bionischer Entwicklungen, speziell im Bereich großvolumiger Bauten. Als „bionische Entwicklungen“ werden Objekte und Wirkungsweisen bezeichnet, die sich aus der Beobachtung und dem Verständnis der Natur gemeinsam mit der Technik entwickelt haben. Unter dem Begriff „großvolumige Bauten“ werden Gebäude zusammengefasst, die aufgrund ihrer Größe und ihres Volumens nicht von Einzelpersonen, sondern von privaten oder öffentlichen Bauträgern in Auftrag gegeben werden. Auf eine geplante Nutzung der Bauten, wie Wohnen, Arbeiten oder Lernen, wird nicht näher eingegangen. Denn eine nachhaltige Bauweise sollte unabhängig vom Nutzungstyp angestrebt werden. Im Grunde verfolgen die verschiedenen Nutzungstypen nämlich das gleiche Ziel: eine Umgebung zu schaffen, in der Menschen, unabhängig von ihrer Aufenthaltsdauer, zufrieden sind und sich wohl fühlen. Zudem haben großvolumige Bauten in nachhaltiger Bauweise eine stärkere Auswirkung auf die Umwelt, als ein einfaches Einfamilienhaus in derselben Bauweise.

Zuerst wird die Bionik an sich erklärt, was der Begriff bedeutet und woraus er sich zusammensetzt. Einige Beispiele sollen einen Einblick in Bereiche geben, die möglicherweise zwar bekannt sind, aber der Bionik anhand von Unkenntnis nicht zugeordnet werden. Es werden praktische Beispiele gebracht, die im direkten Vergleich zu ihren natürlichen Pendants stehen.

Darauf folgt eine Auflistung von Einsatzbereichen bionischer Entwicklungen in der Architektur. Es wird auf die Ursprünge und die Wirkungsweise dieser Entwicklungen eingegangen. Anhand von Abbildungen gebauter Beispiele wird die Umsetzbarkeit gezeigt.

Anschließend wird ein Überblick der Wirtschaftlichkeit von nachhaltiger Architektur gegeben. Es werden sowohl die Energieeffizienz als auch die Ressourceneffizienz und die Lebenszyklusbetrachtung näher beleuchtet und erklärt.

Zum Abschluss werden Vorschläge gebracht, um die Planung von nachhaltiger Architektur zu vereinfachen. Praxisbezogene Beispieldetails werden zu diesem Zwecke unterstützend aufgeführt.

## Abstract:

This Master's Thesis deals with the subject of sustainable architecture with the help of bionic designs, especially in regards to large-volume buildings. Objects and effects, which are evolving from observing and understanding nature together with technical influences, are referred to as "bionic designs". The term "large-volume buildings" refers to buildings, which are commissioned by private or public developers rather than individuals because of their dimension and building volume. The planned use of these buildings, like living, working or learning, is not considered. For a sustainable architecture should be pursued regardless of the usage. The different types for using a building have essentially all the same goal: to create an environment for people to feel satisfied and be comfortable, regardless of the duration of their stay. Furthermore, large-volume buildings with sustainable designs have a greater impact on the environment than a simple family home in the same design.

At first the term bionic is explained and from where it originates. Some examples are given, which may be known, but possibly not correlated with bionic due to lack of knowledge. Practical examples are also directly compared to their natural counterpart.

Thereupon follows a list of bionic designs in the area of architectural use. The origin and the effect of these designs are going to be explained. Pictures of already built constructions show the feasibility of them.

Adjacent is an overall view of the efficiency of sustainable architecture. Energy efficiency as well as resource efficiency and an examination of the life cycle are looked at and interpreted.

Lastly, suggestions are being made for simplifying the planning process of sustainable architecture. For better understanding, details of already built examples are listed.

# 1. Bionik

## 1.1. Begriffserklärung

Bionik ist ein Begriff, der sich aus Biologie und Technik zusammensetzt. Grob kann man die Bionik auch als das „Studium des Lebens“ bezeichnen. Der Begriff hat sich erst in der Mitte des 20. Jahrhunderts etabliert; das Wissen und die Umsetzung bionischer Abläufe gibt es aber schon seit hunderten von Jahren.

Als Urvater der Bionik gilt Leonardo da Vinci (1452 - 1519). Mit seinem „Kodex über den Vogelflug“ hat er die Tiere und deren Verhalten analysiert, um so erste Entwürfe für Flugmaschinen anzufertigen. Leider gelangen ihm das Abheben und Fliegen noch nicht. Erst viele Jahre später war Otto Lilienthal (1848 - 1896) der Durchbruch geglückt. Mit der Entdeckung des Auftriebs gelangen ihm erste erfolgreiche und vor allem wiederholbare Gleitflüge.

In der Bionik geht es nicht um das Kopieren oder Nachahmen von natürlichen Mechanismen, sondern darum, sie zu verstehen und zu abstrahieren. Bionische Erfindungen müssen mehr als nur das Aussehen aus der Natur haben. Dazu zählen zwei der wichtigsten Naturgrundsätze:

1. „Die Natur verschwendet nichts. [...] So wenig wie möglich, so viel wie nötig, [...]“ (Benett & Tanaka, 2016, S. 19) Oft wird nur auf die Technisierung von Prozessen Wert gelegt, anstatt Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung zu berücksichtigen.
2. Die Natur ist ein System aus geschlossenen Kreisläufen, was bedeutet, dass die Wiederverwertung bzw. Wiedereingliederung von verbrauchten Stoffen eine unumstrittene Umwelt-, Emissions- und Abfallbilanz schafft.

Nur weil etwas bionisch aussieht, muss es das nicht sein. In der Architektur werden optisch an die Natur erinnernde Lösungen als bionische Konzepte verkauft, obwohl sie die eigentlichen Leitideen, wie z.B. Nachhaltigkeit, Form- und Materialeffizienz oder dynamische Bauelemente, nicht berücksichtigen. So können Gebäude auch biomorphe Formen haben, was allerdings nicht bedeutet, dass bionische Konzepte im Entwurf oder der Ausführung verwendet wurden.

In unserem schnelllebigen Zeitalter ist vor allem wichtig, schnell eine Lösung für ein Problem zu finden. „3,8 Milliarden Jahre Evolution bedeuten Milliarden Jahre der experimentellen Forschung, des Auswertens und Verbesserns durch Selektion und Mutation.“ (Benett & Tanaka, 2016, S. 16) Die Zeit, die die Natur sich mit der Evolution nimmt, haben Wissenschaftler nicht. Um schnellstmöglich Antworten auf moderne Problemstellungen zu finden, gilt es die bereits vorhandenen Lösungen aus der Natur als Vorlage zu nehmen.

## 1.2. Sensorik

Die Sensorik befasst sich mit der Aufnahme von äußeren und inneren Reizen. Mit der Bionik im Hinterkopf geht es darum, dem Menschen mit Hilfe von bionischen Erfindungen genauere Auswertungen liefern zu können. Hier spielen hauptsächlich Tiere eine Hauptrolle.

Der Schwarze Kiefernprachtkäfer ist den Wissenschaftlern ein Ideengeber. Dieser spezielle Käfer kann durch seine besondere Wahrnehmung über große Entfernungen hinweg Infrarotwellen eines Feuers im Wald spüren. Denn nur in frisch abgebrannte Kiefern kann er seine Eier legen. Die daraus schlüpfenden Nachkommen ernähren sich nämlich ausschließlich von dem verbrannten Holz. Die Eigenschaft, auf weite Distanzen eine Wärmequelle zu orten, will sich die Forschung zu Nutzen machen und ein Frühwarnsystem für Waldbrände entwickeln. Zur Zeit werden Kameras auf hohen Gebäuden, Mobilfunkmasten oder dergleichen angebracht und können einen Radius von bis zu 15km überwachen. (vgl. [www.waldwissen.net](http://www.waldwissen.net), 2011: o.S.) Da die Bildverarbeitungssoftware zwar auch sehr geringe Rauchentwicklungen erfasst, aber nicht zwischen Staubaufwirbelung und Rauch unterscheiden kann, könnte die zusätzliche Ausstattung mit einem Infrarot- Messgerät von großem Nutzen sein.

Die Echolottechnik der Fledermäuse wurde zur Fertigung von Blindenstöcken untersucht. Mit Hilfe ihres Echoortungssystems können sich Fledermäuse in absoluter Dunkelheit frei bewegen und sich auf Nahrungssuche begeben. Dabei senden sie Ultraschallwellen aus, die von Objekten reflektiert werden. Die reflektierten Wellen werden dann in ihren Gehirnen zu Informationen umgewandelt, sodass sie wissen, in welcher Entfernung und wie schnell und ob sich etwas bewegt. Bei den Blindenstöcken werden ebenfalls Ultraschallwellen ausgesandt und lassen die blinde Person über Vibrationssignale wissen, wie weit entfernt sich Hindernisse befinden.

Das Seitenlinienorgan von Fischen und anderen, dauerhaft im Wasser lebenden Tieren, ist auch als Ferntastsinn bekannt. Das einfachste Beispiel bilden hier z.B. Schwarmfische wie Sardinen. Sie schwimmen in riesigen Gruppen um sich vor Fressfeinden zu schützen, stoßen allerdings nie aneinander an. Dies gelingt ihnen auf Grund des Seitenlinienorgans. Selbst geringste Druckunterschiede vom Nachbarfisch können so wahrgenommen und die Reaktion darauf angepasst werden. In die Technik übertragen bedeutet das ein System zum Aufspüren von Leckagen (undichte Stellen) in Rohrsystemen zu entwickeln, die durch Unregelmäßigkeiten in der Strömungsgeschwindigkeit auffindbar werden.

### 1.3. Robotik

Die Robotik lehnt sich nicht nur an die Natur an, sondern versucht sie so genau wie möglich zu kopieren. Mitte der 90er-Jahre wurde vermehrt auf die Entwicklung von sogenannten Laufrobotern Wert gelegt. Diese Maschinen besitzen vier, sechs oder acht Beine und sind Spinnen und Stabheuschrecken nachempfunden. Die Anzahl der Beine und deren Gelenke lassen einen größeren Bewegungsradius zu. So ist es möglich, Unebenheiten oder Hindernisse, extreme Steigungen und Gefälle mühelos zu überwinden.

### 1.4. Soziales Verhalten / Soziale Strukturen

Nicht nur auf technischer Ebene kann die Natur uns ein Vorbild sein. Gerade am Arbeitsplatz können einige tierische Verhaltensweisen lehrreich sein.

Honigbienen sind z.B. als eine Gemeinschaft zu betrachten. Sie bauen gemeinsam, heizen den Bienenstock, füttern sich gegenseitig und gehen gemeinsam auf Futtersuche. Innerhalb eines Volkes gibt es kein Konkurrenzverhalten. Umgelegt auf die Arbeitswelt der Menschen bedeutet das, dass Teamarbeit sehr wichtig ist. Gemeinsam an etwas zu arbeiten und zu erreichen ist für alle Beteiligten ein Erfolg.

Auf Managementebene sind die Wölfe das Vorbild. Leitwolf und Leitwölfin geben den Ton an. Was wird gejagt, wo wird gelebt? Und wenn ein Mitglied des Rudels seine Aufgaben nicht erledigt/ erledigen kann, wird es vertrieben. Manager können von diesem Hierarchieverhalten lernen, wie sie ihr „Rudel“, die Mitarbeiter, sinnvoll führen können. Sie passen auf ihr Team auf und verteilen die Arbeit an diejenigen, die den Aufgaben gewachsen sind. Gibt es Mitarbeiter, die nicht mehr ins Team passen oder nicht zufriedenstellend arbeiten, werden die aus dem Betrieb entfernt. Dabei sollte immer ein Gleichgewicht zwischen Kooperation und Konkurrenz, bzw. eine sinnvolle Ausübung dieser, wichtig sein.

Das Verhalten von Ameisen, die Nahrungssuche betreffend, kann sehr lehrreich sein. Auf dem Hinweg zur Futterquelle und dem Zurückweg zum Ameisenhügel hinterlassen sie Duftspuren, denen die Ameisen einfach folgen können. So müssen sie sich nicht selber einen Weg suchen, sondern können sich auf den „duftenden“ Trampelpfad verlassen. Wenn dann die Futterquelle versiegt, wird einfach eine neue Duftspur zu einer neuen Quelle gelegt und die alte Spur verblasst.

Diese „Schwarmintelligenz“ dient der Entwicklung von Simulationsprogrammen, die sich mit der Logistik von Unternehmen beschäftigen. Arbeitsabläufe und (Liefer-) Wege werden auf ihre Effektivität geprüft. So könnten doppelte Handgriffe und unnötige Umwege vermieden werden. Ein reibungsloser Ablauf wäre das Ziel.

## 1.5. Praktische Beispiele

Die in vorherigen Punkten beschriebenen Beispiele sind zum Teil noch in der Forschung oder erst in der Testphase. Nachfolgend werden nun drei bekanntere Beispiele angeführt.

Das wohl bekannteste bionische Produkt ist der Klettverschluss. Der Schweizer Ingenieur Georges de Mestral konnte die Eigenschaft der Kletten in ein Produkt entwickeln, das bis heute einen großen Stellenwert bei reversiblen Verbindungen einnimmt. Kletten besitzen Widerhaken und können somit an vielen Oberflächen hängen bleiben. (siehe Abb. 1) Die beiden Seiten eines Klettverschlussstreifens sind das perfektionierte Prinzip. Eine Seite besteht aus kleinen Widerhaken und die andere aus kleinen Schlaufen, die sich beim zusammenfügen ineinander verhaken. (siehe Abb. 2)



Abbildung 1: Blütenkorb einer Klette

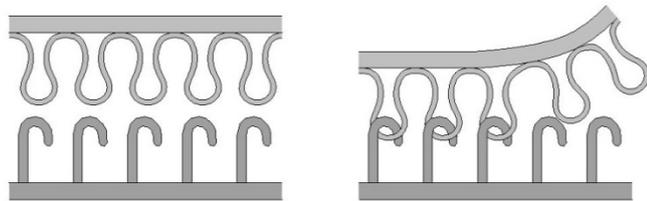


Abbildung 2: Schemaskizze Klettverschluss

Der Lotus-Effekt ist ebenfalls ein sehr bekanntes Produkt der Bionik. Die selbstreinigende Eigenschaft der Lotuspflanze (siehe Abb. 3) wurde auch bei vielen anderen Pflanzenarten und sogar Flügeln einiger Insektenarten entdeckt. Grund für das Abperlen von Schmutz und Wasser sind mikroskopisch kleine Noppenoberflächen, die hydrophob, also wasserabweisend, beschichtet sind. Durch die Noppen können sich Wassertropfen nicht „festhalten“. Schmutzpartikel werden durch abperlendes Tauwasser oder Regen vom Blatt geschwemmt. (siehe Abb. 4)



Abbildung 3: Nahaufnahme eines Blattes mit Lotus-Effekt

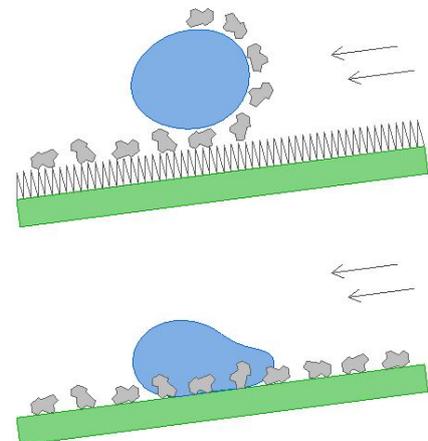


Abbildung 4: Schemaskizze einer Oberfläche mit (oben) und ohne (unten) Lotus-Effekt

Eine weitere, sehr wichtige Entdeckung kommt aus der Tierwelt. Der „Fog-Trapping-Bettle“ aus den Wüsten Namibias schafft es, in einer feindseligen Umgebung zu leben. Tagsüber verkriecht er sich im sandigen Boden, um sich vor der Sonne und der Hitze zu schützen. In der Abenddämmerung, oder der Morgendämmerung, je nachdem wann der Nebel von der Küste die Dünen erreicht, kommen die Käfer aus ihrem Versteck und klettern auf die höchste Düne. Dort ist die Luft am feuchtesten. Auf den Kopf gestellt kondensiert auf ihrem gesamten Körper dann das Tauwasser und rinnt direkt in ihre Mundöffnung. (siehe Abb. 5) In der Atacama-Wüste in Nordchile hat man in Küstennähe diesen Effekt nachgeahmt. Vertikal gespannte, feinmaschige Netze dienen als Kondensationsfläche für die Nebelfeuchtigkeit, die sich in der Morgendämmerung bildet. Auf diese Weise können bis zu zehn Liter Trinkwasser pro Quadratmeter und pro Tag gewonnen werden. (vgl. Kesel, 2005, S. 43)

Die deutsche Firma aqualonis erforscht und entwickelt die Nebelfänger und vermarktet sie unter dem Namen CloudFisher®. (siehe Abb. 6)



Abbildung 5: Zeichnung eines „Fog-Trapping-Beetles“



Abbildung 6: Nebelfänger an der Küste Marokkos

## 2. Bionik in der Architektur

Des Öfteren werden Gebäude in einer speziellen Bauweise oder mit einer speziellen Technik gebaut, ohne ihren Ursprung zu kennen. Manche dieser in den üblichen Gebrauch übergegangenen Ausführungen haben ihren Ursprung in der Natur, was in den folgenden Unterkapiteln näher beleuchtet wird.

### 2.1. Adaptive Gebäudehüllen

#### 2.1.1. Allgemeines

Gebäudehüllen bilden eine Trennung zwischen Innen und Außen und erfüllen viele Anforderungen gleichzeitig. (siehe Abb. 7) Umwelteinflüsse wie Regen, Schnee, Wind, Hitze oder Kälte werden vom Eindringen abgehalten. Anforderungen, die für die Behaglichkeit und Zufriedenheit der Menschen sorgen, sind auch zu berücksichtigen. Hier ist nicht nur die Belichtung und Belüftung der Räume ein wichtiger Aspekt. Der Bezug nach außen sollte über einen Ausblick aus dem Fenster gegeben sein. Im Gegensatz dazu sollte der Einblick in das Geschehen im Gebäude, je nach Nutzung, nur eingeschränkt oder nicht möglich sein. Ein weiterer Punkt ist der Schutz vor Verkehrs- und Umgebungslärm. Im Großen und Ganzen wird diese Anforderung von der Gebäudedämmung oder den Isolierverglasungen der Fensterelemente übernommen. Diese sorgen zudem für eine Isolierung gegen hohe Temperaturunterschiede zwischen Innen und Außen. Des Weiteren sollte die Gebäudehülle eine stetige Wasserdampfdiffusion zulassen können, um Schäden von kondensiertem Wasser in der Konstruktion vorzubeugen.



Abbildung 7: Anforderungen an die Gebäudehülle

An und für sich muss sich eine Gebäudehülle nicht verändern können, da sie schon genug Aufgaben zu erfüllen hat. Aber vor allem was den Sonnenschutz eines Gebäudes angeht, besteht noch Verbesserungsbedarf. Zumeist findet man innen- oder außenliegende Jalousien, die man entweder elektrisch oder manuell bedienen kann. Beide Varianten kämpfen mit Schwierigkeiten, die sich unweigerlich ergeben.

Bei den außenliegenden Jalousien ist der größte Feind der Wind. Vor allem im Hochhausbau, wo in den oberen Geschoßen noch größere Windgeschwindigkeiten herrschen können als am Boden, wird auf besonders stabile Konstruktionen geachtet. Stabilität wird hier durch massivere Befestigungen erreicht, die manchmal nicht dem eleganten, filigranen Bild des Architekten entsprechen. Verzichtet man auf die besondere Stabilität und geht nur nach dem Aussehen, können verbogene Lamellen oder locker gewordene Befestigungen die Folge sein.

Bei den innenliegenden Jalousien ist die Problematik eine andere. Da sie auf der Innenseite des Fensters liegen, kommen die Sonnenstrahlen bereits in das Gebäude. Auch wenn sie danach von der Jalousie aufgehalten werden, erwärmt sich der Zwischenraum zwischen Fenster und Lamelle. Durch eine stetige Luftzirkulation im Raum verteilt sich die Wärme und erwärmt schließlich den gesamten Raum.

Eine andere Lösung für außen liegenden Sonnenschutz bieten Vorsprünge. Da in den meisten Fällen Gebäude direkt an die Baugrenze gebaut werden, dürfen die Vorsprünge, in diesem Fall Überstände über die Baulinie, nur bedingt weit auskragen. Da die Sonnenstrahlen aber in verschiedensten Winkeln über den Tag verteilt einfallen, sind die Vorsprünge nur eingeschränkt wirksam. Sind die Auskragungen nicht weiter geregelt, kann man sie trotzdem nicht willkürlich lange auskragen lassen. Ab einer gewissen Tiefe verschatten sie zu stark, was vor allem an bewölkten Tagen eine zusätzliche Beeinträchtigung für die Belichtung birgt.

Als abschließendes Beispiel für außenliegenden Sonnenschutz dienen Systeme, die nicht vertikal, und damit parallel, zur Fassadenebene befestigt werden. In dieser Kategorie landen Sonnensegel oder Markisen. Bei kleineren Gebäuden können Markisen durchaus Sinn machen; bei großen Hochhäusern ist die Überlegung dahingehend auf Grund des hohen Windaufkommens und der damit entstehenden Belastung sinnbefreit. Sonnensegel haben ebenfalls eine eher einseitige Verwendung. Zur Überspannung von Plätzen oder Innenhöfen sind sie sehr gut geeignet, aber für vertikale Einsatzbereiche gibt es bereits Jalousien.

### 2.1.2. Bionische Komponente

In der Natur gibt es an und für sich keinen Sonnenschutz. Blumen und Bäume benötigen Sonnenlicht für die Photosynthese und Tiere suchen sich einfach schattige Plätze. Als indirekter Sonnenschutz fungiert das Blätterdach in dicht bewachsenen Waldgebieten und Regenwäldern. Durch die üppige Bewachsung der Bäume kann nur wenig Sonnenlicht bis auf den Waldboden vordringen. So bleibt der Boden feucht und wird vor Austrocknung geschützt. Die Vegetation ist hinreichend angepasst, was bedeutet, dass die Bepflanzung, wie Moose und Pilze, schattige und feuchte Gebiete bevorzugt.

Pflanzen, die das Sonnenlicht zum Wachsen und Überleben brauchen, haben eine besondere Taktik, wie sie das bewerkstelligen. Es gibt Blumen und Blüten, die sich bei

Sonnenaufgang öffnen und bei Sonnenuntergang schließen. Das machen sie, weil sie von tagaktiven Insekten bestäubt werden. Aber manche Blumen, die nur in der Nacht blühen und von nachtaktiven Insekten bestäubt werden, haben tagsüber verschlossene Blüten. Abgesehen von der Bestäubung drehen sich Sonnenblumen mit dem Sonnenlicht von Osten nach Westen mit, um soviel Sonnenlicht wie möglich abzubekommen. Blumen haben aber nicht nur einen „eingebauten“ Tag-Nacht-Rhythmus, sondern wissen auch, wann es regnet. Sie nehmen die Änderung der Luftfeuchte wahr und schließen ihre Blüten oder drehen ihre Knospen zum Boden, um die Pollen zu schützen. Denn bei offenen Blüten würde der Regen die Pollen wegschwemmen und die Insekten könnten keine Bestäubung durchführen.

Das nächste Beispiel zeigt eine Methode, die die Menge an einfallendem Licht reguliert. Augen besitzen einen Mechanismus, der abhängig von der Stärke des Lichteinfalles reagiert. Starkes Licht lässt die Pupillen klein werden, bei finsternen Verhältnissen werden sie sehr groß. Nach diesem Beispiel wurde von Jean Nouvel und Partnern in Paris, Frankreich das Institut du Monde Arabe gestaltet. (siehe Abb. 8)



Abbildung 8: Teilansicht des Institut du Monde Arabe

Die Belichtung des Gebäudes erfolgt über viele kleine Fenster, die mit dem Mechanismus einer Kamerablende geöffnet und geschlossen werden können. (siehe Abb. 9) Sie funktionieren nach demselben Prinzip wie Pupillen. Diese Mechanismen und Steuerelemente sind allerdings sehr anfällig und wartungsintensiv, da sie sehr viel in Bewegung sind und sich so stark abnutzen.

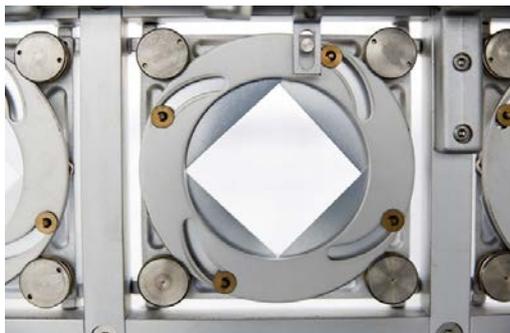


Abbildung 9: Detailansicht eines Fassadenelements des Institut du Monde Arabe

### 2.1.3. Technische Lösungen

Der Schutz vor zu viel Sonnenstrahlung ist ein wichtiger Punkt in der Planung eines Gebäudes. In aufgeheizten Räumen ist es unangenehm zu arbeiten, was wiederum die Arbeitsmoral beeinflusst und so zu schlechteren Ergebnissen führen kann. Die Fensterflächen zu verkleinern ist aber nicht die Lösung, denn ausreichende Beleuchtung am Arbeitsplatz und eine Sichtverbindung ins Freie ist vorgeschrieben. (vgl. §21 Abs. 2 ASchG und §22 Abs. 6 ASchG, 2020, o.S.)

Durch vielerlei Beobachtung und Studien wurden Sensoren entwickelt, die den Sonnenstand und den Einfall der Sonnenstrahlen messen können. Elektrisch gesteuerte Jalousien können mit Hilfe dieser Sensoren entsprechend programmiert werden, dass sie selbstständig erkennen, wann sie gebraucht werden und in welchem Winkel die Lamellen am wirkvollsten sind. Diese Fassaden werden als kinetische Fassaden bezeichnet, da sie durch variable Elemente ein sich veränderndes Aussehen bekommen. Am Beispiel des Expo Pavillons aus 2012 von SOMA in Südkorea ist das gut zu erkennen. Durch die vertikal angebrachten Lamellen kann je nach Öffnungszustand mehr oder weniger Licht eindringen. (siehe Abb. 10)



Abbildung 10: Expo Pavillion 2012 von SOMA in Südkorea

Bei unbeweglichen Sonnenschutzkonstruktionen ist es wichtig, die Einfallswinkel der Sonnenstrahlen zu berücksichtigen. Denn abhängig von der Jahreszeit ist der Winkel ein anderer: In Europa liegt er im Sommer in etwa bei  $65^\circ$ , im Winter hingegen nur um die  $20^\circ$ . So kann man im Sommer die ungewollte Strahlung reflektieren. Mit einer besonderen Beschichtung auf der Oberseite der Lamelle ausgestattet, können sie aber auch zur Lichtlenkung eingesetzt werden. (siehe Abb. 11) An der Decke des Raumes werden ebenfalls Reflektoren angebracht und folglich kann das Licht tiefer in den Raum gelenkt werden. Dies ist vor allem im Winter von Vorteil, denn so kann die eintretende Sonnenstrahlung auch zu Erwärmung des Raumes beitragen.

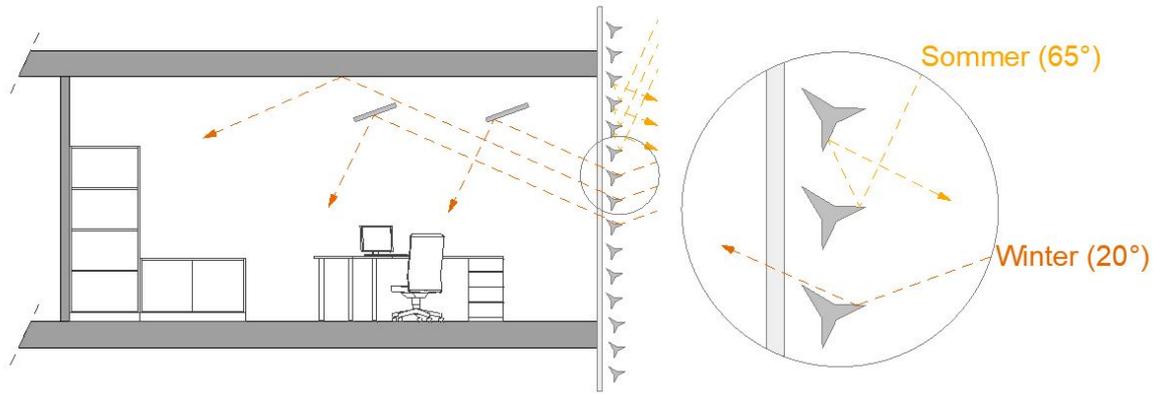


Abbildung 11: Lichtlenkung über reflektierende Lamellen

Aber nicht nur auf Sonnenstrahlung kann die Fassade programmiert werden. Regensensoren werden eingesetzt, um zum Lüften geöffnete Fenster unbeobachtet lassen zu können. Wenn der Regensensor erkennt, dass es zu regnen begonnen hat, wird das Fenster mit einem elektrischen Antrieb geschlossen. Am meisten verbreitet ist diese Technik bei Dachflächenfenstern und Fenstern, die unerreichbar für Menschen und nur mechanisch bedienbar sind.

Bei einem Bürobau ist diese Technik hauptsächlich auf die Fenster beschränkt, da es keinen Sinn macht eine komplette Fassade öffnenbar zu machen. Es ist aber nicht unmöglich ein Gebäude mit öffentlicher Fassade zu bauen, wie man am Beispiel des venezolanischen Expo Pavillons aus 2000 von José Vivas sieht. (siehe Abb. 12 und Abb. 13) Die Membrankonstruktion ist einer umgedrehten Blüte nachempfunden, die sich bei schönem Wetter öffnet und sich bei Regen und nachts schließt.



Abbildung 12: Venezolanischer Pavillon im geöffneten Zustand



Abbildung 13: Venezolanischer Pavillon im geschlossenen Zustand

## 2.2. Leichtbaukonstruktionen

### 2.2.1. Allgemeines

Bei den Leichtbaukonstruktionen geht es vor allem darum, zu zeigen, dass man mit weniger Material genauso stabile Konstruktionen erhält wie beim Massivbau. Zusätzlich zu einem geringeren Materialaufwand erhält man im Skelettbau eine Unabhängigkeit der Fassade zur Tragkonstruktion. Fenster oder Glasfassaden können große Formate haben und willkürlich angeordnet werden.

#### Holzbau:

Holzbau gehört zu den wahrscheinlich ältesten Bauweisen, da der Baustoff Holz verhältnismäßig einfach zu verarbeiten ist. Schon seit Jahrtausenden werden Unterstände und Hütten aus Holz gebaut. Im Laufe der Zeit dann auch Wohnhäuser, zum Großteil in Massivbauweise (Blockbauten), aber auch in Leichtbauweise (Fachwerkbauten).

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts hat sich der Holzleimbau (Brettschichtholz) entwickelt. Davor war man auf die Abmessungen eines Baumes beschränkt, was die Länge oder Breite eines Bauteiles betrifft. Durch das Verleimen der Bretter konnten schließlich größere Dimensionen für Träger hergestellt werden, die größere Spannweiten ermöglichten.

Im Holzleichtbau sind zwei Typen zu unterscheiden: der Holzrahmenbau und der Holzskelettbau. Beim Holzrahmenbau werden Pfosten und Riegel mit Platten beplankt und mit Dämmung ausgefacht, was ein deutlich geringeres Gewicht als eine vergleichbare Massivholzwand hat. Der Holzskelettbau reduziert sich auf Stützen in einem Raster und Geschoßdecken.

#### Stahlbau:

Die Erfindung des Gusseisens Ende des 18. Jahrhunderts in England brachte frischen Wind in die Bauindustrie. Erstmals konnten statisch relevante Bauteile schlanker und eleganter ausgeführt werden. Zusätzlich dazu konnten Gebäude auf Grund der Vorfertigung der Bauteile schneller errichtet werden.

Mitte des 19. Jahrhunderts wurde der Werkstoff Gusseisen vom Stahl abgelöst. Stahl kann auftretende Zugkräfte besser aufnehmen, was größere Spannweiten als mit Gusseisen erlaubt. Im Hinblick auf statische Systeme ergaben sich nun neue Möglichkeiten. Durch die nun erreichbaren Spannweiten ergaben sich offene Grundrisse, die nicht an die tragende Konstruktion gebunden waren. Vor allem in den USA war ab Ende des 19. Jahrhunderts der Skelettbau flächendeckend verbreitet.

## 2.2.2. Bionische Komponente

Die Natur ist ein Meister in der Umsetzung von Leichtbaukonstruktionen. Mit minimalem Materialeinsatz werden maximal belastbare Strukturen erzeugt.

Ein naheliegendes Beispiel sind die Röhrenknochen (z.B. Oberschenkelknochen) eines Menschen. Die Knochen sind nicht massiv; der Knochenschaft ist hohl mit einer dickeren Knochenwand und die Knochenenden bestehen aus einem feinen Geflecht, den Knochenbälkchen. (siehe Abb. 14) Die Knochenbälkchen sind so ausgerichtet, dass sie den Kraftlinien der größten einwirkenden Druck- und Zugbelastungen folgen.



Abbildung 14: Querschnitt durch den Kopf eines Oberschenkelknochens

Die Pflanzenwelt liefert ein weiteres Beispiel. Das Riesenseerosenblatt, das schon Joseph Paxton bei seinem Entwurf für die Fensterrosetten des Crystal Palace ein Ideengeber war, ist heimisch in Südamerika. Es kann bis zu zwei Meter Durchmesser erreichen. Dabei wird das Blatt von Stützrippen an der Unterseite gestützt, die den Blattadern folgen. (siehe Abb. 15 und Abb. 16) Es ist so stabil, dass es Lasten bis zu 60 Kilogramm tragen kann.



Abbildung 15: Riesenseerosenblatt



Abbildung 16: Unterseite mit Stützrippen

Der Gießkannenschwamm kommt aus der Familie der Glasschwämme und ist ein Tiefseebewohner. Sein Lebensraum befindet sich in ca. 40m bis zu 5000m Tiefe auf steinigem Untergrund. Um den besonderen Kräfteinwirkungen in dieser Umgebung Stand zu halten, muss das Skelett besonders aufgebaut sein. Wie der Name schon sagt, besteht es aus Glasfasern. Die besondere Anordnung und der Aufbau der einzelnen Fasern sind der Grund, warum das eigentlich spröde Glas nicht zerbricht. Die Glasfasern bestehen aus mehreren Glaslamellen, die wiederum aus mehreren Glasschichten hauchdünn verklebt sind. So verkratzt oder bricht nur die äußerste Schicht, aber nicht die ganze Faser. Diese Fasern werden dann mittels Glaszement zu Stäben verbunden, die horizontal, vertikal und diagonal miteinander verwoben werden. Die Struktur ähnelt einem Fachwerk. (siehe Abb. 17) Um dem Wasserdruck entgegen zu wirken und das Quetschen zu erschweren, dienen spiralförmige Rippen und eine geschwungen Form zur Verstärkung. (vgl. [www.scinexx.de](http://www.scinexx.de), 2005, o.S.)

Der Canton Tower in China wurde nach dem Vorbild des Gießkannenschwammes gebaut. (siehe Abb. 18)

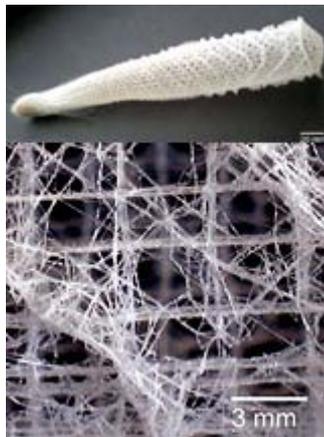


Abbildung 17: Skelett eines Gießkannenschwammes



Abbildung 18: Nahaufnahme Canton Tower, China

Ein weiteres Beispiel für genialen Ingenieurbau liefern die Bienen. Ihre aus Wachs bestehenden Waben sind nahezu regelmäßige Sechsecke. (siehe Abb. 19) Diese Form gewährleistet maximale Stabilität bei geringem Materialaufwand, da die Wände der einzelnen Zellen sich gegen einander abstützen. Es ergeben sich keine Bereiche, die nicht nutzbar sind, denn regelmäßige Sechsecke lassen sich lückenlos aneinander reihen. (siehe Abb. 20)



Abbildung 20: Bienenwabe

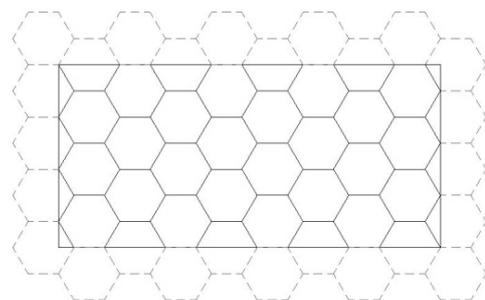


Abbildung 19: Fläche mit regelmäßigen Sechsecken ausgefüllt

### 2.2.3. Technische Lösungen

Wie schon zu Beginn dieses Kapitels erläutert, gibt es Leichtbaukonstruktionen schon seit sehr langer Zeit. Stützen und Träger werden mit Programmen berechnet und mit Sicherheitsbeiwerten versehen, damit die Tragkonstruktion schlank, aber eben auch stabil ist. Auf die Ästhetik des Tragwerks wird kein Augenmerk gelegt, denn eine imposante Fassade gibt dem Gebäude schließlich ein tolles Aussehen. In vielen Fällen wäre es vielleicht sogar unpraktisch oder ineffizient, vom üblichen Stützen-Träger-System abzuweichen, da die Art und die Nutzung des Gebäudes eine Rolle spielen. Ein Bürobau wird z.B. nach einem Raster geplant, gebaut und möbliert; ein ausgefallenes, unregelmäßiges Tragkonzept könnte zu Mehrkosten führen. Wenn die Umstände es allerdings zulassen, sollte man über Alternativen nachdenken. Am Beispiel des Canton Towers in China sieht man, dass eine Tragkonstruktion spektakulär und interessant aussehen kann. (siehe Abb. 18)

Die Natur bildet nicht nur stabile, sondern auch ästhetische Konstruktionen. Bereits in Verwendung sind z.B. Stützen, die einem Baum nachempfunden sind. Sie bestehen aus einem Stamm, der sich im oberen Bereich in Äste und Zweige aufspaltet. (siehe Abb. 21) So kann z.B. das Gewicht eines Daches in kleinere Lasten aufgeteilt werden und gleichmäßiger in die Stütze abgeleitet werden. Meist sind die Stützen aus Stahl hergestellt, um ein besonders filigranes Aussehen zu erreichen. Es gibt allerdings auch gebaute Beispiele aus Holz und Stahlbeton.



Abbildung 21: Baumstützen im Terminal 3 des Stuttgarter Flughafens

Das Sechseck als stabiles Konstrukt kommt allerdings nicht nur von den Bienen. Bei Versuchen hat sich gezeigt, dass sich eine optimale Stützstruktur aus annähernd gleichmäßigen Sechsecken bildet, wenn man mit Luft gefüllte Bälle aneinander gereiht zwischen Brettern flach drückt. Die Lufträume werden dann mit einem Kunstharz ausgefüllt. Nach dem Erhärten des Kunstharzes werden die Bälle entlüftet und entfernt. Zurück bleibt ein leichtes Flächentragwerk mit hoher Eigenstabilität, da sich durch die vorherige Belastung der Bretter Optimalwinkel von selbst eingestellt haben. (vgl. Nachtigall & Blüchel, 2000, S.116)

In der Holzverarbeitungs- und Möbelindustrie ist es bereits üblich, die Wabenstruktur im Herstellungsprozess zu integrieren. Türen haben z.B. oftmals einen Wabenkern. (siehe Abb. 22) Dadurch erhält man nicht nur bessere Schalldämmwerte, sondern die Tür ist leichter als eine aus massivem Holz. Vor allem beim Transport und Einbau ist dies von Vorteil. Denn weniger Gewicht pro Tür bedeutet mehr Türen auf dem Lastwagen bzw. einen schnelleren und einfacheren Einbau.

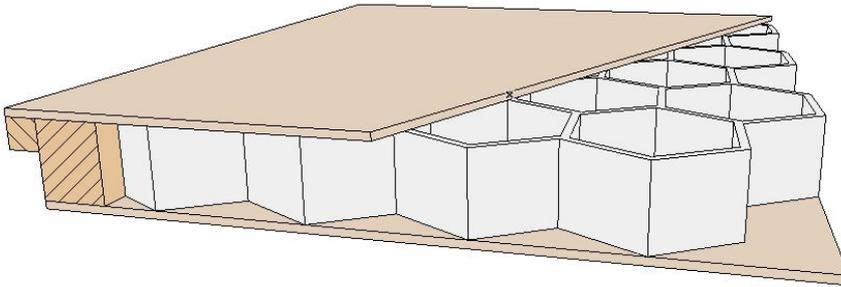


Abbildung 22: Schemaskizze einer Tür mit Wabenstruktur und Furnier-Deckplatten

Berechnungsprogramme sind bereits ein fester Bestandteil in der Planung des Tragwerks. Die verschiedenen Bauteile einer Konstruktion werden berechnet und so dimensioniert, dass sie an jeder Stelle die Belastungen aufnehmen können. Der normierte Sicherheitsbeiwert ist noch einmal eine zusätzliche Versicherung, sollten außergewöhnliche Umstände die Konstruktion belasten. Die Programme zeigen, an welchen Knotenpunkten die größten Kräfte auftreten. So kann gezielt verstärkt oder sogar gespart werden. Um Material zu sparen, werden Träger z.B. mit Vouten gebaut, um nur dort die Dimension zu haben, wo sie auch wirklich gebraucht wird.

Die FEM-Berechnung (Finite Element-Methode) basiert auf dem natürlichen Wachstumsprinzip. Die Selbstoptimierung an kritischen Stellen ist das Ziel. „Material wird durch Wachstum bevorzugt dort angelagert, wo es auch gebraucht wird. Ist die mechanische Belastung klein oder fehlt ganz, kann Material sogar wieder entfernt werden.“ (Brickwedde et al., 2007, S.114) Bei den Knochen, die, wenn sie brechen, um den Bruch herum mehr Material ansammeln, um die Stelle zu stabilisieren, kann man das gut nachvollziehen. Im Laufe des Heilungsprozesses verringert sich das zusätzliche Stützmaterial dann wieder. Wenn der Bruch vollständig verheilt ist, ist das Knochenmaterial wieder im Ausgangszustand.

Eine Vielzahl an Informationen können in das Programm eingegeben werden, wie das Material des Bauteils, die Art des statischen Systems, die auftretenden Lasten sowie spezifische Werte, die für den Bauort wichtig sind wie Wind-, Schnee- und Erdbebenlasten. Nach der Berechnung wird oftmals anhand eines dreidimensionalen Modells gezeigt, wie sich das Bauteil unter den Einflüssen verhält. Anhand der Farben erkennt man sofort, wo es problematische Stellen gibt. (siehe Abb. 23 und Abb. 24) Durch das Ändern von Material, Dimension oder gar des statischen Systems kann man sich durch neue Berechnungen immer weiter an ein optimiertes Tragwerk annähern.

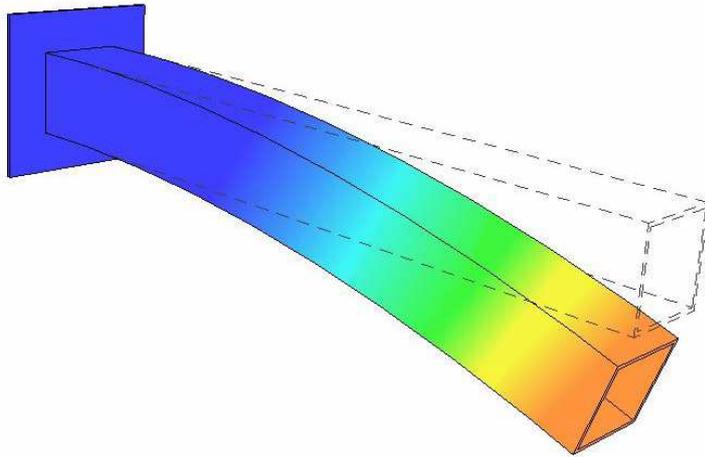


Abbildung 23: Farbiges 3D-Modell eines auskragenden Trägers

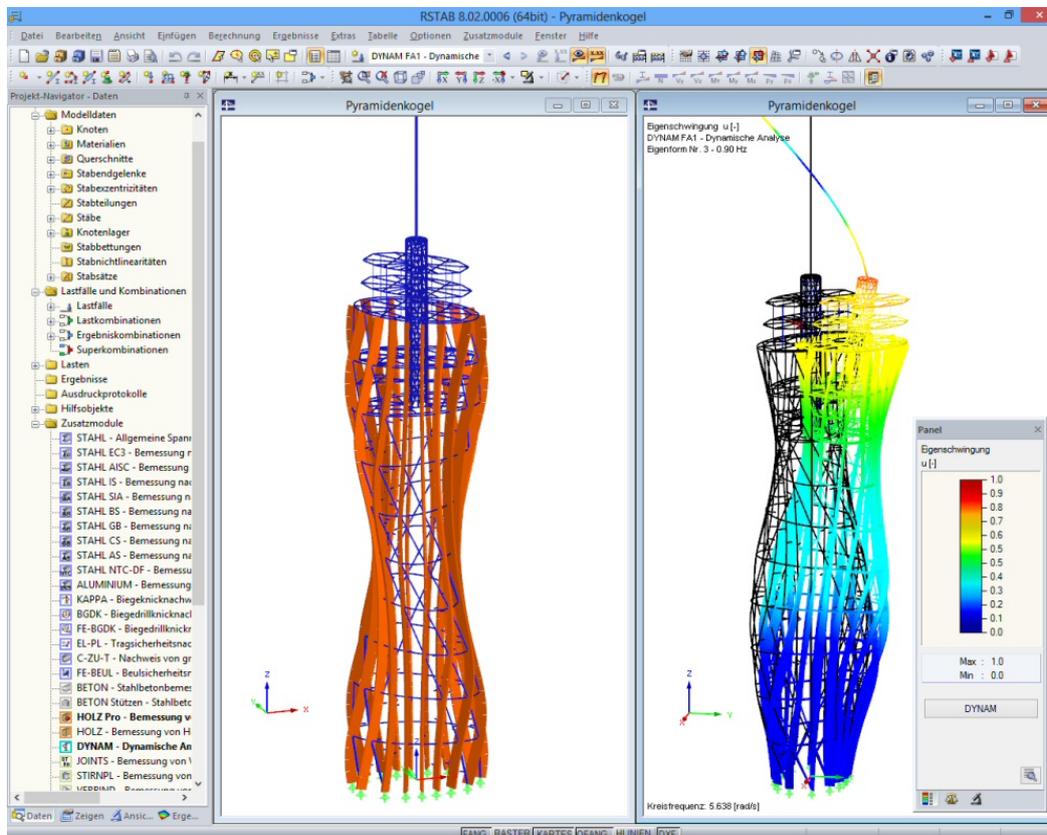


Abbildung 24: Screenshot eines FEM-Modells von Dlubal

## 2.3. Klimatisierung und Lüftung

### 2.3.1. Allgemeines

Den Großteil der Zeit verbringen Menschen in geschlossenen Räumen. Ein angenehmes Raumklima ist dabei sehr ausschlaggebend für ihr Wohlbefinden. In der eigenen Wohnung oder dem eigenen Haus kann man selbst bestimmen, wie man die Heizung oder auch Klimaanlage einstellt. In einem öffentlichen Gebäude gibt es dazu eine zentrale Haustechnikanlage, die für ein allgemeines Klima sorgt. Am Arbeitsplatz wird somit auf Durchschnittswerte zurückgegriffen, um zu gewährleisten, dass es nicht zu kalt oder zu warm, weder stickig noch zugig und gut belichtet ist.

Die Behaglichkeit am Arbeitsplatz ist eine subjektive Wahrnehmung. Das Diagramm veranschaulicht daher den Temperaturbereich, den Menschen als behaglich empfinden. (siehe Abb. 25) Dazu gehört nicht nur eine angenehme Raumtemperatur, sondern auch die Temperatur von Wänden, Decken und Böden. Denn eine kalt abstrahlende Wand kann einen normal temperierten Raum schnell ungemütlich wirken lassen.

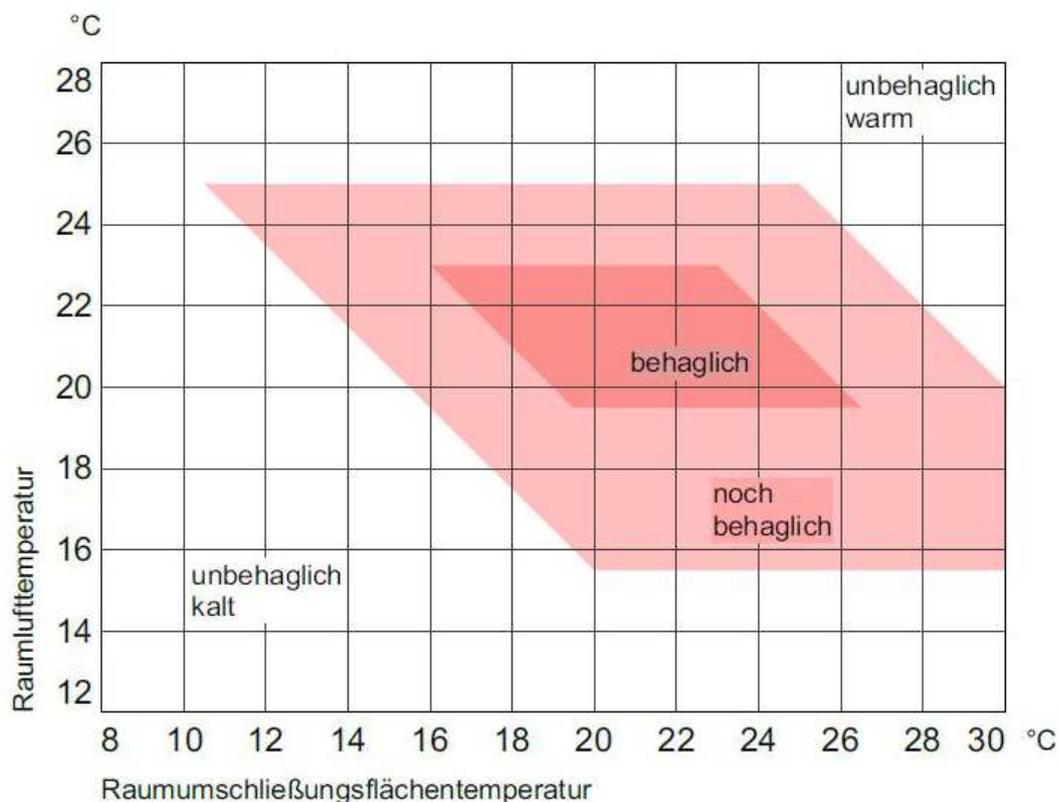


Abbildung 25: Behaglichkeitsdiagramm

Unter die Behaglichkeit am Arbeitsplatz fällt auch die Belüftung. Wo sich Menschen mehrere Stunden aufhalten und arbeiten, darf frische Luft kein Mangel sein. (siehe Tabelle 1) Aufwendig installierte Lüftungsleitungen ermöglichen einen Austausch der verbrauchten, abgestandenen durch frische, unverbrauchte Luft. Vor allem in mehrstöckigen Gebäuden, die meist innenliegende Räume und nicht zu öffnende

Fassaden haben, ist dies nicht nur notwendig, sondern gesetzlich vorgeschrieben. (vgl. §22 Abs. 3 ASchG, 2020, o.S.)

<b>Körperliche Belastung</b>	<b>Lufttemperatur*</b> <i>*25 °C soll nicht überschritten werden</i>	<b>Luftgeschwindigkeit*</b> <i>*Mittelwert bei einer Dauer von 200 Sekunden</i>
<b>Gering</b> Ruhig sitzen (lesen oder Schreiben) Leichte manuelle Arbeit im Sitzen (Büro)	19 – 25 °C	max. 0,10 m/s
<b>Normal</b> Leichte manuelle Arbeit im Stehen Mittelschwere Arbeit	18 – 24 °C	max. 0,20 m/s
<b>Hoch</b> Schwere körperliche Arbeit Schwerste körperliche Arbeit	mind. 12 °C	max. 0,35 m/s

Tabelle 1: Richtwerte für Temperatur und Geschwindigkeit der Raumluft laut §28 AStV

Zusätzlich zur Lufttemperatur und der Luftgeschwindigkeit ist die relative Luftfeuchtigkeit eine weitere Kenngröße, die zu berücksichtigen ist. Auch wenn sie nicht so eine große Auswirkung auf die Behaglichkeit wie die Temperatur hat, sind die Grenzwerte trotzdem einzuhalten. Bei Verwendung einer Klimaanlage sollte die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 40% und 70% liegen. (vgl. §28 AStV, 2020, o.S.) Diese gesetzlich geregelten Werte sollen für möglichst viele Menschen einen angenehmen Arbeitsplatz schaffen.

### 2.3.2. Bionische Komponente

Ein Beispiel aus der Tierwelt für eine natürliche Belüftung liefern die Höhlensysteme der Präriehunde. Die Tiere legen Tunnel und Kammern an, die bis zu fünf Meter unter der Erde liegen können. Es gibt mindestens zwei Öffnungen, die als Ein- bzw. Ausgang dienen. Das Besondere daran ist, dass die Öffnungen auf unterschiedlichen Höhen gebaut werden. Der Höhenunterschied kann bis zu drei Meter betragen. Aufgrund dieser Bauweise stellt sich ein sogenannter „Kamin-Effekt“ ein. Die erwärmte Luft im Bau steigt über die Tunnel bis an den höher gelegenen Ausgang. Dadurch entsteht beim tiefer gelegenen Eingang ein leichter Sog, der wiederum frische Luft von außen in den Bau einbringt. (siehe Abb. 26) Diese passive Ventilation bleibt sogar bei geringen Windgeschwindigkeiten wirksam.

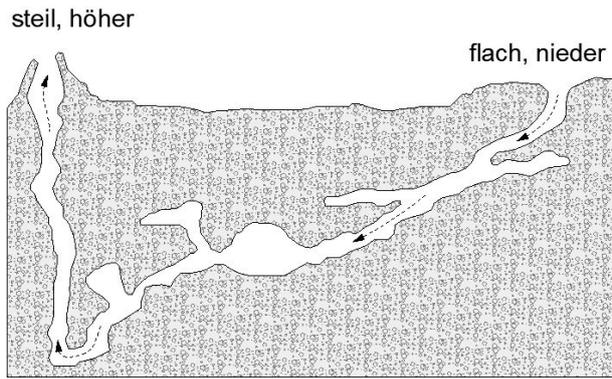


Abbildung 26: Skizze des Baus der Präriehunde

Dieses Phänomen lässt sich ebenfalls bei den Termitenhügeln in Afrika beobachten. Poröses, aber stabiles, Baumaterial lässt frische, warme Luft in den Hügel ein diffundieren. Mit Hilfe der passiven Ventilation gelangt diese dann in den unterirdischen Bereich des Baus, wo die Luft nun abgekühlt wird. Durch die stetige Zirkulation kann so das gesamte Konstrukt mit frischer, kühler Luft versorgt werden. (siehe Abb.27)

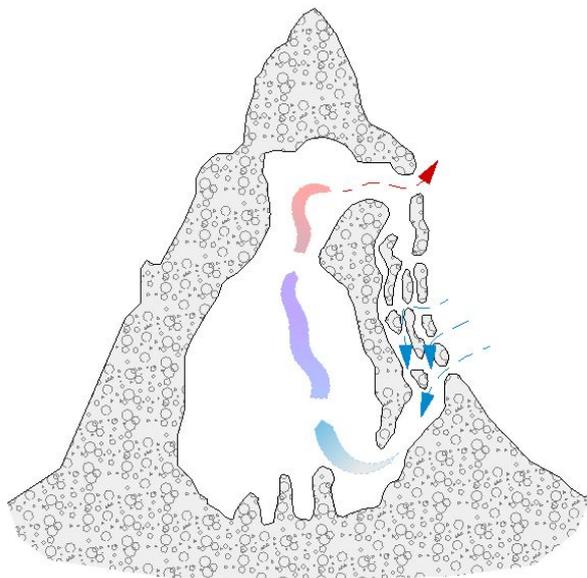


Abbildung 27: Skizze des Belüftungssystems eines Termitenhügels

### 2.3.3. Technische Lösungen

Das Potenzial der passiven Ventilation haben Völker im Iran und auf der arabischen Halbinsel schon sehr früh entdeckt. Seit Jahrhunderten kühlen sie ihre Gebäude mit sogenannten Bagdiren, im Deutschen „Windfänger“. Diese Gebiete haben tagsüber eher hohe Temperaturen, die nachts aber empfindlich abkühlen können. Um die Hitze am Tag und die Kühle in der Nacht erträglich zu machen, haben sie eine besondere Bauweise entwickelt. (siehe Abb. 28)

Diese „Windfänger“ sind so konzipiert, dass frische Luft durch Öffnungen im Windturm bis in den Keller geleitet wird. Viele Keller haben auch eine eigene Luftzufuhr, die

unterirdisch geführt wird. In diesem sogenannten Quanat fließt kühles Wasser. Durch Konvektion und Evaporation abgekühlte Luft zieht in den Keller, wo sich eine Unterdruckzone bildet. Dort kann die warme Luft vom Windfänger abkühlen, durchs gesamte Haus zirkulieren und schließlich durch weitere Öffnungen des Windturmes abziehen.

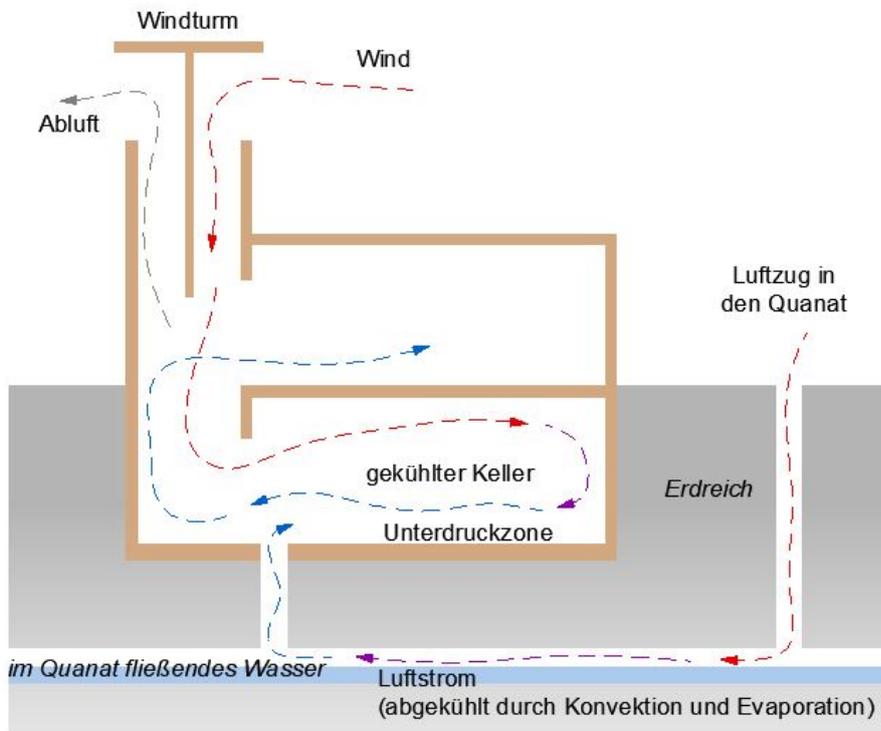


Abbildung 28: Erklärungsskizze eines Bagdirs (Windfängers)

Nachts, wenn die Temperaturen sinken und es kühl wird, dienen die meist aus Lehm gebauten Wände als Wärmespeicher. Tagsüber aufgeheizt, können die Wände die gespeicherte Wärme langsam an die Innenräume abgeben.

Weiterentwickelt und leicht verändert findet man das Prinzip der Termitenhügel verbaut im Eastgate Centre in Harare in Simbabwe. (siehe Abb. 29)



Abbildung 29: Eastgate Centre in Harare, Simbabwe

Die zwei massiv gebauten Gebäude werden mit einer filigranen Stahl-Glas-Konstruktion verbunden. Das Luftvolumen in dem so geschaffenen Atrium wird zur Belüftung verwendet. Über Nacht kann die Luft im Atrium auf Grund der doch relativ kühlen Außentemperaturen gut abkühlen. Die Restwärme in den Räumen kann durch den Auftrieb der warmen Luft abgeleitet werden und durch kühlere Luft ersetzt werden. (siehe Abb. 30) So kühlen auch die massiven Betondecken ab, in denen die luftführenden Kanäle verlegt sind. Tagsüber wird die Luft angesaugt und gefiltert und dann mit Hilfe von Ventilatoren bis ins oberste Geschoß geblasen. Die Räume können über Zuluft-Öffnungen im Fußboden an der Fassade mit Frischluft versorgt werden. Diese Frischluft wird zuvor abgekühlt, in dem sie durch die luftführenden Kanäle in den in der Nacht abgekühlten Betonspeichermassen geführt wird. Gleichzeitig wird die Abluft in Deckennähe abgesaugt und gelangt über den Kamin ins Freie. Um zusätzlich der Überhitzung der Räume vorzubeugen, wurden Fassadenvorsprünge mit einer Bepflanzung gebaut, die übermäßige Sonneneinstrahlung verhindern soll.

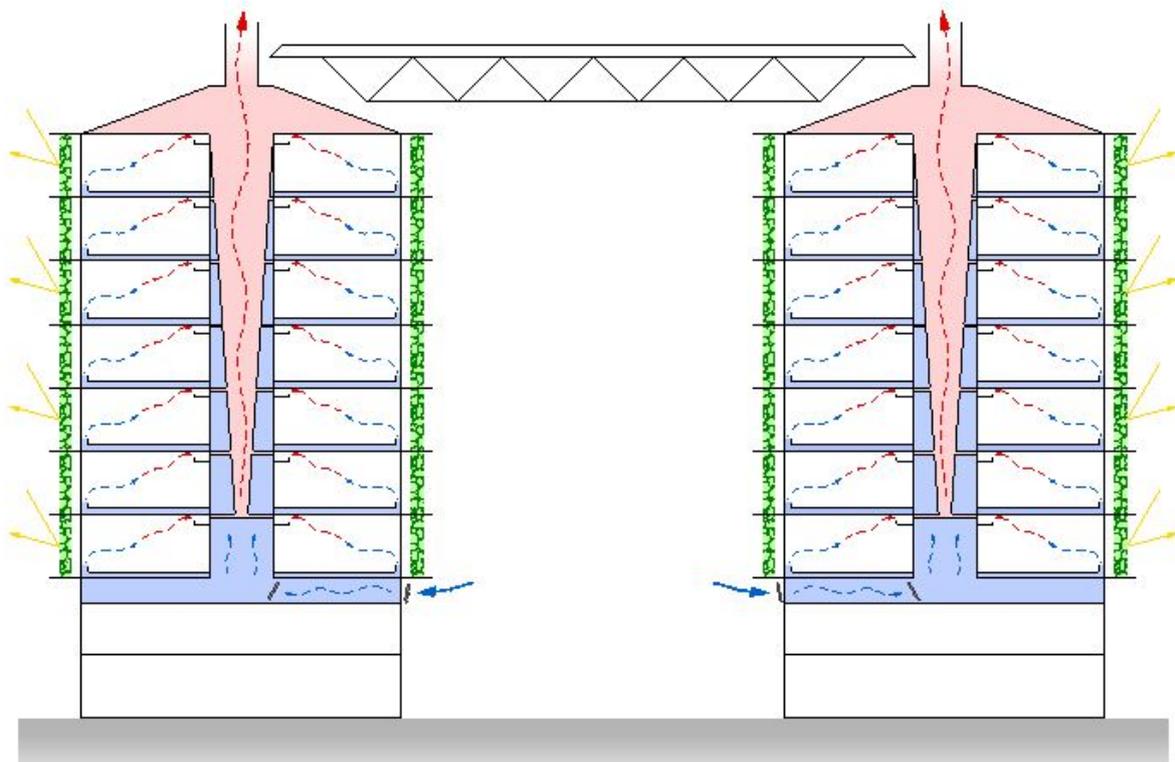


Abbildung 30: Systemschnitt durch das Eastgate Centre

Ebenfalls durch Kamine wird das Portcullis House in London in Großbritannien belüftet. Die Belüftungskamine führen allerdings entlang der Fassade über das Dach, was von außen klar sichtbar ist. (siehe Abb. 31) So kann die Abluft im Kamin zusätzlich von der Sonnenstrahlung erwärmt werden, was die Konvektion nach oben über das Dach unterstützt. Frische Luft wird am unteren Teil des Kamins angesaugt und mit Hilfe von Ventilatoren durch das Gebäude befördert. (siehe Abb.32) Bevor die Frischluft

allerdings in die Räume eingeblasen wird, wird sie über Konvektion vom Grundwasser abgekühlt. (vgl. [www.briangwilliams.us](http://www.briangwilliams.us), 2020, o.S.)



Abbildung 31: Portcullis House in London, Großbritannien

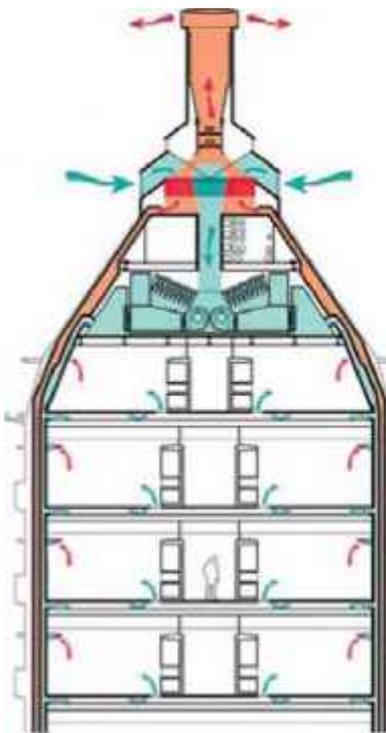


Abbildung 32: Teilschnitt durch das Portcullis House

Am häufigsten findet man die Belüftung durch passive Ventilation in der Fassadenebene. Nachfolgend werden einige Beispiele beschrieben.

### Doppelfassade bzw. Zweite-Haut-Fassade:

Die Doppelfassade oder Zweite-Haut-Fassade ist wahrscheinlich das einfachste Prinzip. Der eigentlichen Fassade wird mit einem gewissen Abstand eine Glasschicht vorgesetzt. Was sich auf den Schallschutz positiv auswirkt, hat auf die Belüftung negative Auswirkungen. Der Zwischenraum erstreckt sich über die ganze Höhe des Gebäudes, was bedeutet, dass nur die unteren Geschoße mit frischer Luft versorgt werden können. Da die Abluft auch wieder in den Zwischenraum geleitet wird, ist die Luftqualität für die höher gelegenen Geschoße schlechter. (siehe Abb. 33) Außerdem kann sich der Zwischenraum bei hoher Sonneneinstrahlung stark aufheizen. Daher wird diese Variante oftmals nur zum Abführen der Abluft verwendet.

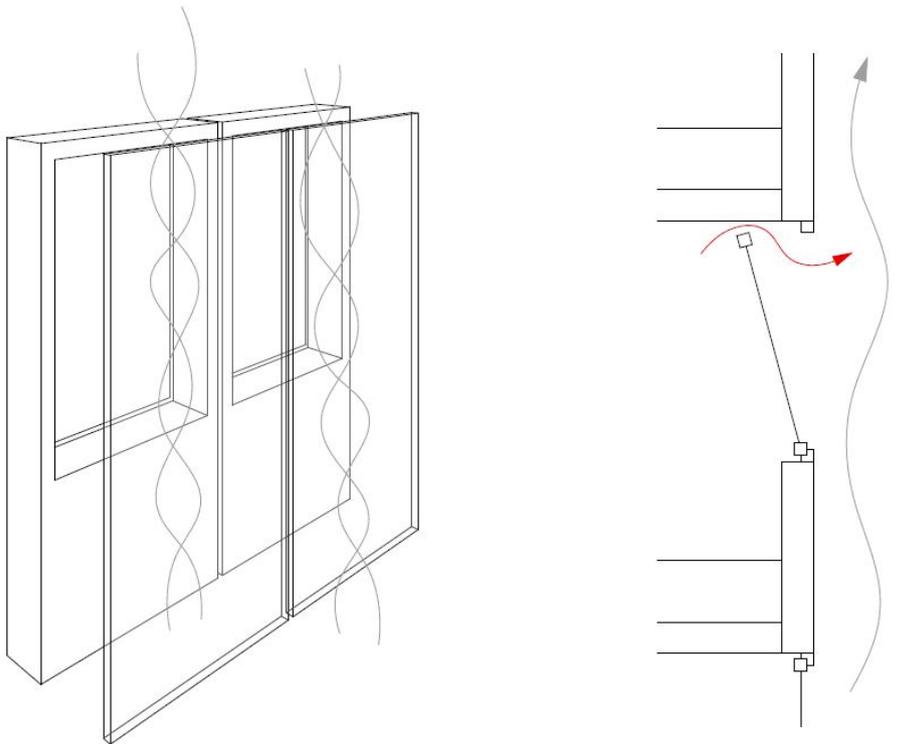


Abbildung 33: Doppelfassade bzw. Zweite-Haut-Fassade in 3D-Ansicht und Schnitt

Ist der Abstand zwischen Fassade und Glasschicht aber besonders groß, spricht man von einem Haus-im-Haus-Prinzip. Durch den großen Zwischenraum kann nun auch die Luft besser zirkulieren und zum Lüften des innenliegenden Gebäudes verwendet werden. (siehe Abb. 36)

Im Falle der Fortbildungsakademie in Herne (D) von der Architektengruppe Jourda & Perraudin mit Hegger-Hegger-Schleiff, wurde eine großzügige Bepflanzung in die entstandenen Atrien integriert, die für eine gute Luftqualität sorgt. (siehe Abb. 34 und Abb. 35)



Abbildung 34: Bepflanzung und Wasserbecken zur Klimaregulierung in der Fortbildungsakademie, Herne (1999)

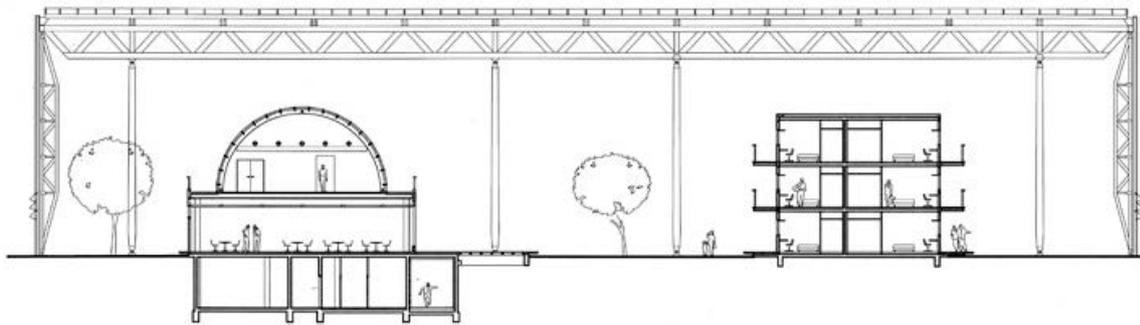


Abbildung 35: Querschnitt durch die Fortbildungsakademie in Herne



Abbildung 36: Fassadenzwischenraum des Bürohochhauses Doppel-XX von Bothe Richter Teherani, Hamburg (1999)

## Kastenfenster-Fassade:

Als geschoßhohe Fassade ausgeführt, bietet die Kastenfenster-Fassade eine kleine Auswahl an Vorteilen gegenüber anderer Fassadentypen. Dadurch, dass die Fassade vertikal auf ein Geschoß und horizontal auf ein Rastermaß beschränkt ist, lassen sich Probleme, die den Brandschutz und den Schallschutz betreffen, vermeiden. Denn wie bei der Doppelfassade zu sehen ist, kann sich der Lärm im Zwischenraum ungehindert ausbreiten. Wohingegen die Schallausbreitung bei der Kastenfenster-Fassade meist auf einen Büroraum beschränkt ist. Der Schallschutz gilt in diesem Fall nicht nur für die Lärmübertragung über den Zwischenraum, sondern auch gegen den üblichen Außen- und Verkehrslärm. Bei geschlossenen Klappen bildet sich ein Luftpuffer im Zwischenraum, der schallschützend und, im Winter, wärmedämmend wirkt. (siehe Abb. 38 und Abb. 39)

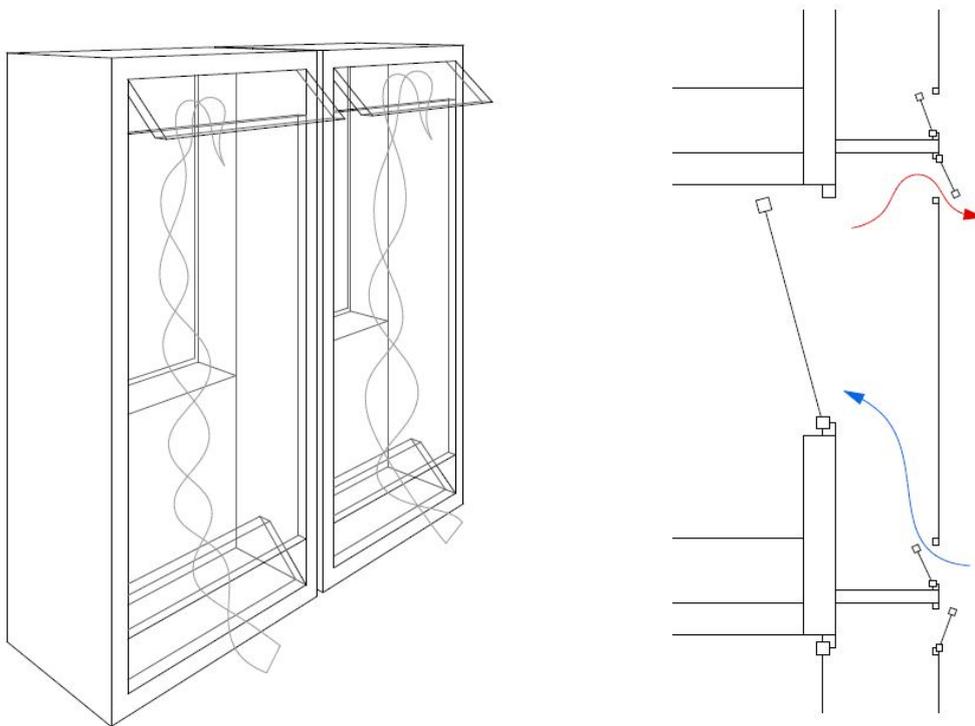


Abbildung 37: Kastenfenster-Fassade in 3D-Ansicht und Schnitt

Man kann sie dauerhaft geöffnet lassen, um einen stetigen Luftaustausch zu ermöglichen. (siehe Abb. 37) Durch die beschränkte Höhe des Zwischenraumes wirkt die Belüftung unter Nutzung des thermischen Auftriebs nur bedingt. Dies kann zu Überhitzungsproblemen führen, was aber durch ausreichend groß dimensionierte Klappen vermieden werden kann.

Die Anordnung der Klappen kann zu einer weiteren Erschwernis führen. Da die Abluftklappe und Zuluftklappe übereinander liegender Geschoße sehr nah beisammen liegen, kann die Abluft aus dem tieferen Element zur Zuluft des höheren Elements werden. Um diesen thermischen Kurzschluss zu vermeiden, kann man die Öffnungen diagonal versetzen.



Abbildung 38: Historische Kastenfenster des Schloss St. Martin, Graz



Abbildung 39: Neuinterpretation des Kastenfensters im Verwaltungszentrum von St. Gallen von jessenvollenweider Architektur

## Korridor-Fassade:

Die Korridor-Fassade könnte man als Weiterentwicklung der Kastenfenster-Fassade betrachten. Sie funktioniert nach demselben Prinzip. Die Zuluft strömt über die untere Klappe ein, die obere Klappe lässt die Abluft wieder nach draußen. (siehe Abb. 40) Hier ist der Zwischenraum auch nicht auf ein Element beschränkt, sondern kann über die gesamte Länge des Gebäudes reichen. (siehe Abb. 41) Um natürlich genug Luftbewegung zu generieren, sollten genug Zu- und Abluftöffnungen vorhanden sein.

Dies führt möglicherweise zu Problemen, die den Brand- und den Schallschutz betreffen. Wenn man ein gesamtes Geschoß mit einem Zwischenraum zum Lüften verbindet, werden natürlich auch Lärm bzw. Rauch in diesem Bereich verteilt. Daher ist es ratsam, die Fassade in kleinere Einheiten zusammen zu fassen. So kann nicht nur eine bessere Durchlüftung, sondern auch eine minimierte Lärmbelästigung erreicht werden.

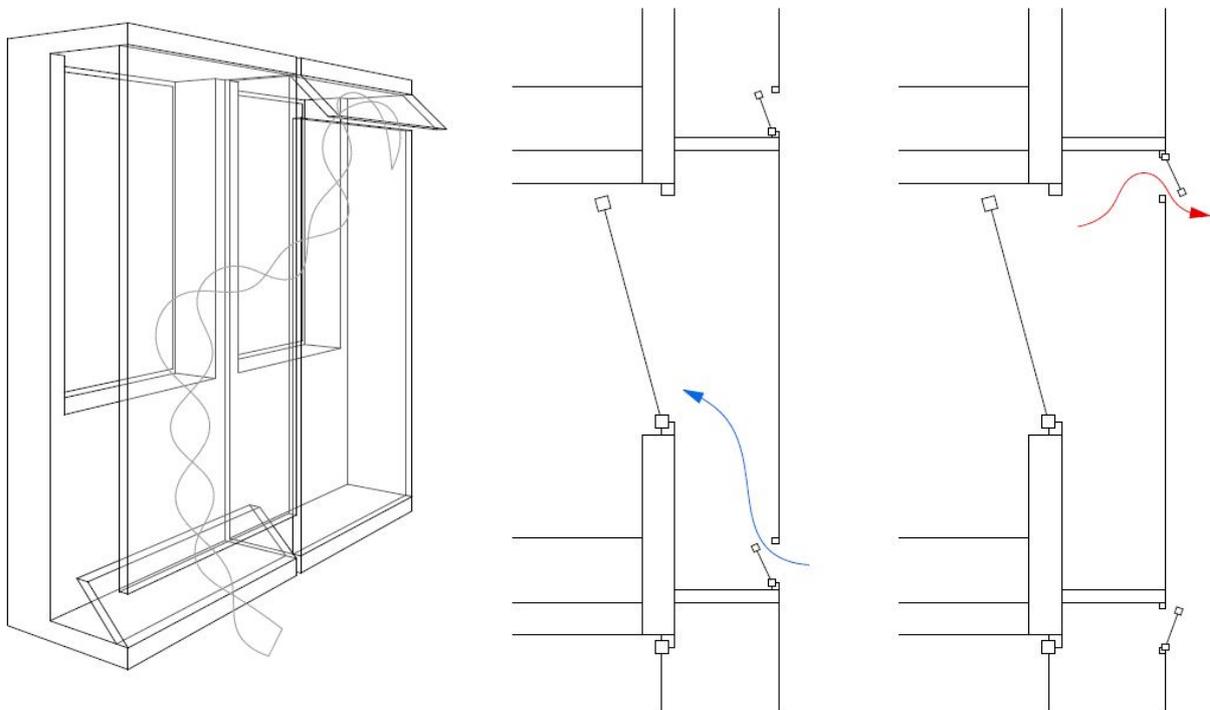


Abbildung 40: Korridor-Fassade in 3D-Ansicht und Schnitt durch die Zuluftöffnung (mittlere Zeichnung) und Schnitt durch die Abluftöffnung (rechte Zeichnung)

In manchen Fällen wird der Zwischenraum so breit ausgeführt, dass man ihn bequem begehen kann. Auf diese Weise dient der Überhang nicht nur als zusätzlicher Sonnenschutz, sondern kann als Reinigungsbalkon genutzt werden. (siehe Abb. 42) Ab 80cm Auskragung dient er auch als Brandschutz in vertikaler Richtung, da der Steg massiv ausgeführt wird.



Abbildung 41: Klar sichtbare, horizontale Teilung der Fassade des Stadttors in Düsseldorf von Petzinka Pink und Partner



Abbildung 42: Fassadenzwischenraum des Stadttors in Düsseldorf

### Schacht-Kasten-Fassade:

Ebenfalls von der Kastenfenster-Fassade abgeleitet ist dieser Fassadentyp. Zwar ist diese Fassade konstruktiv die Aufwendigste, aber auch die Effektivste. Auch hier strömt über eine Klappe im unteren Bereich des Kastenfenster-Elements frische Luft in den Zwischenraum und gelangt über ein geöffnetes Fenster in den Innenraum. Die verbrauchte, erwärmte Luft strömt dann deckennah in den Zwischenraum und gelangt über eine Öffnung in den Abluftschacht. (siehe Abb. 43) Dieser Schacht kann über die gesamte Höhe des Gebäudes reichen. Somit wird jedes Geschoß in den Schacht entlüftet. Da die Sogwirkung des Kamineffektes aber bei steigender Höhe zunimmt, ist es ratsam, die Schächte vertikal zu teilen. (siehe Abb. 44)

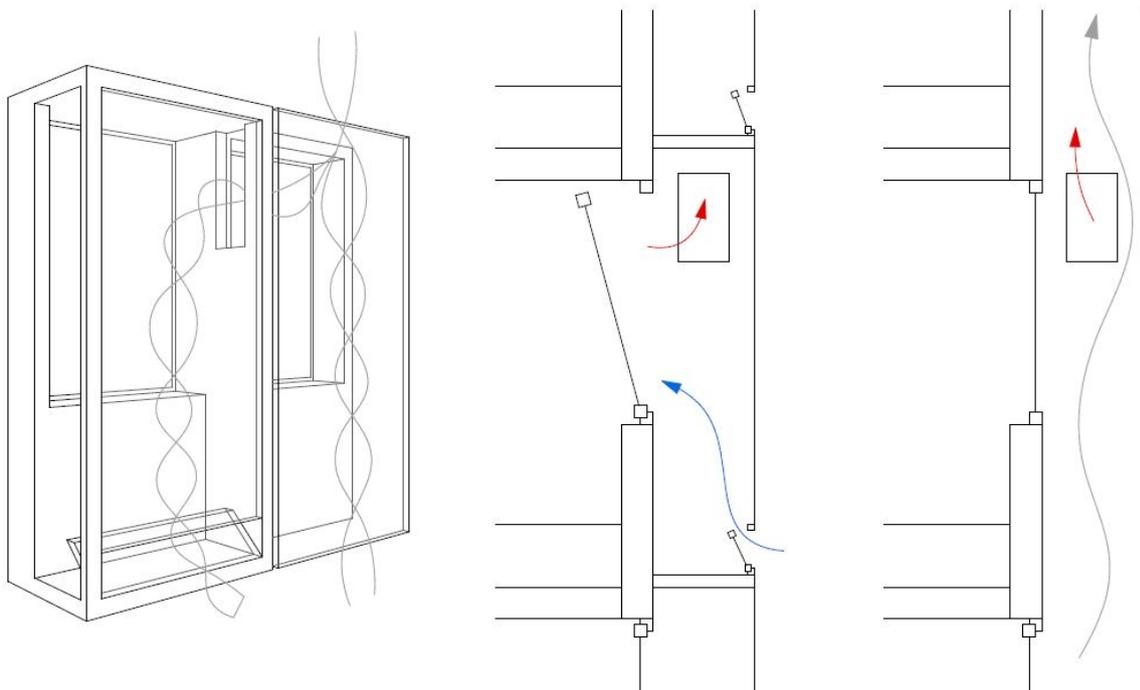


Abbildung 43: Schacht-Kasten-Fassade in 3D-Ansicht und Schnitt durch das Kasten-Element (mittlere Zeichnung) und den Abluftschacht (rechte Zeichnung)

Durch den gemeinsamen Schacht müssen nur Zuluftöffnungen und keine Abluftöffnungen in der Fassade platziert werden, was sich gut auf den Schallschutz auswirkt. (siehe Abb. 45)

Vom Innenraum in den Schacht gibt es keine öffnenden Fenster. Wenn die Belichtung in den Räumen hinter dem Schacht nicht notwendig ist, kann man ihn auch mit lichtundurchlässigen Materialien verkleiden, um mehr Dynamik in die Fassade zu bringen. Die Sonne unterstützt zwar den thermischen Auftrieb, ist in diesem Fall aber nicht notwendig bzw. kann die Wärmeabstrahlungsfähigkeit des gewählten Materials zur Unterstützung ausreichen.



Abbildung 44: Gesamtansicht des ARAG-Towers in Düsseldorf von RKW Architektur + und Foster and Partners; die Abluftschächte befinden sich jeweils am Rand



Abbildung 45: Photonikzentrum in Berlin von Sauerbruch Hutton; am rechten Gebäude sind die Öffnungen in den Säulen zum Schacht gut zu erkennen

## 3. Basis der Nachhaltigkeit

Die Festlegung der Nachhaltigkeit eines Gebäudes ist ein komplexes Vorgehen. Es gibt keinen absoluten Punkt, der erreicht werden muss, an dem ein Gebäude als nachhaltig bezeichnet wird oder nicht. Vielmehr ist es ein breitgefächertes Spektrum an verschiedenen Bereichen, die gemeinsam ein nachhaltiges Ergebnis liefern. In den folgenden Unterkapiteln werden grundlegende Punkte angesprochen, die zu einer nachhaltigen Architektur beitragen.

### 3.1. Energieeffizienz

Ein Großteil der laufenden Kosten eines Gebäudes wird für Energie aufgewendet. Sei es nun für Heizung, Kühlung oder Beleuchtung, ohne Energie wäre eine dauerhafte Nutzung nicht möglich. Um die Kosten zu senken, muss die Reduzierung des Energieverbrauchs Vorrang haben. Das größte Einsparungspotential liegt primär bei der energetischen Sanierung von Altbauten. Denn je weniger Energie ein Gebäude verliert, desto weniger Energie benötigt es. Oftmals ist die Sanierung im Altbau aber leider unwirtschaftlich. So gesehen haben Neubauten weniger Potential zur Energieeinsparung, da sie schon bereits als Niedrig- oder Minimalenergiehäuser ausgebildet werden. Sie eröffnen allerdings mehr Möglichkeiten bei der Umsetzung und sind auch wirtschaftlich gesehen besser. Abgesehen vom Verbrauch des Gebäudes ist es auch wichtig, die Energiequelle genauer zu betrachten. Erneuerbare Energiequellen haben ein langfristig verfügbares und risikoarmes Nutzungspotential. Vielfältig nutzbar ist z.B. die Sonnenenergie. Sie kann nicht nur Strom über Solarzellen erzeugen und eine thermische Nutzung durch Kollektoren gewähren, sondern auch eine passive Nutzung durch Solararchitektur ermöglichen.

#### 3.1.1. Geschichte des energieeffizienten Bauens

Die passive Nutzung der Sonnenenergie ist wohl die älteste Art des energieeffizienten Bauens. Sokrates spricht schon im 4. Jahrhundert v. Chr. von einem Sonnenhaus in seinen Schriften. (siehe Abb. 46) Es ist Nord-Süd orientiert und hat einen trichterförmigen Grundriss. Massive Wände und Steinböden dienen als Speichermasse für die von den Sonnenstrahlen generierte Energie. Eine überdachte Terrasse dient in den Sommermonaten als zusätzlicher „Wohnraum“. Vorratsraum und Lager befinden sich im nördlichen Teil des Hauses und dienen in den Wintermonaten als Pufferzone.

Auch Vitruv schrieb in seinen zehn Büchern über die Architektur („De Architectura“) von der richtigen Ausrichtung der Gebäude nach Süden, um die Belichtung und Wärme der Sonne effizient auszunutzen.

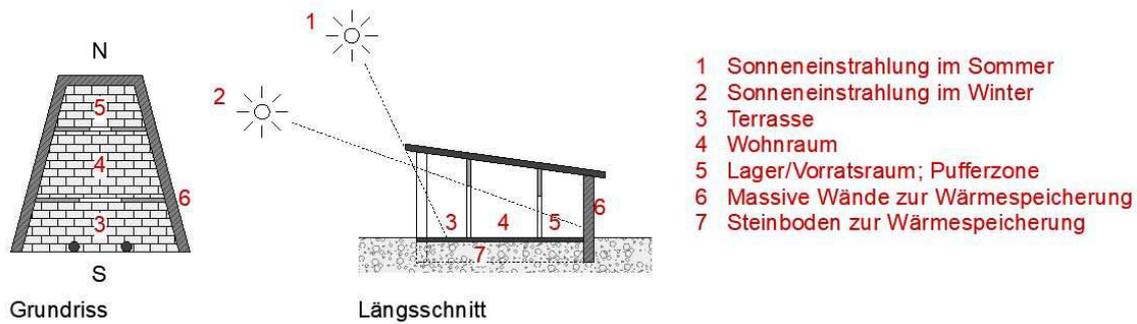


Abbildung 46: Sonnenhaus nach Sokrates

Im europäischen Raum wurden Häuser nach einem bestimmten Schema gebaut. Die Küche war der Mittelpunkt des Hauses, da sie durch die Feuerstelle der wärmste Raum war. Alle angrenzenden und darüber liegenden Räume konnten so von der abstrahlenden Wärme der aufgewärmten Wände und Böden bzw. Decken profitieren. Es war auch üblich, die Stallungen des Nutztviehs direkt an die Wohnräume zu bauen und somit unter demselben Dach zu leben. Die Abstrahlwärme der Tiere diente in den kalten Wintermonaten als zusätzlicher Puffer zum Außenraum.

In der Königs- und Kaiserzeit wurden dann bewusst Gebäude entwickelt, die eine passive Nutzung der Sonnenenergie ermöglichen. Durch die vielen Entdeckungsreisen in tropische Länder wollte man die fremden Pflanzen und Früchte auch im heimischen Land haben. Die Planung und Ausführung von riesigen Gewächshäusern, Palmenhäusern und Orangerien war das Ergebnis. (siehe Abb. 47) Die Orangerie in Schönbrunn in Wien erinnert dabei stark an das Sonnenhaus von Sokrates. Das Gebäude erstreckt sich längs von Ost nach West mit einer großen Glasfassade nach Süden. Im Norden wurden Gänge und Lagerräume angeordnet, die als Pufferzone dienen.



Abbildung 47: Südfassade der Orangerie in Schönbrunn, Wien

Zu Beginn waren diese neuartigen Bauwerke hauptsächlich dem reichen Adel vorbehalten. Die Baukosten und der benötigte Baugrund waren unter anderem Gründe dafür. Mit der Zeit entwickelte sich auch für das Bürgertum eine leistbare Alternative. Wintergärten und Veranden konnten an bereits bestehende Gebäude angebaut werden. Sie bestanden aus Holz mit einfach verglasten Fenstern und waren unbeheizt. Im Sommer und in der Übergangszeit konnte man sie als zusätzlichen Wohnraum nutzen und im Winter dienten sie als Pufferzone.

Die passive Nutzung der Sonnenenergie ist bis heute hauptsächlich im Wohnbau, und hier hauptsächlich im Einfamilienhaus-Bau, zu finden. Vereinzelt gibt es auch Schulen, Altersheime und Verwaltungsgebäude, die als passive Solarbauten ausgeführt werden. Aber im öffentlichen Bau ist es schwierig ein Gebäude mit besonderen Anforderungen ohne vorbildhafte Musterbauten und aufgeschlossene Bauträger umzusetzen. Dabei ist die passive Nutzung der Sonnenenergie längst keine Alternativtechnologie mehr, sondern kalkulierbar und risikoarm.

### 3.1.2. Grundlagen in der Planung

Energieeffizientes Bauen beginnt schon mit der Planung. Möglichkeiten zur Energieeinsparung ergeben sich schon beim Bebauungsplan. Stadtplaner können durch ihre Vorgaben zur Ausrichtung, Höhe oder Umriss eines Gebäudes eine wichtige Grundlage schaffen. Das Baukonzept des Architekten, welches die Form des Baukörpers und die Art der Bauteile bestimmt, kann darauf aufbauen. Die Fachingenieure, die für die haustechnischen Konzepte zuständig sind, haben aber den größten Einfluss auf die Energieeinsparung.

Für eine energieeffiziente Solararchitektur sollten übergeordnete Maßnahmen entwickelt werden, die in der Raumplanung, im Städtebau bis hin zur Objektplanung Verwendung finden. In diesen Planungsstadien können leichter Änderungen vorgenommen werden, die zu keinen oder nur sehr geringen Mehrkosten führen. Entscheidet man sich allerdings erst in der Ausführungsphase durch unterstützende Bautechnik oder dem Ausbau energiesparender Haustechnik für Energieeffizienz, kann es zu hohen Mehrkosten kommen. Reduziert auf die Stadt- bzw. Siedlungsplanung sind die Kriterien der Stadtgestaltung und die Nutzungsqualität der Freiräume den rein energietechnischen Kriterien übergeordnet. Diese müssen sich allerdings nicht widersprechen, sondern können sich durch eine gute Planung kombinieren und verbessern lassen.

Im nächsten Schritt, der Gebäudeplanung selbst, ist es wichtig, den Bauplatz auf seine Gegebenheiten und Vorgaben hin zu untersuchen. Mit Hilfe von Sonnenwegdiagrammen lassen sich genaue Aussagen zur Orientierung und Besonnung des Grundstückes treffen. Diese Daten spielen eine große Rolle bei der Entscheidung für eine gewinnmaximierende oder eine verlustminimierend Strategie des Baukonzepts. Die gewinnmaximierende Strategie hat den Vorteil einer günstigen Nord-Süd Orientierung und einer geringen Beschattung von Nachbargebäuden. Diese Strategie lässt sich am Stadtrand auf einem freien Feld leicht umsetzen. Die verlustminimierende Strategie hingegen kämpft mit einer ungünstigen Ost-West Orientierung und großer Beschattung. Baulücken in den dichten Innenstädten verfolgen meist diese Strategie.

Am Beispiel der verlustminimierenden Strategie V1 sieht man, dass die Nutzung von passiver Sonnenenergie kaum besteht. (siehe Abb. 48) Es handelt sich zwar um eine wirtschaftliche Bauform, aber durch die Ost-West-Orientierung des Gebäudes sind die Räume im Winter schwach besonnt. Im Sommer hingegen bekommen sie die volle Sonnenstrahlung ab, was zu ungewollter Aufheizung der Räume führen kann. Zudem gibt es eine dunkle Mittelgangerschließung.

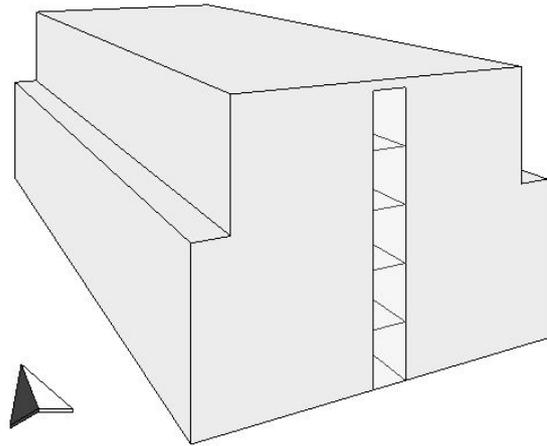


Abbildung 48: Verlustminimierende Strategie V1

Das Beispiel V2 gilt aufgrund derselben Ost-West-Orientierung auch als verlustminimierende Strategie. Durch die verglaste Erschließungspassage erhöht sich allerdings die Nutzungsqualität. (siehe Abb. 49) Einerseits erhält man eine helle Erschließung; andererseits ergibt sich die Möglichkeit der Querlüftung für die Räume. Im Sommer kann die aufgestaute Wärme durch den Kamineffekt über Dach weggelüftet werden; im Winter ist die Luft im Atrium temperiert und dient als überdachter Außenraum.

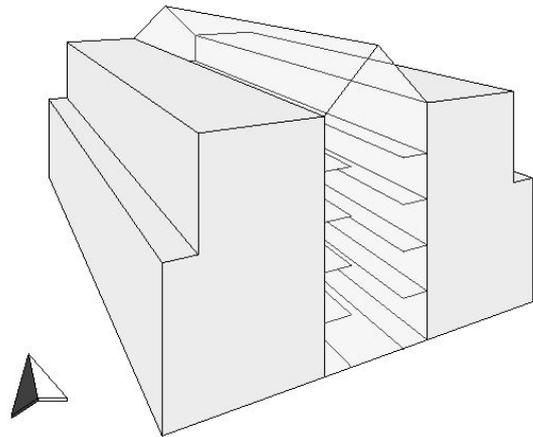


Abbildung 49: Verlustminimierende Strategie V2

Eine gewinnmaximierende Strategie wird bei G1 erzielt. Das Gebäude ist nach Süden orientiert mit einem verglasten Laubengang im Norden, der im Winter als Pufferzone dienen kann. (siehe Abb. 50) Hier besteht eine sehr hohe Möglichkeit der passiven Sonnenenergienutzung. Die steile Sommersonne kann durch kluge Anordnung von Sonnenschutz geblockt werden. Die flache Wintersonne kann hingegen voll zur Wärmegewinnung genutzt werden.

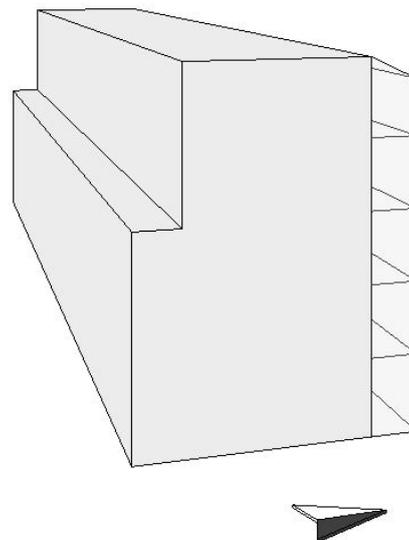


Abbildung 50: Gewinnmaximierende Strategie G1

Die Wahl der geeigneten Strategie der passiven Sonnenenergienutzung ist größtenteils von der Orientierung und der Beschattung des Bauplatzes abhängig. Oftmals wird aber trotz guter Voraussetzungen auf eine verlustminimierende Strategie wie bei V1 zurückgegriffen. Der Baukörper ist kompakt und lässt sich relativ leicht herstellen, da verlustminimierte Bauten im Vergleich zu gewinnmaximierten Bauten weniger aufwendige Planung und Bautechnik voraussetzen. Im Endeffekt können sie wirtschaftlicher hergestellt werden, sind in ihrer Nutzung allerdings unnötige Energieverbraucher.

Der abschließende Planungsschritt für ein energieeffizientes Gebäude ist eine gut durchdachte Haustechnik. Hier spielt die aktive Nutzung der Sonnenenergie eine große Rolle. Über Sonnenkollektoren und Photovoltaik-Anlagen lässt sich einfach und vor allem umweltfreundlich Energie gewinnen. Allerdings kann auch über eine intelligente Steuerung der Haustechnik Energie gespart werden. Heizungs- und Kühlungssysteme können über Bewegungsmelder informiert werden, ob sich Personen in einem Raum aufhalten oder nicht. So kann automatisch geheizt bzw. gekühlt werden, wenn Personen anwesend sind. Ist niemand im Raum, schaltet sich das System nicht ein und verbraucht nicht unnötig Energie. Automatisierte Rollläden können ebenfalls über Computer gesteuert werden, sodass sich durch automatisches Öffnen die Beleuchtungsstärke von Lampen reduzieren kann.

### 3.1.3. Allgemeine Maßnahmen

Unabhängig von der Orientierung oder der Besonnung eines Gebäudes gibt es Punkte, die eine Energieeinsparung von Gebäuden begünstigen. Wichtig vor allem in der Bestandssanierung ist die Verringerung der Transmissionswärmeverluste. Ältere Gebäude haben oft keine oder nur eine sehr geringe Dämmung. In den Wintermonaten verliert man sehr viel Wärme über die ungedämmten Wände und das Dach. (siehe Abb. 51) Stärkere oder bessere Dämmung kann schon große Unterschiede im Energieverbrauch erreichen. Über benötigte Energieausweise bei Neubauten kann man eine ausreichende Grunddämmung sicherstellen.



Abbildung 51: Vergleich von ungedämmten zu gedämmten Wänden mit einer Wärmebildkamera

Die Wahl der Fenster spielt auch eine Rolle. Auch ein gut gedämmtes Gebäude kann über schlechte Fenster eine Menge Wärme verlieren. Schon beim Einbau sollte man auf einen geeigneten Rahmen und eine passende Überdämmung achten. Etwas kostenintensiver wird es dann bei der Auswahl der Verglasung, ob es eine Beschichtung geben soll und welches Gas in die Scheibenzwischenräume gefüllt wird. Bei sehr großen Fensterflächen bzw. Glasfassaden ist es besonders wichtig, auf diese Punkte zu achten. Im Sommer kann es bei ungeeigneten Fenstern oder Fassaden sehr schnell zu einem Treibhauseffekt kommen; im Winter auf Grund der Temperaturunterschiede zu Kondensat.

Die Reduktion von Lüftungswärmeverlusten ist auch ein wichtiger Punkt. Bei Bauten mit großem Glasanteil ist es notwendig, automatische Be- und Entlüftungssysteme zu installieren. Vor allem bei Hochhäusern ist es eher unüblich, gewöhnliche Dreh-Kipp-Fenster einzubauen. Oftmals wird die verbrauchte Luft aus den Räumen abgesaugt, in Lüftungszentralen durch Frischluft ersetzt und danach wieder in die Räume eingeblasen. Beim Einbau von Be- und Entlüftungsanlagen sollte man ein System mit Wärmerückgewinnung wählen. Den die Abwärme der Abluft kann man gut zum Vorwärmen der Frischluft verwenden und somit Energie sparen.

Das Prinzip der Wärmerückgewinnung aus Lüftungssystemen kann man auch auf Abwässer anwenden. Wirtschaftlich Sinn macht das allerdings nur bei Gebäuden, bei denen eine große Menge an Abwasser anfällt, wie z.B. Sportstätten, Hotels oder Hallenbäder.

Grundsätzlich ist der wirtschaftlichste Weg zur Einsparung von Heizenergie zuerst die Erhöhung oder Verbesserung der Wärmedämmung des Gebäudes. Kann man daraus keinen Mehrwert mehr feststellen, ist der Ein- bzw. Ausbau von Haustechnik, die die Nutzung von Solarerträgen möglich macht, der nächste Schritt.

### 3.1.4. Einteilung nach Wärmegewinnung

Es gibt verschiedene Kategorien, in die die Bauelemente anhand ihrer Art der Wärmegewinne eingeteilt werden.

#### Direkter Wärmegewinn:

Die Sonnenstrahlung trifft direkt in den zu beheizenden Raum auf und die Wärme wird von den Oberflächen absorbiert. Gibt es dann keine Speichermasse, kann es zu Überhitzung kommen. Die Luft im Raum heizt sich auf, kann die Wärme aber nicht abgeben. Nachts ist das Gegenteil der Fall. Die Wärme kann nicht lange genug gespeichert werden und der Raum kühlt aus. (siehe Abb. 52)

Große Fenster bzw. „Sonnenfenster“ oder Glasfassaden sind für diese Kategorie ausschlaggebend. Unter dem Begriff „Sonnenfenster“ versteht man ein Fenster, das in einer Heizperiode einen Raum durch mehr Sonnenenergie erwärmen kann, als über

Wärmetransmission der Fensterfläche verloren geht. Allerdings kann es zu großen Temperaturschwankungen (Überhitzung im Sommer bzw. Abkühlung im Winter) kommen, wenn die Verglasung, der Sonnenschutz oder die Dämmung nicht richtig gewählt werden.

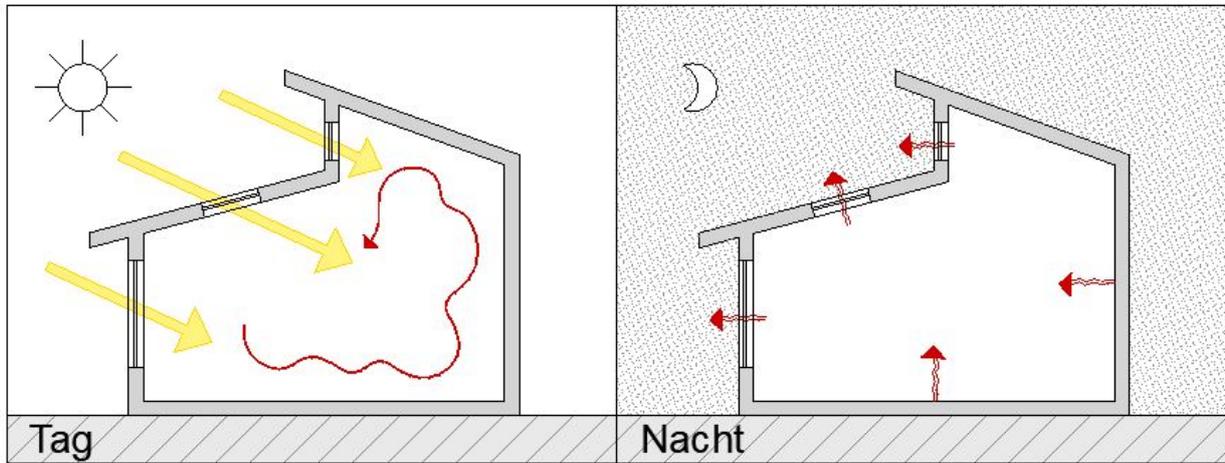


Abbildung 52: Direkter Wärmegewinn über direkte Sonneneinstrahlung

### Indirekter Wärmegewinn:

Hier trifft die Sonnenstrahlung auf eine Speichermasse, die die Sonnenwärme zeitverzögert abgibt. (siehe Abb. 53) Als Speichermasse können Wände, Decken und Böden gelten, die auf Grund ihres massiven Materials gut Wärme speichern können. Denn je größer die Wärmespeicherung eines Bauteils, desto geringer ist die Erhöhung der Raumtemperatur. In Leichtbauten kann es daher öfter zu einem Wärmeüberschuss kommen, als in Massivbauten. Auch angebaute Räume wie Wintergärten können als Wärmespeicher dienen. (siehe Abb. 54)

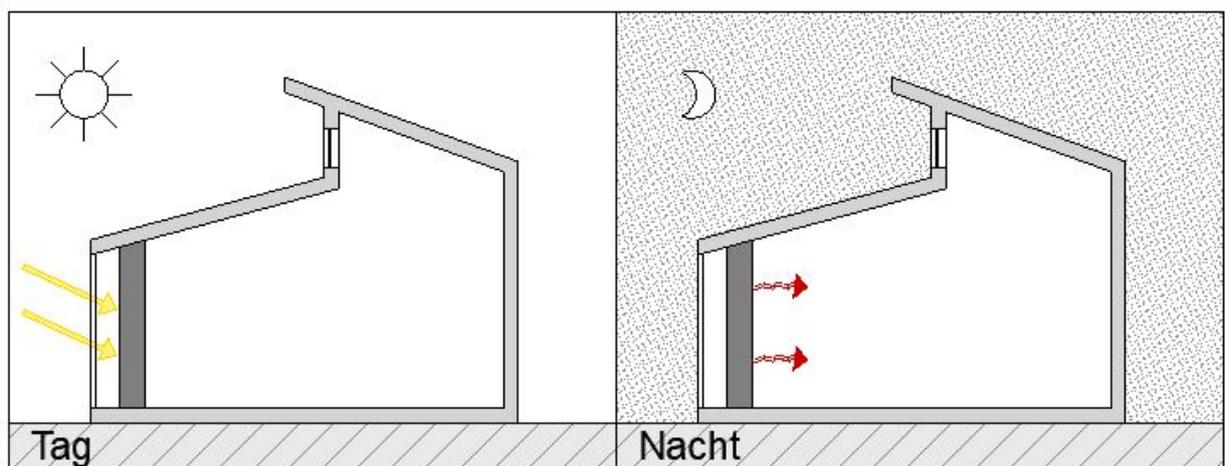


Abbildung 53: Indirekter Wärmegewinn über eine Speicherwand hinter der Fassade

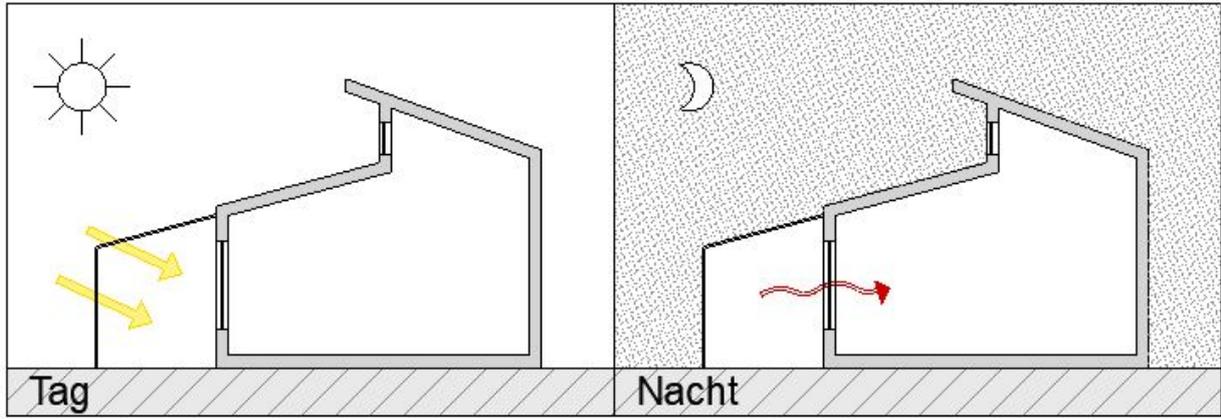


Abbildung 54: Indirekter Wärmegewinn über einen angebauten Sonnenraum (Wintergarten)

Isolierter Wärmegewinn:

Ähnlich wie beim indirekten Wärmegewinn trifft die Sonnenstrahlung auf eine Speichermasse. Diese ist aber vom zu beheizenden Raum getrennt. (siehe Abb. 55) In unserer Baupraxis eher unüblich, werden bei dieser Methode Hohlräume gebaut, die später mit grobem Schotter oder sogar Wasser gefüllt werden. Diese Speicher geben dann, wenn sie einmal aufgeheizt sind, langsam ihre Wärme ab.

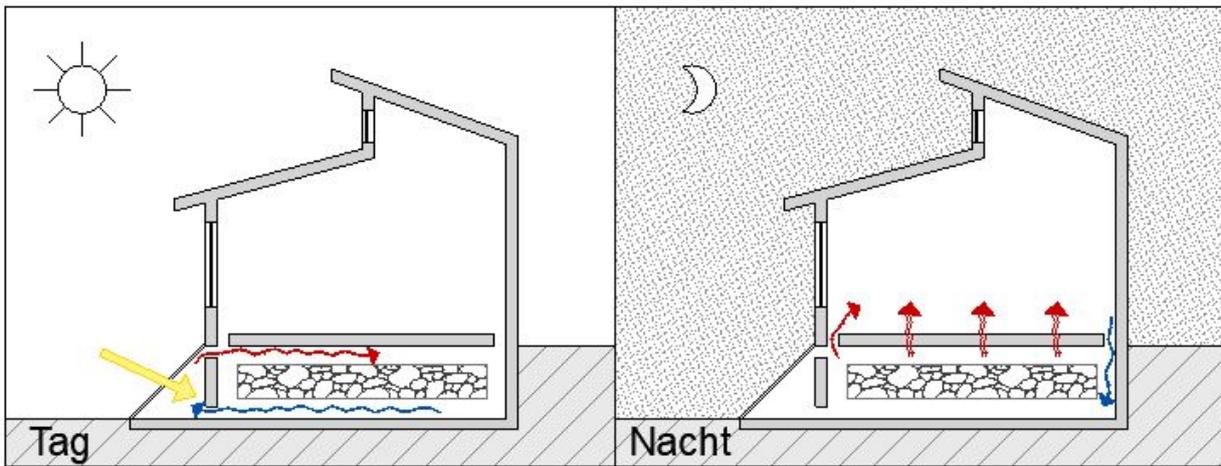


Abbildung 55: Isolierter Wärmegewinn über konvektive Schleifen um eine Speichermasse

Hybride Systeme:

Bei den hybriden Systemen wird auf eine Mischung von aktiven und passiven Methoden zurückgegriffen, um die Sonnenenergie zu nutzen. Nicht selten sieht man tolle Glasfassaden (passive Nutzung) in Kombination mit Sonnenkollektoren oder Photovoltaikanlagen (aktive Nutzung).

### 3.1.5. Beispiele für energieeffiziente Bauelemente

Die Energieeffizienz eines Gebäudes hängt von vielen Faktoren ab. Eine gute Grundlage bilden die Orientierung des Gebäudes und der daraus mögliche Ertrag der Sonnenenergie. Darauf aufbauend und ausschlaggebend sind allerdings verschiedene Bauweisen und haustechnische Anlagen. Die Kombination aus mehreren energieeffizienten Bestandteilen ist für ein Gebäude am sinnvollsten.

#### Passive Ventilation:

Eine Fassade mit Möglichkeit der passiven Ventilation kann zur Unterstützung der mechanischen Lüftungsanlage genutzt werden. Bei der richtigen Ausführung und den richtigen Gegebenheiten kann das Gebäude über die passive Ventilation der Fassade be- und entlüftet werden. Durch die doppelte Fassadenhaut ist die Anbringung eines Sonnenschutzes mit weniger Aufwand verbunden, da er vor Wettereinflüssen geschützt ist. Da die Abwärme im Fassadenzwischenraum abgeleitet wird, kommt es in den Räumen selten zu Wärmestaus, was der Nutzungsqualität zu Gute kommt. (siehe Abb. 56) Die verschiedenen Fassadentypen, die die passive Ventilation gewährleisten, sind in ihrer Herstellung oft etwas kostspieliger als herkömmliche Fassaden. Die Einsparung der Energiekosten auf den gesamten Lebenszyklus betrachtet ist aber nicht zu vernachlässigen.

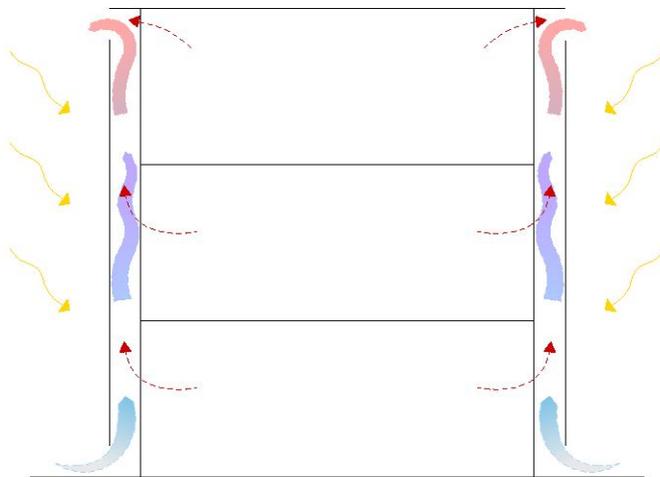
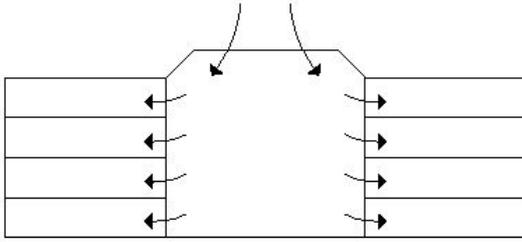


Abbildung 56: Systemskizze der passiven Ventilation

#### Glasüberdeckte Bereiche:

Bei glasüberdeckten Bereichen ist die Rede von Passagen und Atrien. Diese unbeheizten Bereiche dienen im Winter als Pufferzone. Da sie angenehm temperiert sind, können sie als überdachter Freiraum genutzt werden. Durch den direkten Sonneneinfall im Sommer kann es zwar schnell zur Aufwärmung kommen, aber durch großzügige Bepflanzung und gute Belüftung im Dachbereich kann dem gut entgegen gewirkt werden. (siehe Abb. 57)

Winter



Sommer

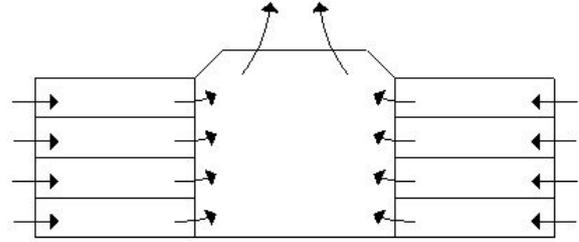


Abbildung 57: Lüftung von glasüberdeckten Bereichen

### Fensterkollektor/Luftkollektor:

Dieses Bauelement funktioniert nach dem Prinzip des isolierten Wärmegewinns. Die Luft in einer zweischaligen Glasfassade wird im Fassadenzwischenraum erwärmt und zirkuliert über Luftkanäle zu einer Speichermasse, die sich durch Konvektion aufwärmt. Über Transmission gibt die Speichermasse die aufgenommene Wärme wieder ab, was den passiven Gewinn der Sonnenenergie ausmacht. (siehe Abb. 58) Man profitiert auch von der direkten Sonneneinstrahlung. Sollte diese aber im Sommer zu stark sein, werden Rollos oder Lamellen zur Verdunkelung im Fassadenzwischenraum angebracht. Zur manuellen Bedarfslüftung oder Stoßlüftung zum vollkommenen Luftaustausch werden zusätzlich Fenster in der Fassade vorgesehen. Zu beachten ist, dass die Speichermasse eine bestimmte Dichte haben sollte, damit eine größtmögliche Wärmeaufnahme erreicht wird. Dabei ist mit zusätzlichem Gewicht zu rechnen, was mit der Konstruktion abgefangen werden muss.

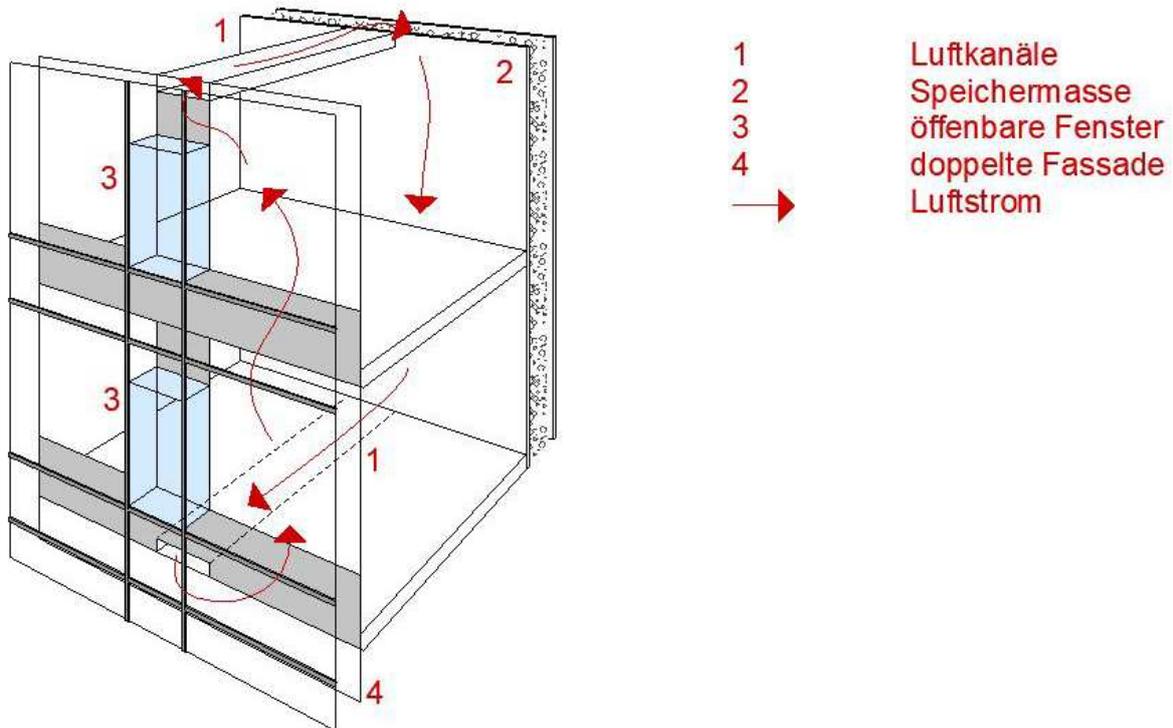


Abbildung 58: Funktionsskizze eines Fensterkollektors

### Betonkernaktivierung:

Die Betonkernaktivierung kann zur Heizung und Kühlung verwendet werden, da die Wassertemperatur in den Rohren regulierbar ist. Je nach Jahreszeit kann man die Temperatur individuell einstellen; sie sollte aber zwischen 18°C und 28°C liegen. Durch die hohe Leitfähigkeit des Betons, egal ob nun Kälte- oder Wärmeleitfähigkeit, ist es einfacher, große Flächen gleichmäßig zu heizen oder zu kühlen. Die Leitungen können ohne großen technischen Aufwand im Ortbeton verlegt werden, aber auch im Beton-Fertigteil. (siehe Abb. 59)

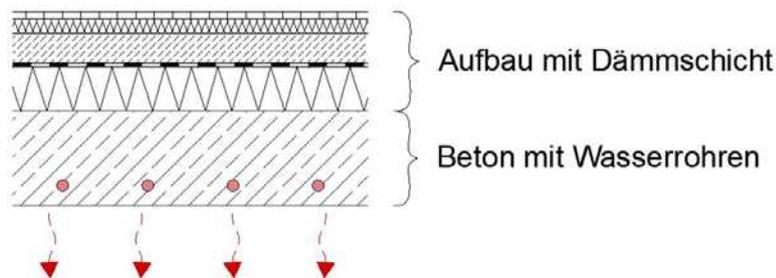


Abbildung 59: Skizze einer Geschosdecke mit Wasserrohren zur Betonkernaktivierung

### Bohrpfahl mit Sole-Leitungen (Energiebohrpfahl):

Im Hochhaus-Bau ist es am sinnvollsten, wenn man die benötigten Bohrpfähle für die Fundierung mit Sole-Leitungen ausstattet. So kann die Wärmepumpe in der Heizperiode (Herbst-Winter) der Erde die Wärme entziehen. In der Kühlperiode (Frühling-Sommer) wird das System umgekehrt, vorausgesetzt es handelt sich um eine Wärmepumpe mit reversibler Umschaltung. (siehe Abb. 60) Die Wärmepumpe entzieht den aufgeheizten Räumen die Wärme und gibt sie an die Erde ab.

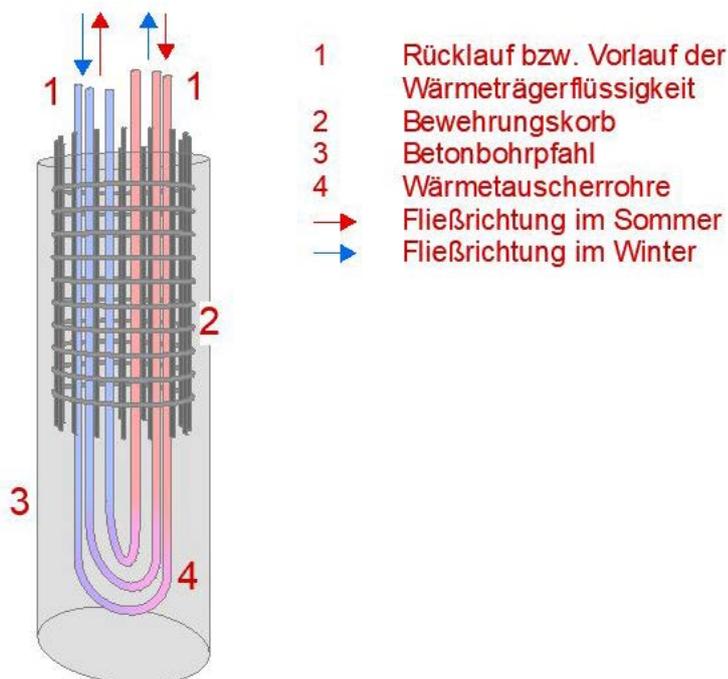


Abbildung 60: Schemaskizze eines Energiebohrpfahls

## 3.2. Ressourceneffizienz

Unter Ressourceneffizienz versteht man vereinfacht ausgedrückt das Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen eines Produktes. Einerseits wird der benötigte Input wie Energieaufwand, Emissionsmenge in der Herstellung und Materialeinsatz beleuchtet, andererseits das fertige Endprodukt und damit die Leistung bzw. der Nutzen. Ein geringerer Einsatz von Rohstoffen in der Fertigung ist genauso wichtig wie die dabei verbrauchte Energie und die ausgestoßenen Abgase. Auch eine Verlängerung der Nutzungsphase durch einfache Wartung oder Reparatur spielen eine große Rolle. Schlussendlich sind eine Trennung der Materialien und eine mögliche Wiederverwertung dieser bedeutende Punkte. So können manche Produkte zwar in der Herstellung aufwendig, aber durch ihre lange Lebensdauer und einfache Recyclingmöglichkeit trotzdem ressourceneffizient sein. Der umgekehrte Fall ist ebenso möglich, wenn ein Produkt wenig Rohstoffe und Energie im Fertigungsprozess benötigt, dann aber in der Nutzung und der Abfallverwertung schlechtere Möglichkeiten bietet. Durch geeignete Maßnahmen und technologische Konzepte kann man Verbesserungen erzielen, die sich sowohl in der Fertigung als auch im Lebenszyklus abzeichnen können.

Im Allgemeinen sollte allerdings darauf geachtet werden, den Verbrauch gering zu halten und Abfall zu vermeiden. Bei der Herstellung sind Energie aus erneuerbaren Quellen und die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen zu bevorzugen. Denn die Knappheit von Ressourcen wird ein immer ernsteres Thema. In den kommenden Jahrzehnten wird man die Auswirkungen des verschwenderischen Umgangs mit Ressourcen nach und nach stärker merken. Auf einen längeren Zeitabschnitt gesehen, z.B. die letzten Jahrhunderte bis heute, sind die Reserven laufend weniger geworden.

Auch die Schließung von Materialkreisläufen sollte zum Grundsatz von Produktionen werden. Die Kreislauffähigkeit von Produkten trägt einen großen Beitrag zur Ressourceneffizienz bei. Sie wird in der Demontierbarkeit von Produkten, der sortenreinen Trennbarkeit nach Materialien und der Rezyklierbarkeit dieser Materialien gemessen und bewertet.

### 3.2.1. Materialeffizienz

Die Gewinnung oder Produktion von Materialien kann, abhängig vom Ausgangsstoff, mehr oder weniger effizient ausfallen. Bei der allgemeinen Materialeffizienz spielt der Umgang mit den anfallenden Abfallprodukten und was man mit ihnen macht eine wichtige Rolle. Nachfolgend werden einige Materialien aus der Baubranche näher betrachtet.

## Holz:

Holz ist ein nachwachsender Rohstoff und somit ein wichtiger Bestandteil der zukünftigen Bauwelt. Durch die heutzutage möglichen Berechnungen sind Bauteile aus Holz genauso gut für statisch anspruchsvolle Projekte einzusetzen wie Beton oder Stahl. Die dafür benötigten Grundbestandteile sind im Vergleich zu den anderen Materialien aber etwas aufwendiger herzustellen. Das Verhältnis zwischen Rohstoffeinsatz und Endprodukt ist bei Holz eher gering, da man rechteckige Querschnitte aus einem runden Baumstamm sägt. Was das Holz als Baustoff aber nicht ineffizient macht, ist der Umgang mit den Nebenprodukten wie der Rinde, den Säge- und den Hobelspänen. Da die Entrindung der Baumstämme nicht mehr im Wald sondern im Sägewerk selbst erfolgt, kann die aufgefangene Rinde als Dünger oder Rindenmulch weiterverwendet werden. Die anfallenden Späne bei den Säge- und Hobelprozessen können zu weiteren Holzwerkstoffen verarbeitet werden und so ebenfalls einen Wert haben. So kann der Großteil eines Baumes genutzt und verarbeitet werden, auch wenn vergleichsweise wenige Bretter herausgeschnitten werden können. (siehe Abb. 61)

Um die Materialeffizienz für Holz noch zu steigern, sollte es auch Überlegungen für die Verwendung der Äste und des Wurzelstockes geben, die nach der Abholzung im Wald verbleiben. Auch eine 1:1 Nachpflanzung der geschlägerten Bäume wäre essenziell, denn so kann man den zukünftigen Bedarf abdecken und gleichzeitig die Luftqualität nicht verschmälern. Die Verwertung einer Holzkonstruktion nach dem Rückbau bzw. Abbruch ist in vielen Fällen ungeklärt. Meist wird Altholz einfach nur verbrannt und als erneuerbare Energiequelle genutzt.

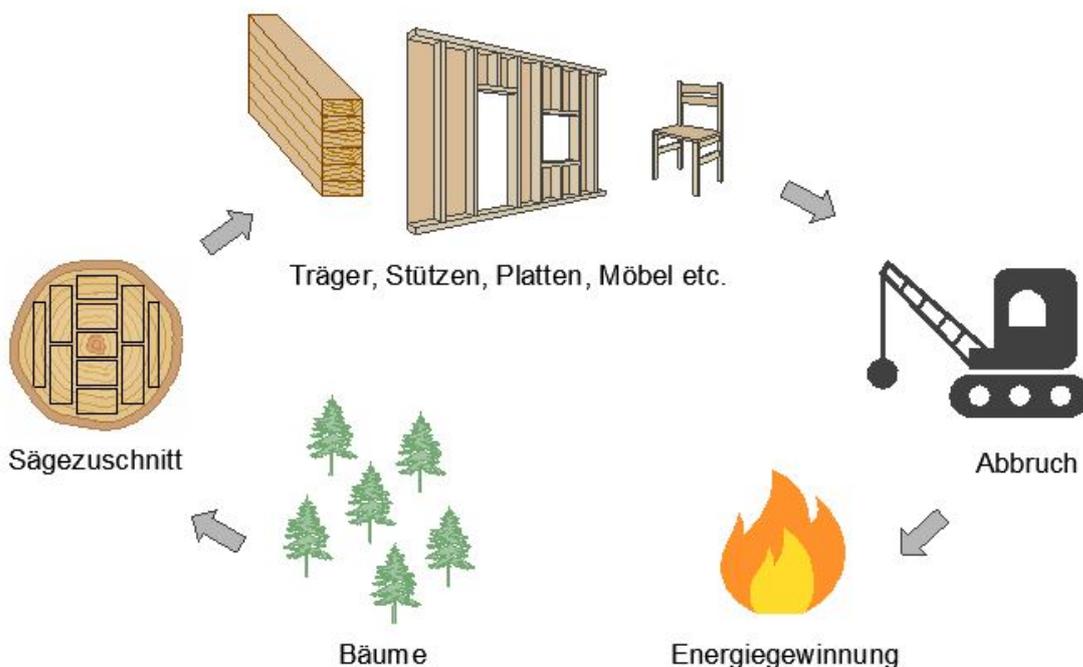


Abbildung 61: Kreislauf von Holz

## Beton:

Beton bzw. Stahlbeton werden am häufigsten zum Bauen verwendet. Durch die preiswerten Ausgangsstoffe Sand, Wasser und Zement kann ein günstiger Baustoff produziert werden. Aufgrund der beliebigen Formbarkeit in der Ausführung können auch komplizierte Bauteile hergestellt werden, was mit anderen Baustoffen nicht möglich wäre. So fällt auch kaum Abfall in der Produktion an, da die benötigte Menge genau berechnet und dann frisch angemischt wird. (siehe Abb. 62) Was den Beton allerdings nicht besonders umweltfreundlich macht, sind die entstehenden Emissionen bei der Zementherstellung. Durch besondere Technologien im Herstellungsprozess sollen aber zukünftig die Emissionen dauerhaft gesenkt werden. Österreich ist weltweit bereits Vorreiter, was die Maßnahmen zur Reduktion von Emissionen angeht. (vgl. [www.zement.at](http://www.zement.at), 2019, S.7)

Neben den Emissionen ist allerdings der hohe Verbrauch an Gesteinskörnungen nicht zu vergessen. Der Anteil an Neubauten ist um ein Vielfaches größer als der Anteil an Bauten, die abgerissen werden. Selbst wenn der Bauschutt komplett als Gesteinskörnung wiederverwendet werden würde, was aber aufgrund der vielen verschiedenen Komponenten nicht möglich ist, könnte der Bedarf nicht gedeckt werden. In manchen Teilen der Erde gibt es sogar schon eine Knappheit an Sand, sodass die Meeresböden mit riesigen Maschinen bearbeitet werden müssen, um Sand an die Oberfläche zu befördern. (vgl. [www.scinexx.de](http://www.scinexx.de), 2017, o.S.)

Um den Materialkreislauf für Beton noch zu optimieren, müssen Überlegungen und Forschungen angestrebt werden, um die endliche Ressource Sand zu entlasten und den wenigen Abbruchmassen einen größeren Stellenwert beimessen.

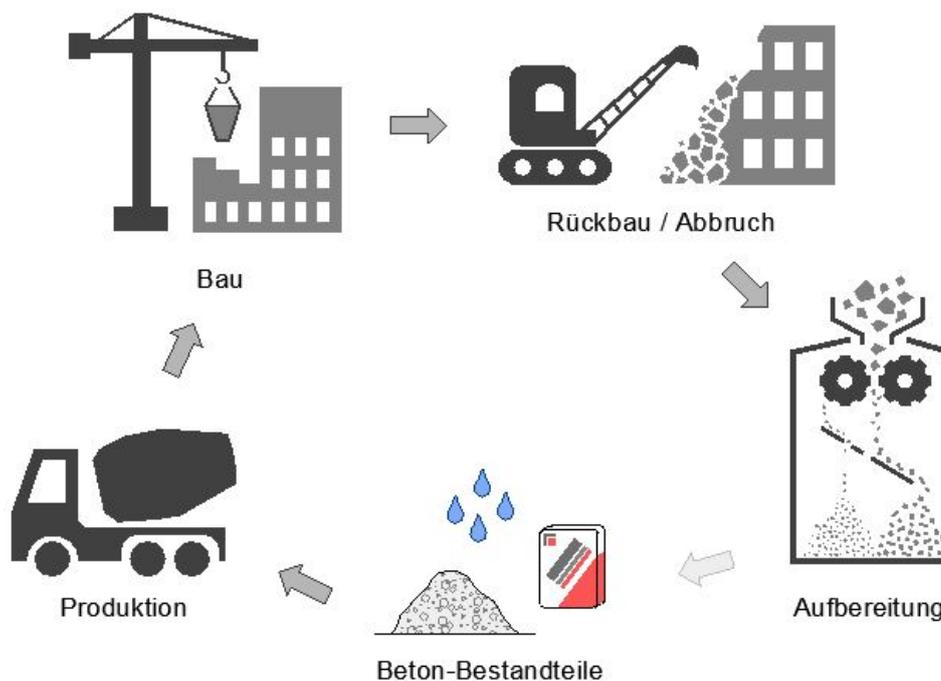


Abbildung 62: Kreislauf von Beton

## Metall:

In der Baubranche gibt es viele Produkte aus Metall, die unterschiedliche Anwendungsgebiete abdecken. Ob als Fassadenbekleidung oder lastabtragende Bauteile, die Herstellung jeglicher Metallbauteile ist energie- und emissionsintensiv. Bis zu 80% des gesamten Energiebedarfs der Produktion werden bei der Erzeugung von flüssigem Rohstahl gebraucht. (vgl. [www.wifo.ac.at](http://www.wifo.ac.at), 2016, S.9) Zur Verwendung in der Herstellung kommen hauptsächlich Erze, da im Bauwesen Metallabfälle aus Abbruchgebäuden eher selten anfallen. (siehe Abb. 63) Es können aber in der Hochofenproduktion bis zu 30% Metallschrott beigefügt werden, was die CO<sub>2</sub>- und Treibhausgas-Emissionen um ca. 20% sinken lässt. (vgl. [www.wifo.ac.at](http://www.wifo.ac.at), 2016, S.47)

Ein Gebäude, das allerdings aus einer reinen Stahlkonstruktion besteht, gibt es eher selten. Das liegt daran, dass Stahl eine hohe Wärmeleitfähigkeit hat und im Brandfall schnell an Tragfähigkeit verliert. Aus diesem Grund rückte die Verbundbauweise mit Beton in den Vordergrund, denn so mussten die Stahlbauteile zum Schutz nicht mehr eingepackt werden.

Was bei Brand- und Schallschutz Pluspunkte bringt, ist ein großer Minuspunkt, was das Recycling betrifft. Die Vorfabrikation von Stahlbauteilen setzt voraus, dass Bauteilverbindungen hauptsächlich aus Schraubverbindungen bestehen, weil das Schweißen auf der Baustelle nur unter sehr besonderen Voraussetzungen möglich ist. Durch diese Schraubverbindungen sind die Bauteile nicht nur einfach zu montieren, sondern auch einfach wieder auseinander zu nehmen, was eine mögliche Wiederverwendung nicht ausschließt. Der Verbund mit Beton erschwert dies jedoch erheblich.

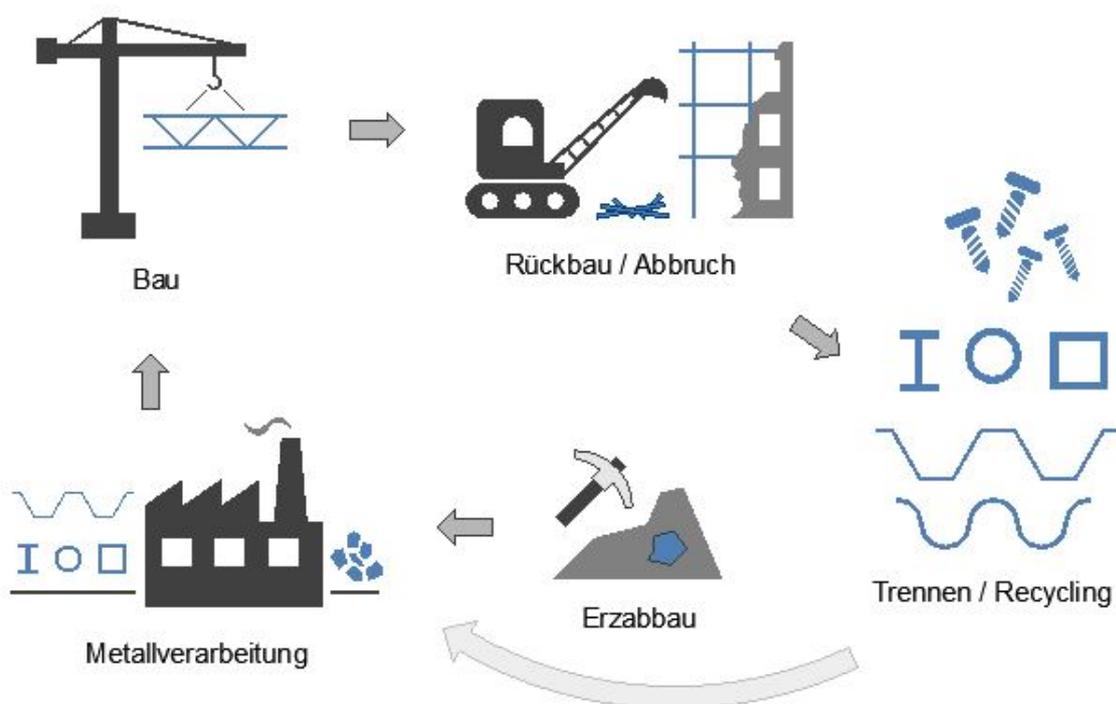


Abbildung 63: Kreislauf von Metall

## Glas:

Glas ist ein Naturprodukt, das sehr gut rezyklierbar ist. Gebrauchtes Glas kann, ohne an Qualität und Materialeigenschaften zu verlieren, wieder eingeschmolzen werden. (siehe Abb. 64) Dies wirkt sich positiv auf den Energieverbrauch und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß in der Herstellung aus, da das Einschmelzen von Altglas nicht so viel Energie benötigt, wie das Einschmelzen der Ausgangsstoffe. (vgl. [www.wifo.ac.at](http://www.wifo.ac.at), 2016, S.18) Natürlich muss dazu das Glas sortenrein und nach Farbe sortiert werden, um ein bestmögliches Recyclingergebnis zu erhalten.

Die Herstellung von Glasprodukten verläuft ohne große Mengen an Verschnitt oder Abfall. Denn jegliche Reste oder Bruchglas können wieder in den Stoffkreislauf eingebracht werden. Altglas, welches nicht zur Erzeugung von neuen Produkten eingeschmolzen wird, kann zu dämmendem Schaumglasschotter weiterverarbeitet werden. (vgl. [www.wifo.ac.at](http://www.wifo.ac.at), 2016, S.82)

Glas für die Baubranche wird im Floatglas-Verfahren hergestellt. Dabei fließt das flüssige Glas in eine Wanne mit flüssigem Zinn und wird mit Hilfe von Rollen in die Länge gezogen und langsam abgekühlt. Spezifische Anforderungen wie Wärmeschutz, Sonnenschutz, Brandschutz oder Sicherheitsgläser werden unter aufwendigen Herstellungsprozessen erreicht. Hauptsächlich findet man Glas als Teil der Gebäudehülle, in seltenen Fällen aber auch als Tragwerk (Structural Glazing).

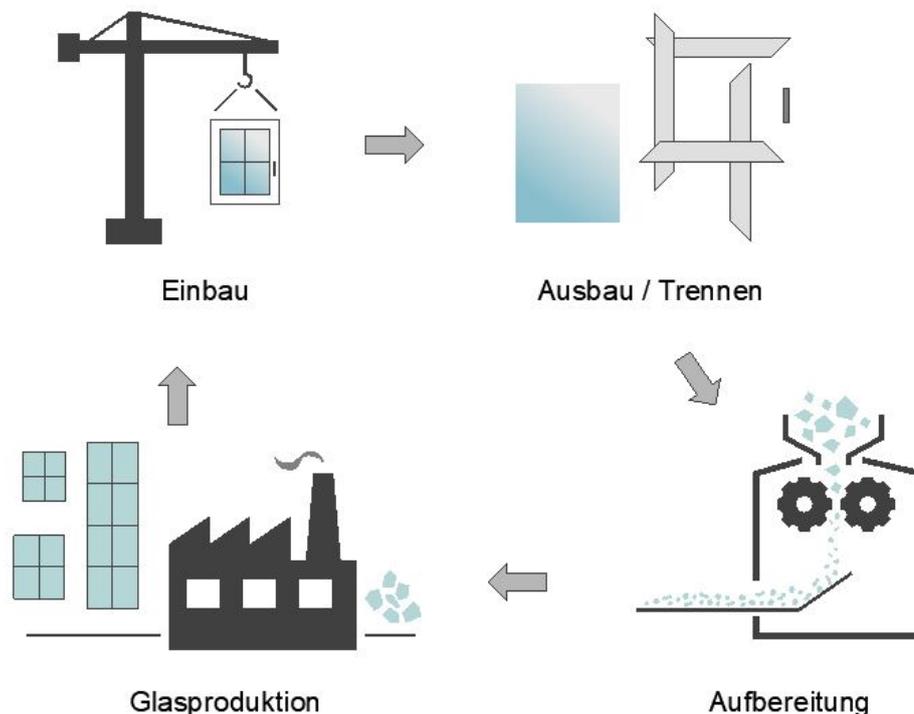


Abbildung 64: Kreislauf von Glas

## Dämmstoffe:

Als man nach der Energiekrise der 1970er Jahre in den 1980er Jahren mit dem Dämmen von Gebäuden begann, achtete man noch nicht darauf, was nach abgelaufener Lebensdauer dieser Stoffe mit ihnen geschehen würde. Zum Teil ist deren Lebensdauer auch noch nicht erreicht, weswegen man auch heute noch in großem Maße damit dämmt. Im Falle von Polystyrol-Platten sprechen die einfache Handhabung und Verarbeitung sowie der günstige Preis für einen Gebrauch. Da eine Wiederverwendung und Recycling allerdings zurzeit nicht möglich sind, finden diese Platten nach Abbruch hauptsächlich in der thermischen Verwertung einen Nutzen. Um nicht unverwertbaren Müll für die Zukunft zu produzieren, sollte man sich für ökologisch bessere Dämmstoffe entscheiden.

Aber nicht jeder Dämmstoff ist für dieselbe Situation geeignet. (siehe Tabelle 2) Die Wahl der Dämmung hängt von vielen Faktoren ab. Brandschutz, Diffusionsfähigkeit, Begeh- oder Befahrbarkeit sind nur einige der Anforderungen, die neben einer ausreichenden Dämmwirkung erfüllt werden müssen.

	<b>Dämmstoff</b>	<b>Form</b>	<b>Preisklasse</b>	<b>Bemerkungen</b>
<b>Anorganische, synthetische Rohstoffe</b>	Mineralfaser-Glaswolle	Platten	günstig	nicht druckbelastbar
	Mineralfaser-Steinwolle	Platten	günstig	nicht druckbelastbar
	Schaumglas	Platten	teuer	Rohstoff Altglas
<b>Anorganische, natürliche Rohstoffe</b>	Blähton	Schotter	k.A.	als Schüttung oder Teil der Gesteinskörnung bei dämmendem Beton
<b>Organische, synthetische Rohstoffe</b>	Polystyrol expandiert (EPS)	Platten	günstig	unverrotbar, schwer bis nicht recyclebar
	Polystyrol extrudiert (XPS)	Platten	mittel - teuer	unverrotbar, schwer bis nicht recyclebar
<b>Organische, natürliche Rohstoffe</b>	zementgebundene Holzwolle	Platten	mittel	meist als verlorene Schalung mit zusätzlicher Dämmung
	Zellulosefaser	Papier-Flocken	günstig	Schütt- oder Einblasverfahren

Tabelle 2: Dämmstoffe im Überblick (vgl. Deplazes, 2013, S.146f)

### 3.2.2. Nachnutzung

Im Laufe des Lebens eines Gebäudes gibt es mehrmals den Punkt, an dem man sich überlegen muss, wie und ob man eine Sanierung durchführt. Vor allem kleine Mängel oder Schäden sollte man schnellstens beheben, bevor sie zu großen und schweren Folgen führen. Irgendwann ist allerdings der Punkt erreicht, an dem simple Sanierungsarbeiten nicht mehr ausreichen. Niemand möchte in einem Gebäude leben oder arbeiten, in dem es zieht oder im Winter ständig Wasser an den Fensterscheiben kondensiert. Bei Gebäuden, wo es unübersehbar Probleme gibt und die zu aufwendig für Renovierungsarbeiten sind, ist meist Abriss die beste Lösung. Um so wenig deponiepflichtigen Abfall wie möglich zu verursachen, ist beim Abriss auf eine sortenreine Trennung der Baustoffe zu achten. Gerade bei alten Abrissgebäuden ist dies oft schwierig, da beim Bau meist noch nicht daran gedacht wurde, wie sie nach der Nutzung wieder in den Kreislauf eingebracht werden können. Vielleicht wurden Materialien verwendet, die nicht fürs Recycling geeignet sind. Eventuell gibt es Konstruktionen und Verbindungen, die unlösbar miteinander verbunden sind.

Da die Nachfrage nach neuen Gebäuden ein dauerhafter Zustand ist, sollte man darauf achten, Materialien und Verbindungen zu verwenden, die eine leichtere Eingliederung in einen Recyclingzyklus gewährleisten. Hierbei spielt die Zerlegbarkeit von Bauteilen eine große Rolle. Klar trennbare und damit auch sichtbare Verbindungen von Materialien wie Schraub- oder Steckverbindungen sollten permanenten, unlösbaren Verbindungen vorgezogen werden. Vor allem bei homogenen Konstruktionen aus einem Material ist so die Wiederverwendbarkeit höher. Auch Verbindungen zwischen verschiedenen Materialien sollten, wo möglich, zerstörungsfrei trennbar und demontierbar sein, um eine Wiederverwertbarkeit zu ermöglichen.

Dabei ist klar zwischen Wiederverwendung und Wiederverwertung zu unterscheiden. Die Wiederverwendung setzt voraus, dass das Bauteil keine Beschädigungen beim Rückbau erlitten hat und somit ohne Minderung der Materialeigenschaften wieder verbaut werden kann. Bei der Wiederverwertbarkeit wird das Bauteil wieder dem Herstellungsprozess zugeführt, um ein neues, aus recyceltem Material bestehendes Bauteil zu produzieren. Die Begriffe Upcycling und Downcycling sollten auch im Bauwesen eine größere Bedeutung finden. (siehe Tabelle 3)

<b>Recycling</b>	
Upcycling = stoffliche Aufwertung z.B. Zellulosedämmung aus Altpapier	Downcycling = stoffliche Abwertung z.B. Füllmaterial aus Ziegel- und Betonschutt

Tabelle 3: Begriffserklärung Recycling

### 3.2.3. Effiziente Flächennutzung

Neben Energie und Rohstoffen gilt es auch, den Anstieg an Flächennutzung im Auge zu behalten. Der Bedarf an Wohn- und Arbeitsflächen nimmt stetig zu, da immer mehr Menschen in die Städte ziehen. Ein Hauptgrund für die Zunahme an Fläche ist, dass man seinen „Wohlstand“ bzw. sein komfortables Leben in Form einer größeren Wohnfläche zeigen will. In Österreich bewohnte 2004 eine Person im Durchschnitt noch 41,0 m<sup>2</sup>, in 2019 waren es bereits 45,3 m<sup>2</sup>. (vgl. [www.statistik.at](http://www.statistik.at), 2020, o.S.) Was im Detail nach einer kleinen Änderung aussieht, hat in der Gesamtheit aber große Auswirkungen. Durch den vermehrten Bedarf werden in den städtischen Randgebieten eher Neubauten gebaut anstatt innerstädtische Bestandsgebäude nach zu verdichten. Dabei kommt es zu einer Zersiedelung, die im Endeffekt wertvollen Baugrund und zusammenhängende Grünflächen reduziert. Beschränkt man sich in der Planung allerdings auf eine genügsamere Denkweise und plant für ein bequemes Leben, aber keinen Überfluss, kann man einer stetigen Versiegelung entgegenwirken, die nicht nur Gebäudefläche an sich betrifft, sondern auch die benötigte Infrastruktur wie Straßen und Parkplätze beinhaltet.

Zur Nachverdichtung der innerstädtischen Gebäude ist anzumerken, dass man in der Planung eher weg vom schnelllebigen Lebenszyklus hin zur Wertschätzung der Dauerhaftigkeit, im Sinne von Bestandssanierung anstatt Neubau, kommt. Solange die Grundstruktur eines Gebäudes einwandfrei ist, sollte die Verlängerung der Nutzung im Vordergrund stehen. Anhand der Altbauten z.B. in Wien sieht man, dass eine Nachfrage für sanierte Gebäude besteht.

Denn: „Historische Bausubstanz gehört, wie der Boden, zu den nicht vermehrbaren und vor allem zu den nicht mehr wiederholbaren Ressourcen unserer Umwelt.“ (Hegger et al., 2008, S,20)

### 3.3. Lebenszyklusbetrachtung

Gebäude sind massive Konstrukte, die bei guter Behandlung ein sehr langes Leben haben können. Sie werden auf eine lange Lebensdauer hin geplant und ausgeführt. Der Lebenszyklus beschreibt die Zeitspanne vom Bau eines Gebäudes bis zu dessen Rückbau bzw. Abbruch. Die Lebenszyklusbetrachtung umfasst aber nicht nur die einzelnen Lebensphasen eines Gebäudes, sondern auch die Ökobilanzierung und eine Analyse der Lebenszykluskosten.

#### 3.3.1. Begriffserklärung Ökobilanzierung

Die Zusammenstellung und Beurteilung der Wirkungen eines Produktes im Laufe seines „Lebensweges“ wird als Ökobilanzierung bezeichnet. Es werden die Gewinnung und Aufbereitung der Rohstoffe sowie deren Herstellung und Nutzung bis hin zum Recycling und der Entsorgung betrachtet. (siehe Abb. 65) Dabei werden die Umweltwirkungen wie Emissionen in Luft, Wasser und Boden und der Ressourcenverbrauch erfasst und ausgewertet. Beurteilt wird die Gesamtwirkung auf die Umwelt (z.B. Abholzung/Rodung von Wäldern schlecht für das Klima) und nicht die Wirkung oder das Risiko für ein bestimmtes Umfeld (z.B. toxische Ausdünstung im Innenraum).

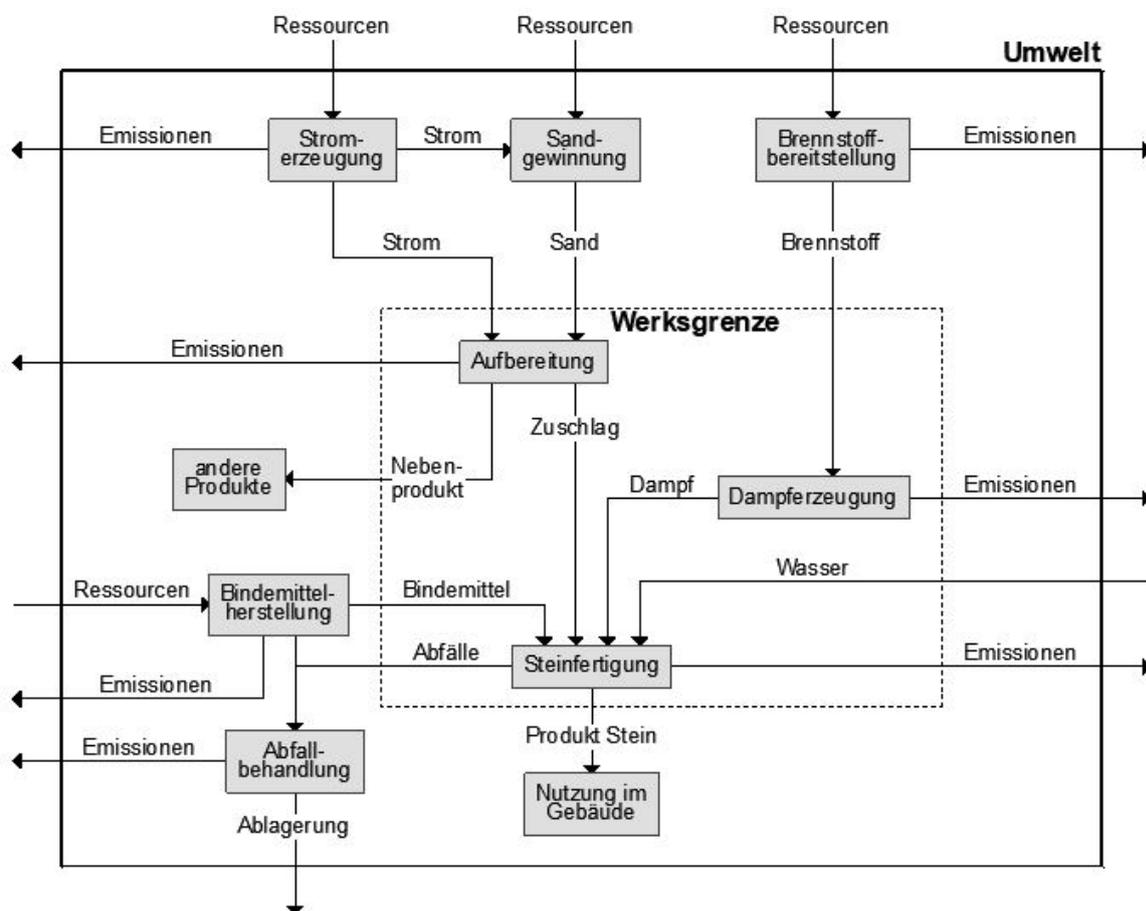


Abbildung 65: Diagramm einer Ökobilanzierung von Stein (vgl. König et al., 2009, S.42)

Eine Ökobilanzierung wird meist für ein Produkt oder Bauteil erstellt und durch Plaketten gekennzeichnet. (siehe Abb. 66)

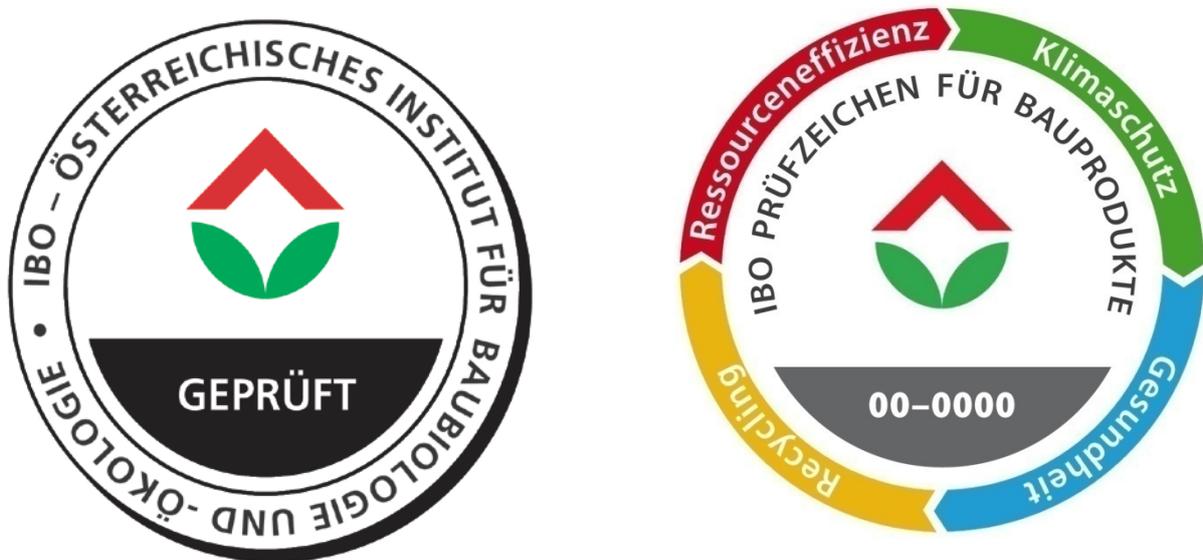


Abbildung 66: Zertifikatsplaketten für Bauprodukte

Aber auch Gebäude können auf ihren ökologischen und nachhaltigen Beitrag hin untersucht werden. Dafür gibt es die Möglichkeit, das Gebäude von der ÖGNB (Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) zertifizieren zu lassen. Es gibt fünf Kategorien, in denen ein Gebäude analysiert wird. Kategorie A bewertet die Qualität des Standorts und der Infrastruktur sowie die Ausstattung der Erschließung. In der Kategorie B wird das Gebäude auf die ökonomische Wirtschaftlichkeit, die Nutzungsflexibilität und den Brandschutz untersucht. Kategorie C beschäftigt sich mit den verwendeten Energieträgern und dem Verbrauch. Die Kategorie D bewertet die Aspekte der Gesundheitseinflüsse und des Komforts des Gebäudes auf den Nutzer. In der letzten Kategorie, Kategorie E, geht es um die Ressourceneffizienz, die Verwendung ökologischer Baustoffe, Vermeidung kritischer Stoffe und um die ökologische Betrachtung von der Herstellung bis zur Entsorgung des Gebäudes. (vgl. [www.ibo.at](http://www.ibo.at), o.J., o.S.)

Die Zertifizierung von Gebäuden nach ihrem Beitrag zur Nachhaltigkeit soll vor allem einen Weg aufzeigen, der vom Kostenwettbewerb weg und hin zum Qualitäts- und Kompetenzenwettbewerb führt. Denn nicht nur die Energieeffizienz ist wichtig, sondern auch ein umweltgerechtes und gesundheitsverträgliches Planen, Bauen und Betreiben.

Es gibt bereits internationale Institutionen, die sich mit dem Zertifizieren von nachhaltigen Bauten beschäftigen. Allerdings ist es schwer, die Einrichtungen und ihre Zertifizierungen untereinander zu vergleichen. Andere Länder oder Regionen haben unterschiedliche Voraussetzungen, was die kulturellen, klimatischen, bautechnischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen angeht, die zu erfüllen sind.

### 3.3.2. Analyse der Lebenszyklusphasen

Der Lebenszyklus eines Gebäudes kann in vier Phasen aufgeteilt werden. Die Analyse jeder einzelnen Phase gibt darüber Aufschluss, welche Schritte zu unternehmen sind, um am Ende des Lebenszyklus ein nachhaltiges, gutes Ergebnis zu erhalten.

#### Neubau

Vor dem eigentlichen Bau spielt die Planung eine maßgebliche Rolle. Die Entscheidungsfreiheit ist noch sehr groß und die Wahl der Bauweise und der Bauprodukte ist meist noch ungewiss. Die finanziellen, energetischen und ökologischen Auswirkungen werden gegeneinander abgewogen und an die Erwartungen und Ziele des Gebäudes angepasst.

Auch der Baugrund selbst ist Teil der Analyse. Transport zum Baugrund und Infrastruktur auf demselben sind bedeutsame Punkte, die im Vorhinein abzuklären sind. Die Aufschließung des Grundstücks und das Einrichten der Baustelle sollten leicht möglich sein. Die Belieferung von lokalen Anbietern ist zu bevorzugen und weite Lieferwege zu vermeiden.

Beim Bau des Gebäudes ist auf einen effizienten Umgang mit Baustoffen und technischen Hilfsmitteln zu achten. Baustoffe und Bauteile sollten so geordert werden, dass sie ohne viel Verschnitt und problemlos verbaut werden können. Große Maschinen, die für Bohrarbeiten oder dergleichen benötigt werden, sollten effizient genutzt werden, um Leerlauf zu vermeiden.

In der Planung ist auch noch Zeit für eine genaue Untersuchung der konstruktiven Lösungen. Eine einfache Baubarkeit, Wartungs- und Reparaturmöglichkeit sowie die Demontierbarkeit sind zu bevorzugen, da sie Maßnahmen in späteren Phasen erleichtern.

#### Nutzung

In der Nutzungsphase kann die Effizienz eines Gebäudes gut beobachtet werden. Vor allem was Arbeitsplätze anbelangt, können Situationen analysiert werden, die verbesserungswürdig sind und in zukünftigen Bauten umgesetzt werden können. So wird einerseits der wirkliche Bedarf an Fläche vermerkt, den eine Person zum Arbeiten benötigt, denn der wirtschaftliche Umgang mit Fläche ist wichtig. Der Arbeitsplatz sollte nicht zu klein, aber vor allem nicht zu groß konzipiert werden. Andererseits ist auch die zeitliche Nutzung in der Analyse inbegriffen. Steht ein Gebäude den halben Tag leer, weil der Nutzungstyp es so vorgibt? Oder kann durch flexible Gestaltung in der Planung schon auf diese Problematik reagiert werden? Ein Beispiel der Mehrfachnutzung können z.B. Schulen oder Kindergärten sein, die nachmittags oder abends für verschiedene Angebote verfügbar sind.

Ein unerlässlicher Beitrag für eine ideale, lange Nutzung ist das Einhalten der Wartungszyklen von Bauteilen, die einer regelmäßigen Kontrolle bedürfen. Durch das Übersehen oder die geringe Einstufung von kleineren Schäden kann es zu großen Folgeschäden kommen, die so frühzeitig vermieden werden können.

### Erneuerung/Instandsetzung

Die Erneuerungs- bzw. Instandsetzungsphase kann ein Teil der Nutzungsphase sein oder auch eine Phase zwischen zwei Nutzungsabschnitten. Unterschieden wird zwischen der Erhaltung des Gesamtgebäudes (z.B. durch Ertüchtigung von statischen Elementen wie Wänden, Decken, Trägern etc.) oder der Erhaltung einzelner Bauteile und Bauelemente (z.B. Erneuerung von Fenstern, Bodenbelägen, Anstrichen, technischen Anlagen etc.).

In dieser Phase wird sich meist entschieden, wie es mit dem Gebäude weitergeht. Dazu gibt es drei Strategien, die man verfolgen kann. Der Werterhalt eines Gebäudes zielt darauf ab, die Gebrauchstauglichkeit und das Niveau des ursprünglichen Komforts zu wahren. Die Wertsteigerung unternimmt umfassende Änderungen, um steigende Bedürfnisse und Anforderungen zu befriedigen. Beim Wertverlust hingegen wird nicht eingegriffen und man überlässt dem Gebäude sich selbst. Man hofft auf einen Abbruch und somit auf einen folgenden Neubau.

### Rückbau

Die Phase des Rückbaus erfolgt nach der Nutzungsphase. Rückbau bedeutet allerdings nicht gleich Abbruch. Ein Gebäude wird schrittweise rückgebaut, sodass eine Weiterverwendung auf Elementstufe (z.B. Fenster) oder Komponentenstufe (z.B. Dach-/Ziegel, Parkett) möglich bleibt. Nach dem erfolgreichen Rückbau wieder- bzw. weiterverwendbarer Elemente ist das Baustoffrecycling, und dabei die Minimierung des Downcyclings, ein wichtiger Teil. Können Stoffe nicht recycelt werden, finden sie in der thermischen Verwertung (Verbrennungsanlagen) einen Nutzen. Was schon in der Planung vermieden werden sollte, sind Stoffe, die nach dem Rückbau nur noch auf einer Deponie zu lagern sind.

### 3.3.3. Vergleich technische und wirtschaftliche Lebensdauer

Die Nachhaltigkeit eines Gebäudes lässt sich nicht an der Langlebigkeit desselben messen. Ebenso decken sich die technische Lebensdauer und die wirtschaftliche Lebensdauer eines Gebäudes nicht zwingend ab.

#### Technische Lebensdauer

Die technische Lebensdauer beschreibt die Dauerhaftigkeit eines Materials oder Bauteils. (siehe Tabelle 4) Ist es offenkundig defekt und muss ausgetauscht werden, ist die Lebensdauer erreicht. In einer lebenszyklusgerechten Planung wird auf die verschiedenen Lebensdauern von Bauteilen Rücksicht genommen, indem man wartungs- und instandsetzungsfreundliche Strukturen vorsieht.

Manchmal ist die Lebensdauer auch abhängig von neuen Nutzungsansprüchen, die zeitgemäße Farben, Muster und Materialien für Wand- und Bodenbeläge, und in selteneren Fällen Grundrisskonstellationen, fordern. Dabei werden Elemente vor dem Ablauf ihrer Lebensdauer entfernt, was allerdings vermieden werden sollte.

<b>Bauelement</b>	<b>Lebensdauer</b>
Fenster	20 bis über 100 Jahre je nach Materialart
Verputz	20 – 60 Jahre
Bodenbelag	10 bis über 100 Jahre je nach Belagsart (Teppich ~10J., Marmorfliesen ~100J.)
Heizungsanlage	Wärmeerzeugung ca. 15 Jahre Wärmeverteilung 40 – 80 Jahre

Tabelle 4: Mittlere Lebensdauer von Bauelementen (vgl. König et al., 2009, S.28)

#### Wirtschaftliche Lebensdauer

Die wirtschaftliche Lebensdauer beschreibt den Zeitraum einer gleichbleibenden Rendite, die sich z.B. in Mieteinnahmen abzeichnet. Sinkt diese, weil das Gebäude nicht voll vermietet ist oder sogar leer steht, ist die Lebensdauer erreicht. Um die wirtschaftliche Lebensdauer zu verlängern, ist es ratsam, verschiedene Nutzungskonzepte zu erarbeiten. So kann bei veränderten Anforderungen der Bedarf durch anpassungsfähige Grundrisse gedeckt werden.

Schon in der Planung sollte man sich Überlegungen dazu machen, wie man im späteren Verlauf des Lebenszyklus zwei grundlegende Entscheidungen ermöglicht. (siehe Abb. 67)

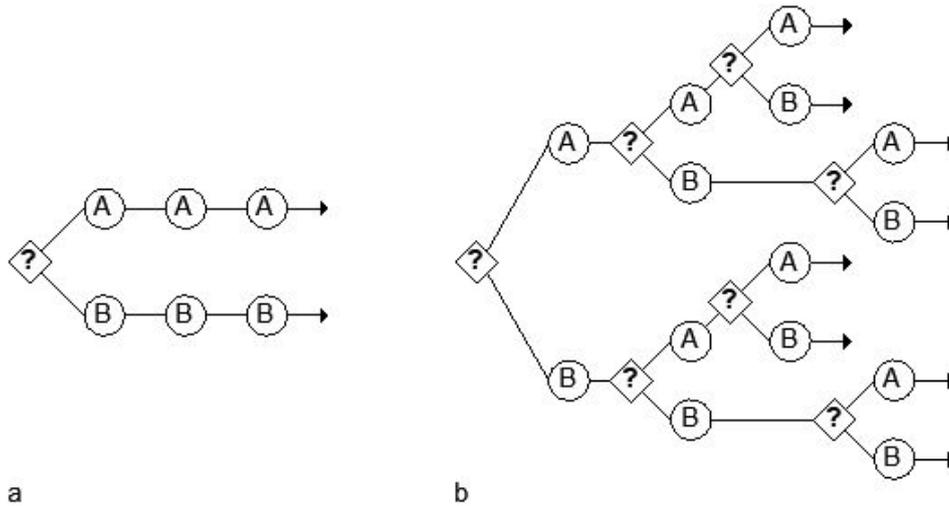


Abbildung 67: Entscheidungsmöglichkeiten im Verlauf des Lebenszyklus (vgl. König et al., 2009, S.16)

Plant man für Entscheidungsmöglichkeit „a“, nimmt man an, dass das Gebäude zukünftig die gleiche Nutzung hat. Bauteile und Elemente werden bei Bedarf saniert oder ausgetauscht (z.B. Austausch eines abgenutzten Bodenbelags, Austausch von Fenstern, Erneuerung der Dämmung etc.).

Plant man allerdings für Entscheidungsmöglichkeit „b“, wird das Gebäude so flexibel wie möglich geplant. In Zukunft soll dann durch leichte Veränderungen im Gebäude eine andere Nutzung ermöglicht werden (z.B. problemloses Verschieben von Wänden oder Fenstern, Vorkehrungen für eine mögliche Aufstockung oder einen Zubau treffen etc.).

Dass manche Gebäude vor ihrer angenommenen Lebensdauer wieder abgerissen werden müssen oder ältere Gebäude nicht noch länger überdauern können, kann viele Ursachen haben. Als Hauptursachen für eine eingeschränkte Lebensdauer, sowohl technische als auch wirtschaftliche Lebensdauer, kann man jedoch anführen: (1) Feuchtigkeit – aufsteigend aus dem Boden, ein undichtes Dach, undichte Wasserleitungen; (2) Setzungen oder außergewöhnliche Ereignisse wie Erdbeben; (3) Schädlingsbefall von Holzbauteilen; (4) vernachlässigte Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen.

### 3.3.4. Zusammensetzung der Lebenszykluskosten

Eine Lebenszykluskostenrechnung kann in verschiedenen Planungsphasen und auch Nutzungsphasen ermittelt werden. Es handelt sich um eine Beurteilung der Kosten und kann Optimierungsmöglichkeiten von Bauwerk und Haustechnik aufzeigen. In den ÖNormen B1801\_1 und B1801\_2 wird die Ermittlung der Errichtungs- und Folgekosten aufgeführt.

Zu Beginn einer Gebäudeplanung wird ein Budgetrahmen festgelegt, in dem sich die Baukosten bewegen sollen. Im Laufe der einzelnen Planungsabschnitte (Vorentwurf, Entwurf, Einreichung) gibt es dazu immer wieder Schätzungen und Näherungen, die sich mit dem Fortschritt der Planung genauer abzeichnen. Die Baukosten sind allerdings nur ein geringer Teil. Worauf oft vergessen wird, sind die Kosten, die im Laufe des gesamten Lebens eines Gebäudes entstehen. (siehe Abb. 68) Die Investitionskosten sind Erstkosten bzw. einmalige Ausgaben (ca. 20%), wohingegen die Nutzungs-, Instandhaltungs- und Abbruchkosten als laufende Folgekosten (ca. 80%) gelten. Vielmehr lassen sich die Kosten daher in einem Verhältnis von 1:4 darstellen.

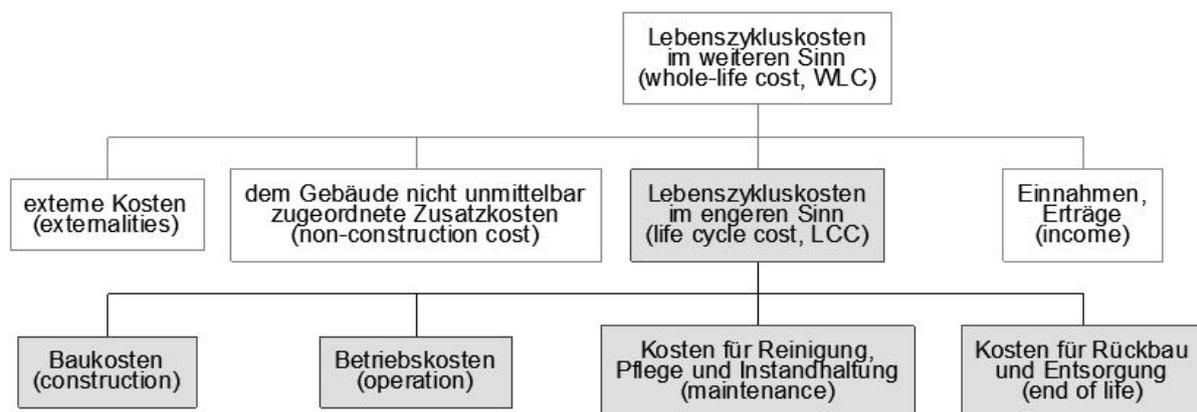


Abbildung 68: Diagramm der Kostenaufteilung eines Gebäudes (vgl. König et al., 2009, S.60)

Leider setzt sich die Bauherrnschaft selten mit den laufenden Kosten auseinander, weswegen auch kein nachhaltiger Ansatz verfolgt wird. Das Interesse von späteren Nutzern an Nachhaltigkeit und somit einer Kosteneinsparung im Betrieb, wird in den Planungsentscheidungen nicht berücksichtigt.

„Ein Kernproblem liegt im Verhältnis von Investitions- zu Betriebskosten bzw. in dem Umstand, dass Einsparungen nur aufgrund (zunächst) höherer Investitions- und Baukosten möglich sind. Das zu akzeptieren, fällt Bauträgern, Käufern und der öffentlichen Hand schwer.“ (Hegger et al., 2008, S.22)

Beim PPP-Modell (Private Public Partnership) können die zukünftigen Mieter in der Planung mitwirken. Das führt dazu, dass nicht nur die Investitionskosten, sondern eben die gesamten Lebenszykluskosten berücksichtigt werden und öfter ein nachhaltiger Bau entsteht.

Bei der Lebenszykluskostenrechnung gibt es zwei wichtige Aspekte, die berücksichtigt werden müssen. Der Betrachtungszeitraum ist dabei ausschlaggebend, denn die Kostenunterschiede eines angenommenen Lebenszyklus von 60 oder 100 Jahren sind nicht zu unterschätzen. Zusätzlich dazu muss die Inflation und der Wert von zukünftigen Zahlungen und Aufwendungen bedacht werden.

Als Anhaltspunkt folgt eine Auflistung der Punkte, aus denen sich eine Lebenszykluskostenrechnung zusammensetzt. (siehe Tabelle 5)

	<b>Kostenhauptgruppe</b>	<b>Inhalte</b>
<b>Errichtungskosten</b>	Aufschließung	Baustelleneinrichtung, Geländeoberfläche herrichten, Sicherung Bestand, Erschließung (Verkehrerschließung, Versorgungs-/ Entsorgungsleitungen), etc.
	Bauwerk – Rohbau	Erdarbeiten, Fundierung, Baukonstruktion (Wände, Decken, Dach, Treppen, Stützen), etc.
	Bauwerk – Technik	Aufzugsanlagen, Wärmeversorgungsanlagen, Klima-/Lüftungsanlagen, Sanitär-/Gasanlagen, Starkstromanlagen, Telekommunikationsanlagen, etc.
	Bauwerk – Ausbau	Dachbelag, Fassadenverkleidung, Fenster, Türen, Boden-/ Wand- / Deckenbeläge, etc.
	Einrichtung	betriebszugeordnete Anlagen (z.B. Küche, Wäscherei/Reinigung, Medizin, Labor, Medien usw.), Leitsysteme (z.B. Wegweiser usw.), etc.
	Außenanlagen	Begrünung, Pflanzen, Wasserflächen, Geh-/ Fahrwege, Stellplätze, etc.
	Planungsleistungen	Projektleitung, Bauleitung, Architekturplanung, Statik, Planung technische Gebäudeausrüstung, Gutachten, etc.
	Nebenleistungen	Vermessungsgebühren, Anschlussgebühren (für Abwasser, Wasser, Strom, usw.), Bodenproben, Modelle, etc.
	Reserven	Budget für Unvorhergesehenes, Qualitäts-/ Quantitätsanpassungen, etc.

<b>Folgekosten</b>	Verwaltung	Objekt-/ Liegenschaftsverwaltung, Gebühren, Steuern, etc.
	Technischer Gebäudebetrieb	Gebäudemanagement, Inspektionen, Wartung, Reparaturen, etc.
	Ver- und Entsorgung	Energie (Wärme, Kälte, Strom), Wasser, Abwasser, Müllentsorgung, etc.
	Reinigung und Pflege	Unterhaltsreinigung, Fassadenreinigung, Gärtnerdienst, Winterdienst, etc.
	Sicherheit	Sicherheitsdienste, Brandschutzdienste
	Gebäudedienste	Hauspost, Kommunikations- und Informationstechnik, Gastroservice, etc.
	Instandsetzung, Umbau	große Instandsetzung, Verbesserung und Umnutzung
	Sonstiges	sonstiges
	Objektbeseitigung, Abbruch	Planung und Organisation, Abbruch und Entsorgung, etc.

Tabelle 5: Auflistung der Kostengruppen für eine Lebenszykluskostenrechnung (vgl. ÖNORM B1801-1: 2009, S.15-22 und ÖNORM B1801-2: 2011, S.8-10)

Planungsentscheidungen sollten mit dem Hintergrundwissen der ökologischen und auch ökonomischen Auswirkungen getroffen werden und nicht aufgrund der günstigsten Investitionskosten.

Ein wichtiger Entscheidungsfaktor für den Einbau einer nachhaltigen Alternative kann daher die Amortisationsdauer sein. „Die Amortisationsdauer ist dabei der Zeitraum bis zu dem Punkt, an dem die Anschaffungs- bzw. Herstellungskosten durch Einnahmen oder Einsparungen (Kapitalrückfluss) wieder erwirtschaftet wurden.“ (König et al., 2009, S.72) Es gibt auch eine energetische bzw. ökologische Amortisationsdauer. Diese beschreibt den Zeitraum, ab wann die Umweltbelastung im Lebenszyklus eines Produktes durch die erwartete Energieeinsparung oder Umweltentlastung ausgeglichen wird. Als Beispiel kann eine Anlage für solare Stromerzeugung betrachtet werden. Bei der Herstellung der Solarpaneele wird so viel Energie verbraucht und dabei die Umwelt belastet, dass es bis zu vier Jahre dauern kann, diesen „Schaden“ mit der gewonnenen, erneuerbaren und sauberen Energie auszugleichen. Da die Lebensdauer dieser Anlagen bei ungefähr 20 Jahren liegt, erzeugt man somit 16 Jahre lang umweltbelastungsfreie Energie.

## 4. Leitfaden für Planer

In einer Zeit, in der es darum geht, besonders kostengünstig und schnell zu bauen, wird die Nachhaltigkeit eher aus den Augen verloren. Ein Gebäude soll relativ schnell in Betrieb genommen werden können, um so profitabel wie möglich zu sein. Daher wird oftmals auf eine gewisse Standardbauweise zurückgegriffen. Dieser Standard hat sich durch vielerlei Anwendung etabliert. Wer davon abweicht, muss mit Mehrkosten oder Zeitverzögerung rechnen. Diese Abweichungen könnten z.B. ein anderes Baumaterial oder eine andere Konstruktionstechnik sein.

Steckt man aber mehr Zeit in die Planung, kann man möglicherweise Kosten im Lebenszyklus eines Gebäudes einsparen. Durch genaue Detaillierung von möglichen Problemstellen kann man im Bauprozess Schwierigkeiten besser vorhersehen oder sogar eliminieren. Auf den ersten Blick sind ausgefalleneren Lösungen in der Anschaffung etwas kostspieliger als die üblichen Methoden. Doch in Hinsicht auf die Zukunft des Gebäudes und die entstehenden Erhaltungskosten kann die teurere Variante nicht nur nachhaltig und energieeffizient sein, sondern auch finanziell wirtschaftlich.

Ein weiterer Punkt ist das ständige Streben nach neuem Baugrund, um ein Gebäude nach dem Schema F bauen zu können. Ist es bautechnisch vertretbar und lässt die wirtschaftliche Lage es zu, sollte man die Stadterneuerung der Stadterweiterung vorziehen. Damit ist gemeint, dass bereits bestehende Bauten saniert und aufgewertet werden anstatt halbwegs nachhaltige Gebäude am Stadtrand neu zu bauen.

### 4.1. Grundlagen

#### 4.1.1. Planung

Nachhaltiges Bauen beginnt schon mit der Planung. Wie bereits erörtert, kann man schon bei der Bebauungsplanung einen Grundstein für ein nachhaltiges Projekt legen. Am wichtigsten dabei ist die Orientierung des zukünftigen Gebäudes. Durch eine geschickte Einteilung des Baugrundes und der Festlegung der Gebäudeumrisse kann bestimmt werden, welche Solarstrategie verfolgt werden soll. Am Stadtrand oder auf dem freien Feld sollten daher die Gebäude nach Süden orientiert werden und möglichst unbeschattet bleiben, um gewinnmaximierende Solarerträge zu gewährleisten. Im dicht bebauten, urbanen Raum ergeben sich aufgrund von freien Baulücken meist keine anderen Möglichkeiten. Hier sind großvolumige, kompakte Gebäude mit primärer Sonneneinstrahlung durch glasüberdeckte Bereiche (Atrien) besser, da sie verlustminimierend wirken.

Zu Beginn eines jeden Projektes sollte ein Terminplan erstellt werden. Es ist wichtig, genügend Zeit für die Planung eines Gebäudes einzuräumen. Dies beginnt schon in der Vorentwurfsphase, wo man sich am besten mit den Standortfaktoren des Baugrundes auseinandersetzt. Die Geländebeschaffenheit und das Klima können Auswirkungen auf den späteren Entwurf haben. Ist das Baugelände flach oder gibt es einen Hang? Wie steht es um die solare Einstrahlung, die Windverhältnisse und Niederschläge? Diese Faktoren können Auswirkungen auf die Form, die Konstruktion, das Material, den Sonnenschutz usw. haben. Gerade wenn man noch mit etwas neueren Materialien oder Methoden plant, ist es von Vorteil, Simulationen zu generieren. Einfache Beschattungsstudien der Nachbargebäude und Sonnenstanddiagramme können den Planungsprozess unterstützen.

Weiters sollte viel Zeit für die Einreichungs- und die Ausführungsplanung eingeplant werden. In diesen Phasen wird das Projekt ausgeformt. Es ist wichtig, hier besonders sorgfältig und genau zu arbeiten, um später in der Ausführungsphase so wenige Zwischenfälle wie möglich zu haben. Denn jede zusätzliche Umpassung oder Anpassung wird kostspieliger, je später in der Planungsphase man sich dafür entscheidet.

Zur Verbesserung der klimatischen Bedingungen ist eine gute Planung der Außenanlagen von Vorteil. Es sollten so wenig Flächen wie möglich dabei versiegelt werden. Bei großen Frei- bzw. Grünflächen auf dem Baugrund bieten sich Vegetationsflächen in Form von Bäumen und Sträuchern und Wasserflächen in Form von Teichen und Wasserbecken an. Auch die Begrünung der Fassaden kann einen Beitrag dazu leisten.

Durch die Verdunstung des Blattwerks der Bäume an warmen Tagen wird Feuchtigkeit an die Luft abgegeben und kann so die unmittelbare Umgebung abkühlen. (vgl. [www.botanikguide.de](http://www.botanikguide.de), 2018, o.S.) Je mehr Bäume man pflanzt, desto größer die Kühlwirkung. Aber nicht nur Luftkühlung und -befeuchtung werden durch die Bepflanzung erreicht, sondern auch eine Verbesserung der Luftqualität, eine Verringerung des Lärmpegels und eine Sauerstoffanreicherung der Luft. Zu unterschätzen ist auch nicht die Wirkung der Bäume als Schattenspender. Gerade in stark versiegelten Bereichen von Städten, wo es oft zu Hitzeinseln kommt, sind Bäume willkommene Abwechslungen, um eine Straße oder einen Parkplatz zu bereichern.

Auch Gewässer ab einem Meter Tiefe haben einen positiven Effekt auf das Umgebungsklima. Der auftretende Kühlungseffekt der Verdunstungskälte entsteht durch die über die Wasseroberfläche strömende Luft. Im Sommer kann so die Belüftung der nahegelegenen Gebäude unterstützt werden. Im Winter reflektiert die Wasseroberfläche die Sonneneinstrahlung und kann so den solaren Ertrag erhöhen. (vgl. Treberspurg, 1999, S.52)

## 4.1.2. Ausführung

### Material und Lieferung:

Die Auswahl der Konstruktion und der zu verwendenden Materialien wird bereits in der Planung getroffen. Die Qualität der jeweiligen Bestandteile sollte allerdings im Vordergrund stehen. Oftmals werden Baustoffe verbaut, weil sie günstiger als andere, ähnliche Produkte sind. Dass die günstigen Produkte allerdings eine schlechtere Abfallbilanz haben, wird dabei leider übersehen. Nachhaltigkeit wirft eben auch einen Blick auf die vorhandenen Ressourcen und ihre Verwendung. Bauabfälle und Abrisschrott machen einen großen Teil des gesamten Abfalls aus. Der Fokus sollte sich auf Produkte legen, die schonend mit den Ressourcen umgehen und vor allem recyclefähig sind. Diese sind in ihrer Anschaffung meist teurer, sind aber in ihrer Performance und ihrer Verwertung nach Abbruch besser.

Wenn die Größe des Projektes es zulässt, sind kleinere, lokale Unternehmen den Großen vorzuziehen. Man unterstützt so nicht nur die lokale Wirtschaft, sondern hat auch mehr Einfluss auf das Baugeschehen. Durch die Wahl von lokalen Unternehmen kann man auch kurze und schnelle Lieferwege sicherstellen. Dadurch schont man die Umwelt und auch die finanziellen Mittel.

### Solartechnische Anlagen:

Bei der Auswahl von solartechnischen Anlagen wie thermischen Sonnenkollektoren oder Photovoltaik-Anlagen kommt es darauf an, welche Art der Energie man daraus gewinnen will.

Bei den Kollektoren wird die Solarstrahlung absorbiert und in Wärme umgewandelt. Das gebräuchlichste Wärmeträgermedium ist Wasser. Verwendung finden die Kollektoren bei der Aufwärmung des Brauchwassers sowie als Unterstützung der Raumheizung. Da die meisten Gewinne allerdings im Sommer entstehen und die Heizkraft nicht gebraucht wird, ist die Speicherung der Energie schwierig. Beim Verbau von Sonnenkollektoren ist besonders auf die Anbringung zu achten. Schon kleine Abweichungen vom optimalen Standort und Anbringungswinkel können massive Einbußen im solaren Gewinn bedeuten. Wie den nachfolgenden Tabellen 6 und 7 zu entnehmen ist, gibt es Unterschiede zwischen den Erträgen von Sommer und Winter, was den verschiedenen Einfallswinkeln der Sonnenstrahlen geschuldet ist. Am besten sind daher Systeme, die sich nach Uhrzeit und Jahreszeit dem Sonneneinfall anpassen. Da aber viel Platz notwendig ist für die jeweilige Drehbewegung, eignen sich nicht begehbare Flächen und Flachdächer gut.

Bei den Photovoltaik-Anlagen hingegen wird die Solarstrahlung direkt in Elektrizität umgewandelt. Die Solarzellen sind an das öffentliche Stromnetz angeschlossen, was gleichzeitig als Speicher dient. An sehr sonnigen Tagen fließt der erzeugte Stromüberschuss ins öffentliche Netz; an eher trüben Tagen, wo kaum Strom erzeugt wird, kann man den Überschuss wieder aus dem öffentlichen Netz ziehen und

verwenden. Photovoltaik-Anlagen sind unabhängiger vom Einfallswinkel der Sonnenstrahlung. Die besten Ergebnisse werden bei nach Süden ausgerichteten, starren Systemen erzielt. (siehe Tabelle 8) Dabei sollten aber Verschattungen jeglicher Art vermieden werden. Da die Solarzellen in Reihe geschaltet sind und auf die kleinste Leistung im System reduziert werden, können kleine verschattete Flächen das gesamte System außer Kraft setzen. Ein großer Unterschied und Vorteil zu den Kollektoren ist jedoch, dass die Solarzellen auch bei diffuser Sonnenstrahlung an bewölkten Tagen funktionieren und Strom erzeugen können.

Flächenneigung	0°	20°	40°	60°	90°
Ausrichtung					
Ost	>95%	93%	86%	72%	46%
Südost	>95%	>95%	93%	81%	50%
Süd	>95%	<b>100%</b>	95%	82%	49%
Südwest	>95%	>95%	93%	81%	50%
West	>95%	93%	86%	72%	46%

Tabelle 6: Energieertrag von thermischen Kollektoren von April bis September in Prozent bei verschiedenen Neigungen (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016, S.298)

Flächenneigung	0°	20°	40°	60°	90°
Ausrichtung					
Ost	58%	57%	53%	45%	32%
Südost	58%	75%	83%	83%	69%
Süd	58%	82%	96%	<b>100%</b>	88%
Südwest	58%	75%	83%	83%	69%
West	58%	57%	53%	45%	32%

Tabelle 7: Energieertrag von thermischen Kollektoren von Oktober bis März in Prozent bei verschiedenen Neigungen (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016, S.298)

Flächenneigung	0°	30°	60°	90°
Ausrichtung				
Ost	93%	90%	78%	<60%
Südost	93%	96%	88%	66%
Süd	93%	<b>100%</b>	91%	68%
Südwest	93%	96%	88%	66%
West	93%	90%	78%	<60%

Tabelle 8: Energieertrag von Photovoltaik-Anlagen in Prozent bei verschiedenen Neigungen (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016, S.301)

### Außenanlagen:

Bei der Umsetzung der geplanten Außenanlagen ist darauf zu achten, Abdichtungs- und Wurzelschutzfolien fehlerfrei zu verbauen. Schon kleinste Löcher können sonst zu Schäden führen. Bei der Auswahl der Pflanzen sollte ein Gärtner konsultiert werden, um für den jeweiligen Standort die optimale Pflanze auszuwählen. Vor allem bei unterkellerten Grünflächen sind flach wurzelnde Pflanzen zu bevorzugen, da andere eventuell nicht gut oder gar nicht wachsen. Zu berücksichtigen ist auch die Bewässerung der Bepflanzung, sodass es zu keinen Schäden am Gebäude kommen kann.

Teil der Außenanlagen sind auch Gehwege und Pfade, die um oder durch das Grundstück verlaufen. Dabei sollten versickerungsfähige Oberflächenbefestigungen wie Rasengittersteine oder wasserdurchlässiger Drain-Beton verwendet werden. So können Oberflächenwässer abfließen und versickern, ohne das Kanalsystem zu belasten.

Da der Baugrund zu großen Teilen vom Gebäude ausgefüllt ist und wenig Platz für eine Grünfläche übrig bleibt, sollte das Dach oder die Fassade begrünt werden. Der Verbau von Gründächern ist bereits Gang und Gebe, auch wenn es sich meist nur um extensiv begrünte Dächer handelt. Die Fassadenbegrünung wird dagegen noch skeptisch und vorsichtig eingesetzt. Neben den positiven Effekten einer Bepflanzung auf das Umgebungsklima kann eine flächendeckende Begrünung der Fassade auch durchaus einen bauphysikalischen Mehrwert haben. Bei dichtem Blattwerk kann es zu einer dämmenden Wirkung kommen. Im Winter bilden sich kleine Luftpölster, die eine Auskühlung der Wand abschwächen. Nach demselben Prinzip schwächen die Luftpölster im Sommer eine Aufheizung der Wand ab.

## Bodengebundene Begrünung

Flächenförmiger Direktbewuchs wie Efeu wird in den Boden eingepflanzt und wächst ohne Kletterhilfe an der Fassade entlang. (siehe Abb. 69) Eine Flächenwirkung kann man erst nach 5-20 Jahren wahrnehmen. Zusätzlich zum langen Wachstum ist man gestalterisch eher eingeschränkt. Geeignet ist diese Art der Fassadenbegrünung nur für massive Wandaufbauten, da sonst die Gefahr besteht, dass die Bepflanzung durch offene Fugen in die Konstruktion eindringt. Diese Art der Begrünung hat einen geringen Investitionsaufwand und es besteht die Möglichkeit eines Einsparungspotenzials bei der Fassadengestaltung, da man mit dem kompletten Bewuchs der Fassade rechnet. Der Pflegeaufwand liegt anfangs eher im mittleren Bereich, nimmt mit den Jahren allerdings zu.

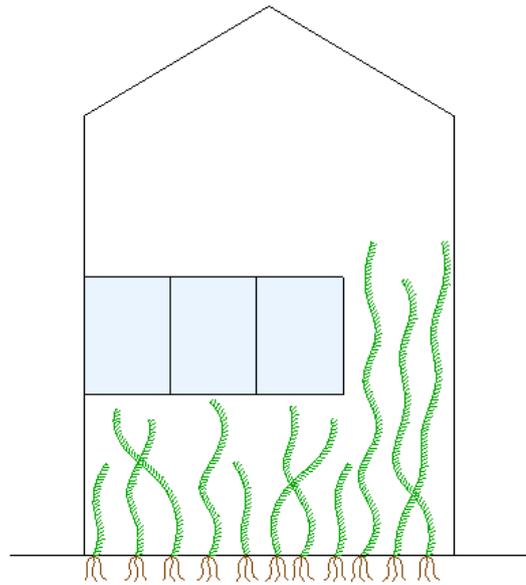


Abbildung 69: Fassade mit flächenförmigem Direktbewuchs

Leitbarer Bewuchs wie Blauregen oder Echter Wein wird ebenfalls direkt in den Boden eingepflanzt. Diese Pflanzen benötigen allerdings eine Kletterhilfe, die aus Seilen, Netzen oder Gittern bestehen kann. (siehe Abb. 70) Auch hier dauert es zwischen 3 und 12 Jahren, bis eine nennenswerte Flächenwirkung vorhanden ist. Durch die Anbringung der Kletterhilfen hat man bis zu einem bestimmten Grad Einfluss auf die gestalterische Wirkung. Nachdem diese Bepflanzung ein Gerüst zum Wachsen benötigt, eignen sich auch Wandkonstruktionen aus Holz und Metall, solange sie vollflächig verkleidet sind, da sonst die Unterkonstruktion dazu dient. Durch die zusätzliche Anbringung der erforderlichen Kletterhilfen ist der Investitionsaufwand gering bis hoch, je nachdem wie viel Zeit man

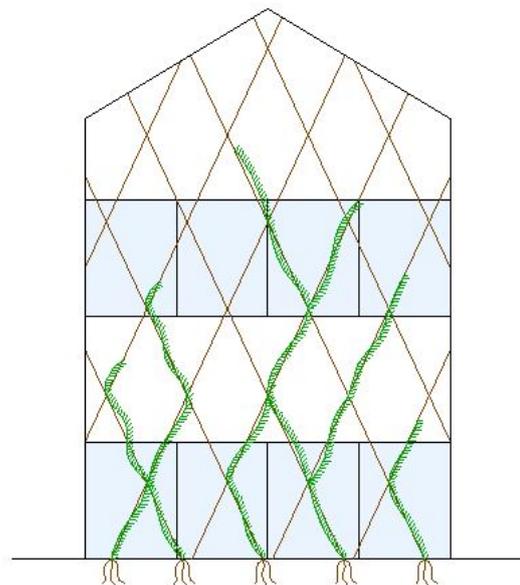


Abbildung 70: Fassade mit leitbarem Bewuchs

in die Planung des Gerüsts steckt. Wie zuvor liegt auch hier der Pflegeaufwand im mittleren Bereich, der mit den Jahren zunimmt. Der Aufwand an Wartung und Instandhaltung, die sich durch die Unterkonstruktion ergeben, ist ebenfalls gering.

## Fassadengebundene Begrünung

Bei den modularen Systemen zur Fassadenbegrünung werden substratgefüllte Elementeinheiten aus Körben, Matten oder Kassetten mit Gräsern, Farnen oder Moosen bepflanzt. Es gibt auch direkt begrünte Kunst- und Natursteinplatten, die durch ihre raue Oberfläche besonders begrünungsfördernd wirken. (siehe Abb. 71) Durch die vorzeitige Bepflanzung der Fassadenelemente kommt es zu einer sofortigen Flächenwirkung, auf die man großen Einfluss hat. Durch verschiedene Pflanzen und variierende Elementgrößen kann man der Fassade ein besonderes Aussehen verleihen. Da die Pflanzen allerdings nicht im Boden verwurzelt sind, ist eine stetige Wasser- und Nährstoffversorgung erforderlich. Dabei ist auf den Korrosionsschutz oder die Verwendung nicht rostender Materialien zu achten. Durch das zusätzliche Gewicht der substratenthaltenden Elemente sind statische Vorkehrungen zu treffen. Da die Elemente direkt an der Fassade befestigt werden, ist ein zusätzlicher Schutz gegen Feuchtigkeit und Durchwurzelung vorzusehen. Als Untergrund sind massive Wände, aber auch Holz- und Metallkonstruktionen geeignet. Der Investitionsaufwand ist eher hoch, da zusätzliche Vorkehrungen wegen der Bepflanzung getroffen werden müssen. Durch die genaue Planung der Pflanzmodule erspart man sich aber eine anderweitige Gestaltung der Fassaden. Diese Art der Fassadenbegrünung erfordert einen mittleren bis hohen Pflegeaufwand, der je nach Bepflanzung variiert. Der Wartungs- und Instandhaltungsaufwand ist auch eher hoch, da durch das ständige Wasseraufkommen in den Pflanzelementen ein höheres Risiko für die Konstruktion besteht.

Bei den flächigen Begrünungskonstruktionen ist es ähnlich. Hier wachsen die Pflanzen aber nicht in Modulelementen, sondern auf Textilsystemen, Textil-Substrat-Systemen, Metallblechsystemen mit Öffnungen und Substratträger dahinter oder auf nährstofftragenden Wandsystemen. Auch hier stellt sich eine sofortige Flächenwirkung ein mit einem relativ großen Spielraum für die Gestaltung. (siehe Abb. 72) Dieses Begrünungssystem erfordert ebenfalls eine

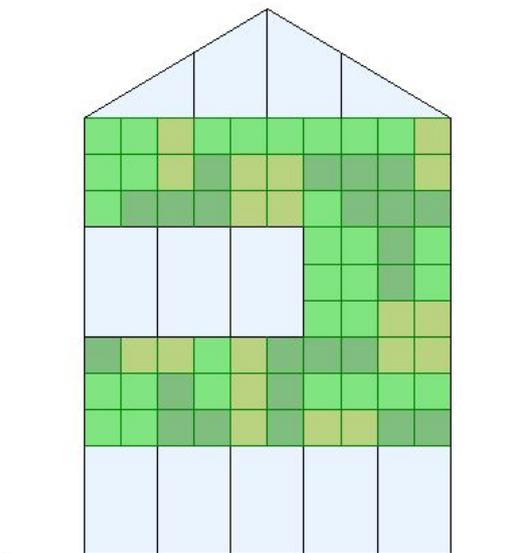


Abbildung 71: Fassade mit modularem Begrünungssystem

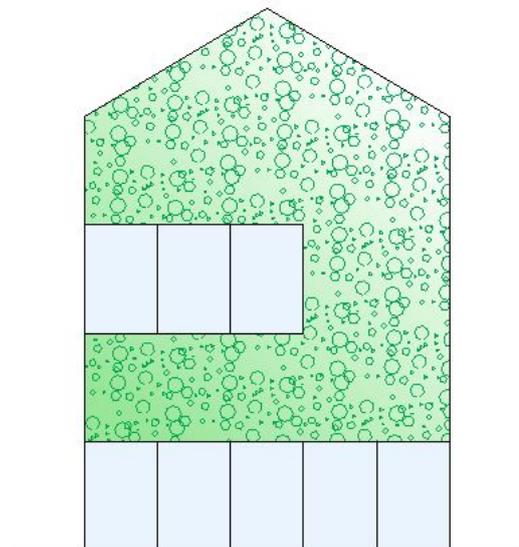


Abbildung 72: Fassade mit einer flächigen Konstruktion zur Begrünung

Bewässerungs- und Nährstoffversorgungsanlage. Statische Zusatzmaßnahmen und Korrosionsschutz sind einzuplanen sowie zusätzlicher Schutz gegen Feuchtigkeit und Durchwurzelung. Wie bei den modularen Systemen eignet sich die flächige Konstruktion für massive Wände sowie auch für Holz- und Metalleichtbau mit vollflächigen Bekleidungen. Auch der Investitionsaufwand ist ähnlich hoch, wobei man sich die Fassadengestaltung spart. Die Pflege der Pflanzen ist mittelhoch, je nach Wahl der Bepflanzung. Die Wartung und Instandhaltung des Systems jedoch sind eher hoch.

Nur indirekt fassadengebunden ist das System mit Pflanzgefäßen an der Tragkonstruktion. Zur Bepflanzung können alle Pflanzen genommen werden, die in einem Topf oder Trog mit wenig Pflegeaufwand überleben können. Durch die Pflanzgefäße hat man einen großen Gestaltungsspielraum, da man mit der Größe und Anzahl der Tröge und der Bepflanzung variieren kann. (siehe Abb. 73) Da größere Pflanztröge ein größeres Gewicht an Substrat mitbringen, ist für die statische Sicherheit zu sorgen. Auch die Tröge selbst sollten stabil und korrosionsresistent sein. Durch die Unabhängigkeit der Pflanztröge zur restlichen Konstruktion eignen sich sehr viele Wandaufbauten. Eine allgemeine

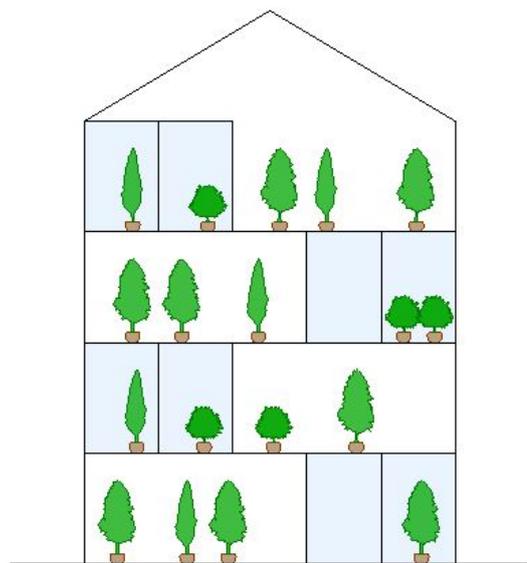


Abbildung 73: Fassade mit Pflanzgefäßen

Fassadengestaltung ist trotz Pflanzen notwendig. Da aber nicht soviel Bepflanzung wie bei den vorherigen Systemen zur Verwendung kommt, ist der Investitionsaufwand eher mittelmäßig. Um ein stetig ansprechendes Bild zu haben, ist eine dauerhafte Pflege der Pflanztröge nicht auszuschließen. Der Wartungs- und Instandhaltungsaufwand verringert sich jedoch gegenüber zu den anderen Begrünungssystemen.

### 4.1.3. Nutzung

Auf die Nutzung eines Gebäudes haben die Planer nahezu keinen Einfluss. Die Möblierung der Räume mag in einigen Fällen nur als Vorschlag dienen. Aber gerade bei gut durchdachten Klimatisierungssystemen mit gut kaschierten Lüftungsauslässen ist die richtige Platzierung der Möbel für eine problemlose Wirkung ausschlaggebend. Werden Schränke und Regale ungünstig vor den Auslässen positioniert, bringt die beste Haustechnik nichts.

Wird eine besondere haustechnische Ausstattung eingebaut, die unter anderem Beleuchtung, Sonnenschutz und Klimatisierung übernimmt, sollte man den jeweiligen Nutzern die Funktionen erklären, sodass das Gebäude effizient betrieben und genutzt werden kann. Denn oft führt ein falsches Verhalten der Nutzer, wie das zu lange Öffnen eines Fensters im Winter, zu negativen Ergebnissen. Auch an sonnigen Tagen wird der

Sonnenschutz gern komplett geschlossen, da die Sonne einerseits blendet und andererseits zu zusätzlicher Wärmeentwicklung beiträgt. Durch eine automatisch einstellbare und geschickte Änderung der Lamellen eines Sonnenschutzes kann der allerdings als Blendschutz und als Lichtlenker gleichermaßen verwendet werden. So kann man sich eine andernfalls benötigte Ergänzungsbeleuchtung sparen.

Eine vorausschauende Planung beschäftigt sich auch mit der Option einer Nutzungsänderung. Durch einen anpassungsfähigen und aus Leichtbau bestehenden Innenausbau können eine Flexibilität der Räume und eine Variabilität in der Nutzung gewährt werden. Eine Grundriss unabhängige Fassade erleichtert dies zusätzlich. Die Installationsführung sollte, wenn möglich, allgemein und nicht raumspezifisch verlegt werden, um mehrere Möglichkeiten einer späteren Anpassung zu gestatten.

Das Schreiben einer Baubeschreibung für die Einreichung ist nichts Neues. Eine Beschreibung der Bauweise und der verwendeten Technik usw. stellen eine kompakte Zusammenfassung eines Gebäudes dar. Für das Ende der Nutzung sollte es nach der Bauabnahme eine „Rückbaubeschreibung“ geben, die als Unterstützung beim Rückbau bzw. Abbruch dienen soll. So können Bauteile schneller identifiziert und eventuell leichter entfernt werden. Auch der Recyclingprozess kann somit vereinfacht werden, wenn bereits eine Auflistung der tatsächlich verwendeten Produkte und Elemente vorhanden sind.

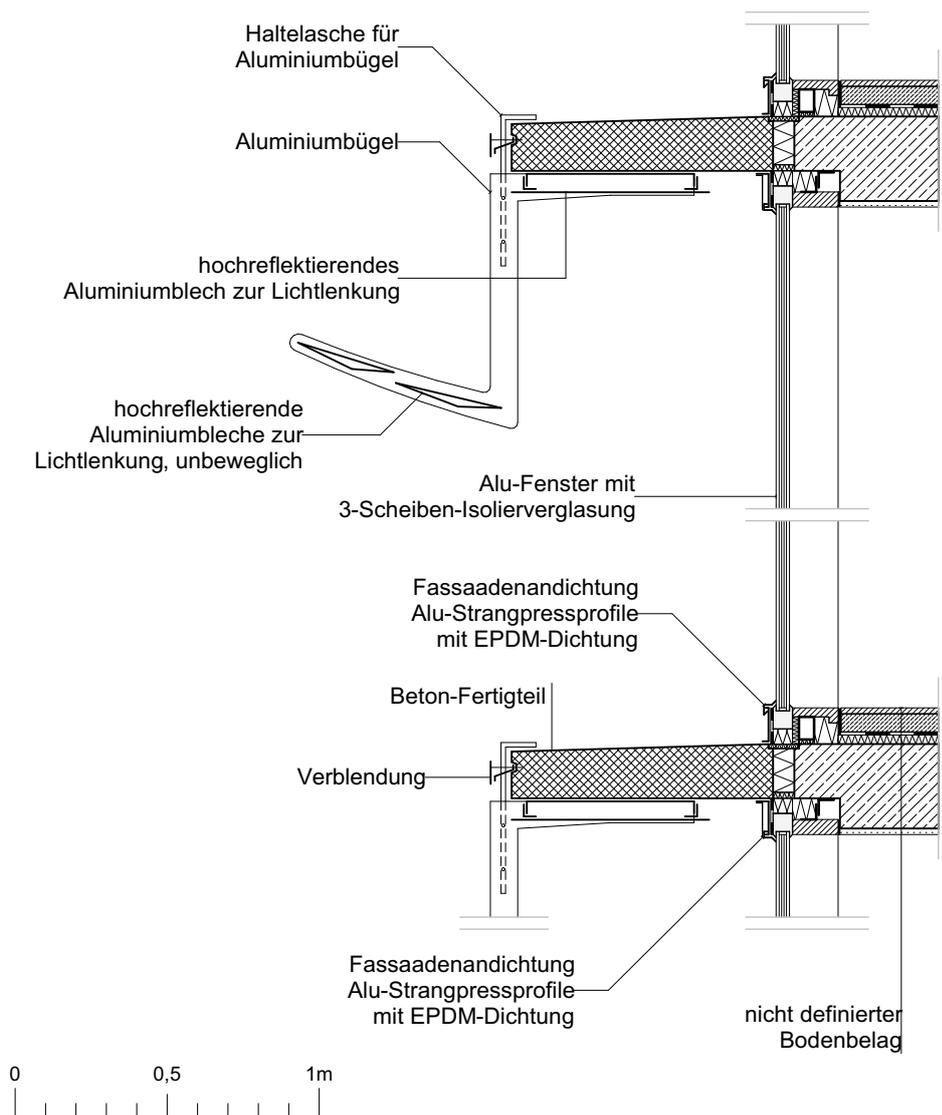
## 4.2. Details

Die nachfolgenden Details wurden aus verschiedenen Publikationen von gebauten Beispielen inspiriert und werden maßstabslos und leicht abstrahiert dargestellt. Es werden keine Angaben zu Bauteilstärken gegeben, da diese statisch und bauphysikalisch individuell berechnet werden müssen. Sie sollen eine generelle Funktionsweise zeigen bzw. leicht auf ein anderes Projekt anpassbar sein.

### 4.2.1. Gebäudehülle - Sonnenschutz

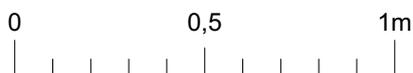
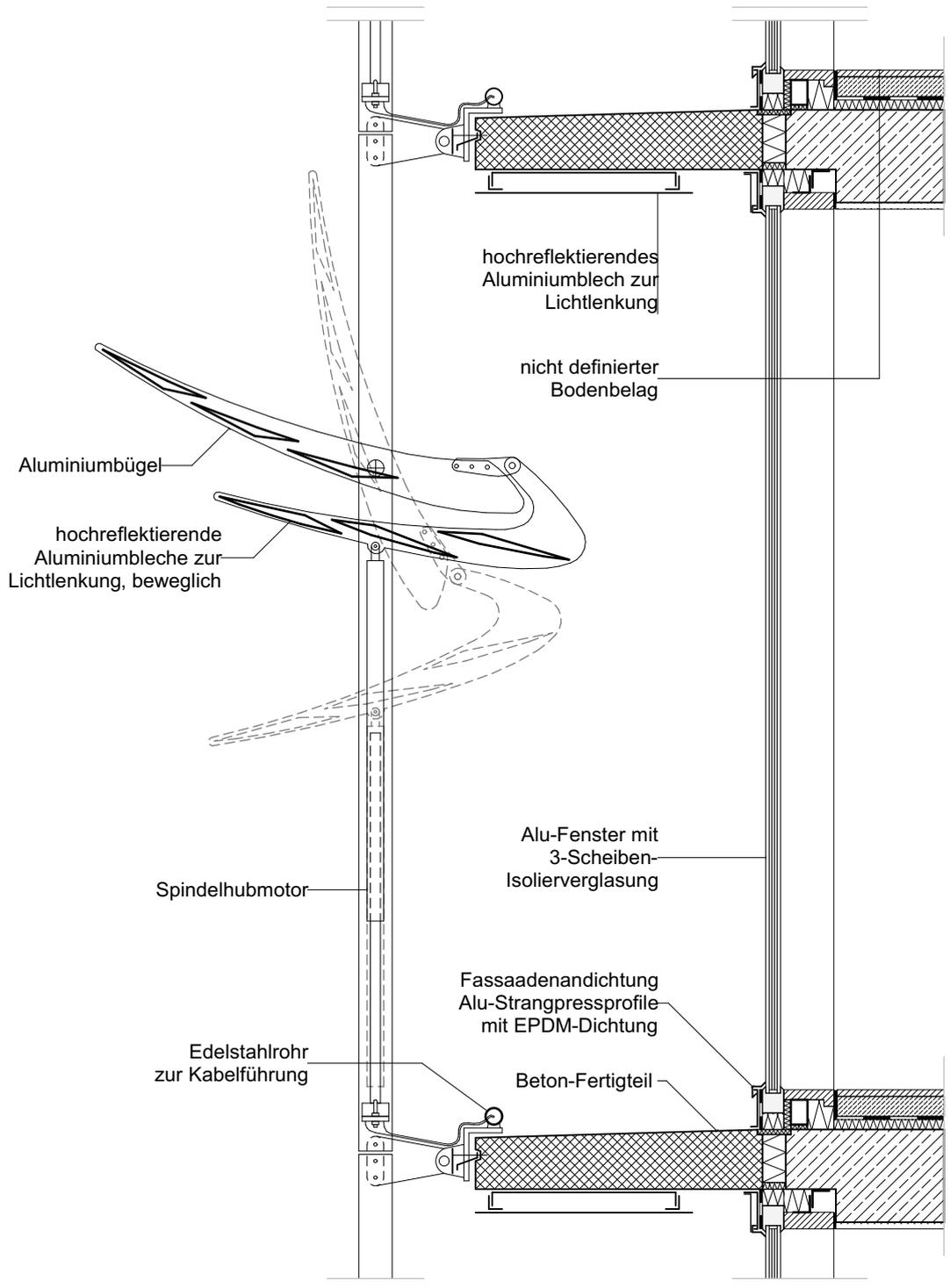
Wie bereits im Kapitel 2.1.3. beschrieben, gibt es Bauelemente, die zur Lichtlenkung eingesetzt werden können. Vor allem auf Nord-seitigen Fassaden kann so mit Hilfe von Reflektoren auch diffuse Strahlung zur Belichtung beitragen. (siehe Detail 1)

Detail 1: Unbewegliche Blenden auf der Nord-seitigen Fassade mit lichtlenkenden Elementen  
(vgl. Schittich, 2006, S.165 - Verwaltungsgebäude in Wiesbaden von Herzog + Partner)



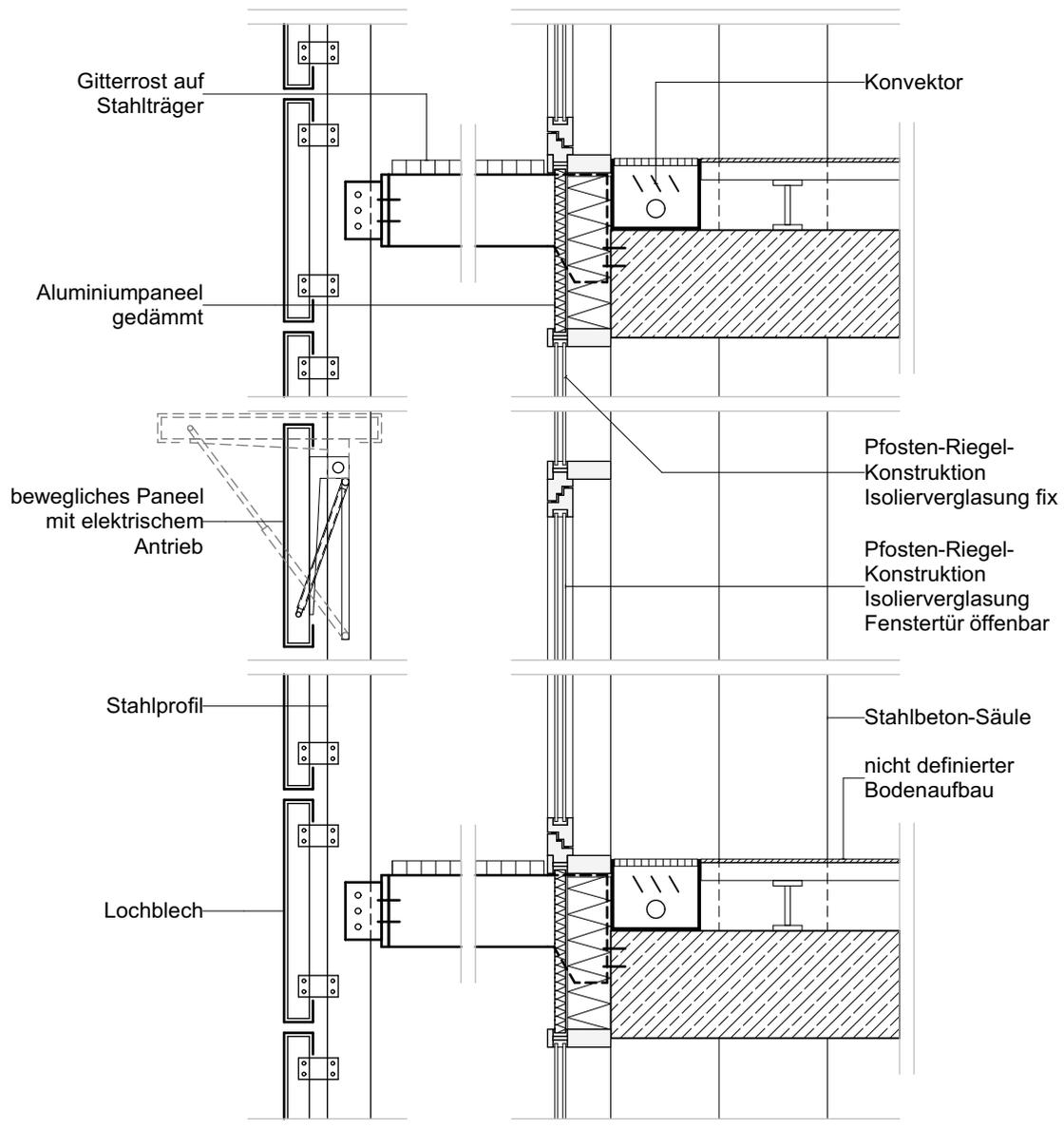
Auf der Süd-seitigen Fassaden desselben Gebäudes wurden bewegliche Elemente verbaut, um je nach Stärke der Sonnenstrahlung als Sonnenschutz oder auch zur Lichtlenkung zu dienen. (siehe Detail 2)

Detail 2: Bewegliche Blenden als Sonnenschutz und zur Lichtlenkung  
(vgl. Schittich, 2006, S.166 - Verwaltungsgebäude in Wiesbaden von Herzog + Partner)



In Gebieten mit starkem Windaufkommen ist es ratsam, einen stabilen Sonnenschutz zu installieren. Das Detail 3 zeigt eine Kombination aus Sonnen- und Windschutz. Die perforierten Metall-Paneele lassen zwar nur bedingt Sonnenstrahlung durch, können aber durch einen motorischen Antrieb geöffnet werden. Zusätzlich schirmen die Paneele das Gebäude vor starken Windböen ab und ermöglichen eine manuelle Fensterlüftung.

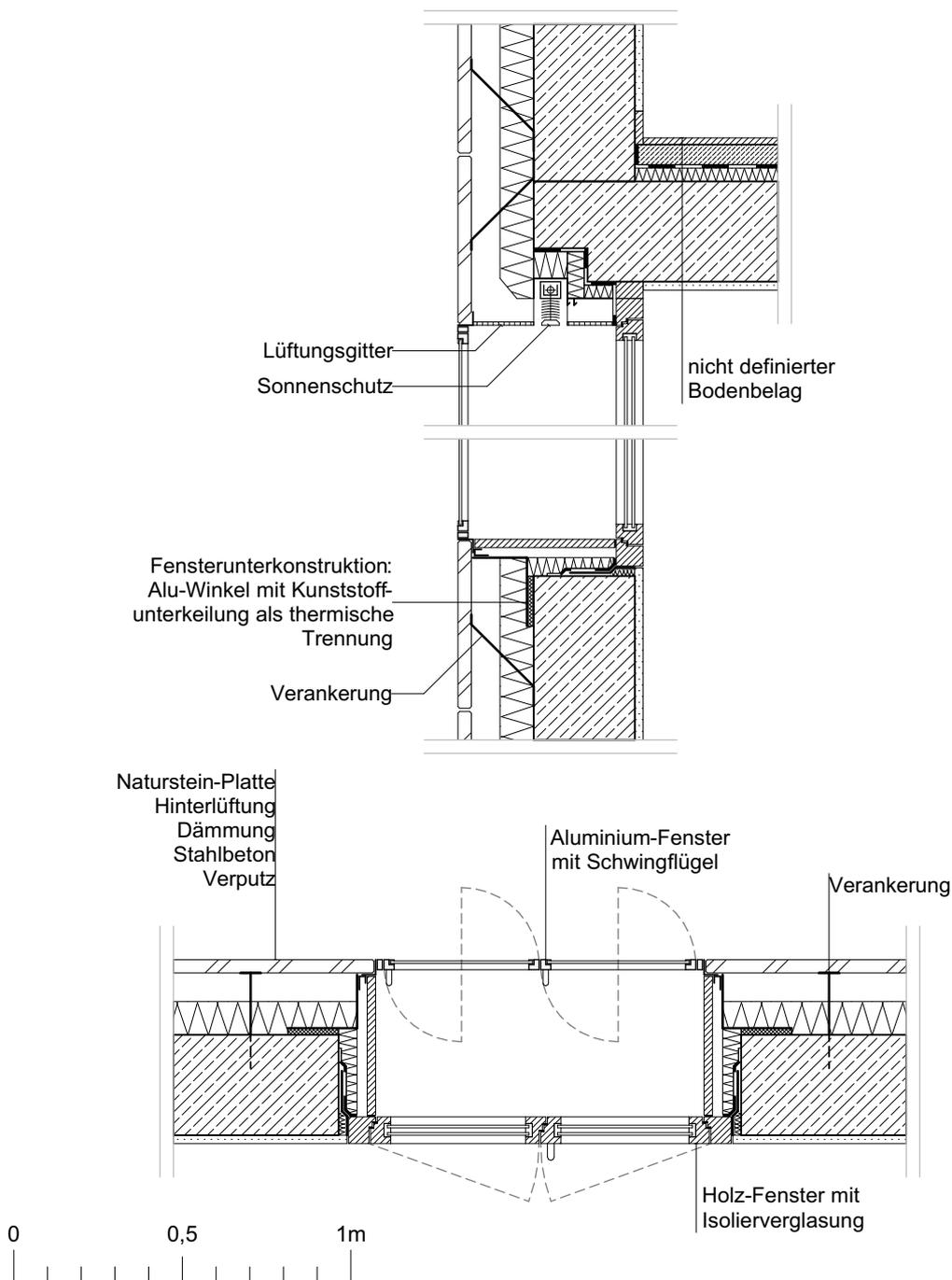
Detail 3: Vorgehängte, perforierte Metall-Paneele als Sonnen- und Windschutz mit begehbarem Steg für Wartungsarbeiten bzw. als Balkon (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016, S.287 - Verwaltungsgebäude von Baader + Schmid mit Maurice Mayne)



## 4.2.2. Gebäudehülle - Lüftung

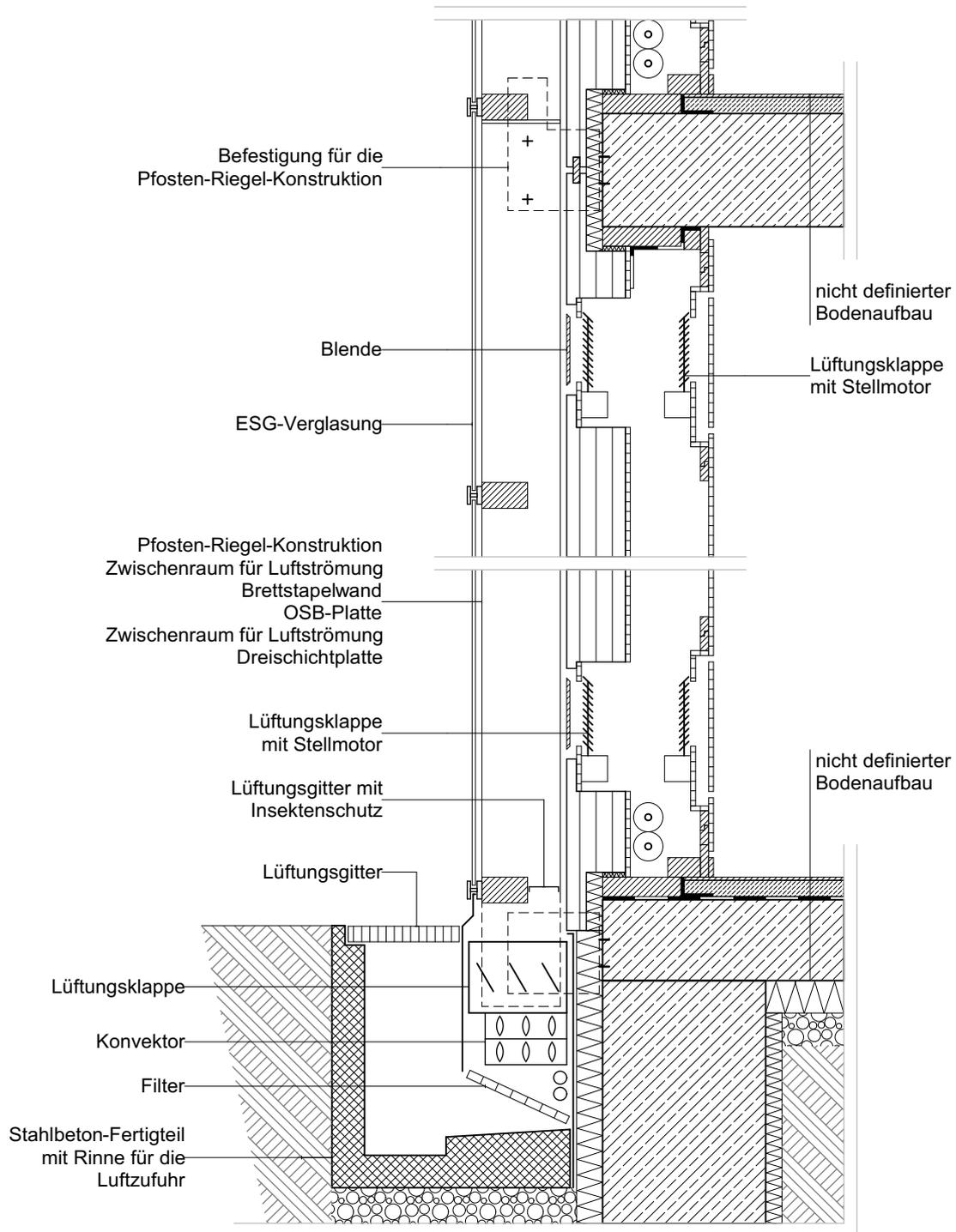
In Kapitel 2.3.3. werden Möglichkeiten aufgezeigt, ein Gebäude passiv über die Fassade zu belüften. Eine leicht abgewandelte Version des Kastenfensters zeigt das Detail 4. Durch den stetigen Luftstrom in der Hinterlüftungsebene kann der Raum gelüftet werden, auch wenn nur das innere Fenster geöffnet wird. Da aber keine hohen Geschwindigkeiten im Zwischenraum herrschen, wird die Luft im Winter durch die Sonneneinstrahlung temperiert und kann als Puffer dienen.

Detail 4: Hinterlüftete Naturstein-Fassade mit Kastenfenster (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016 S.79 - Bundespräsidialamt von Gruber + Kleine-Kraneburg)



Das folgende Detail 5 veranschaulicht ein System der passiven Ventilation. Im Sockelbereich kann frische, kühle Luft einströmen. Nach der Filterung kann sie, im Winter gegebenenfalls vorgewärmt, in den Fassadenzwischenraum eingebracht werden. Automatische Lüftungsklappen ermöglichen eine Be- und Entlüftung.

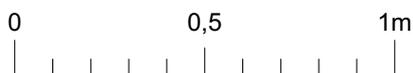
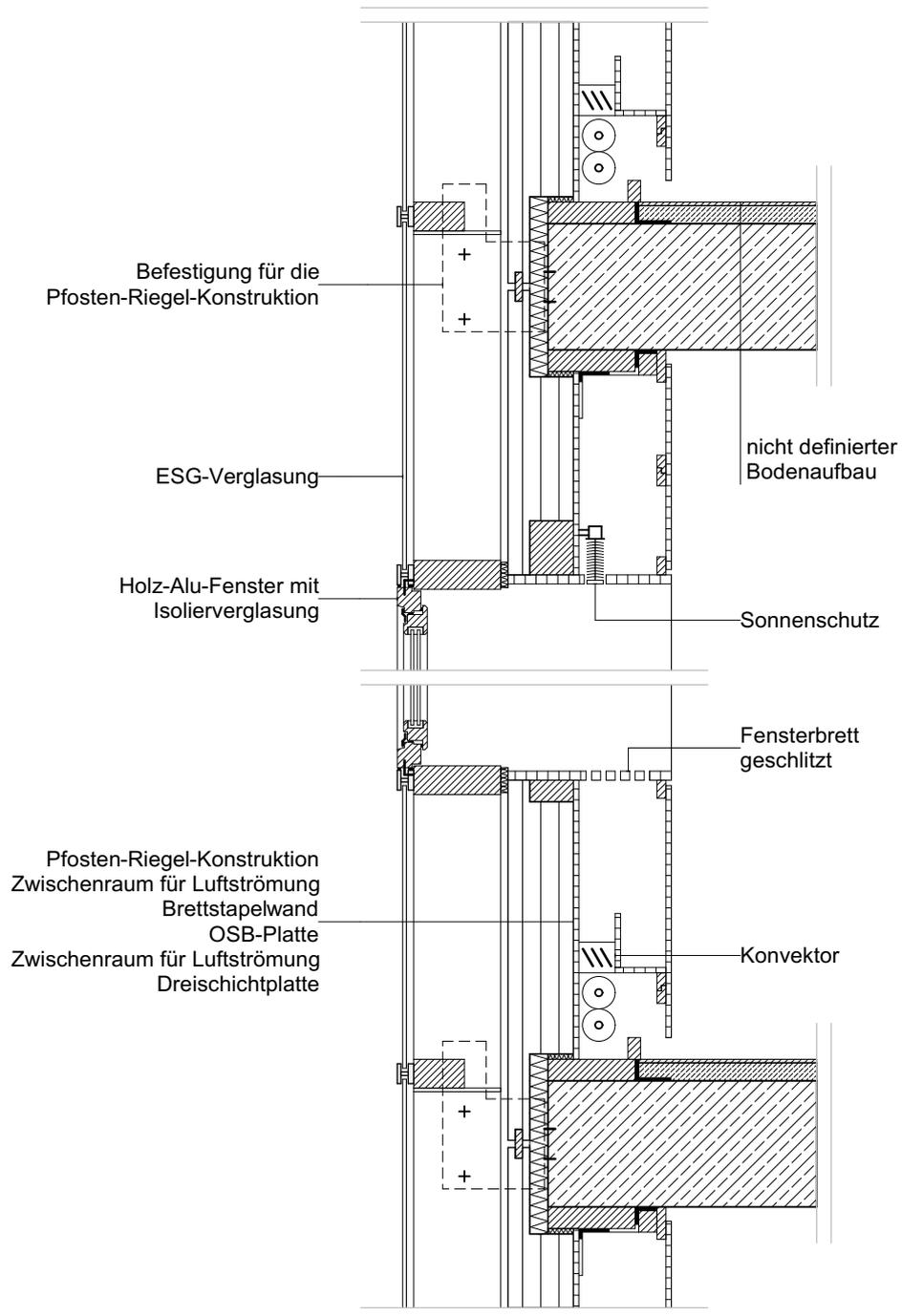
Detail 5: Sockelausbildung bei einer Fassade mit passiver Ventilation (vgl. Hegger et al., 2008, S.238 - Institutsgebäude von pfeifer.kuhn.architekten)



0 0,5 1m

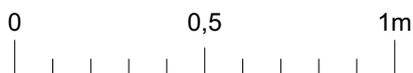
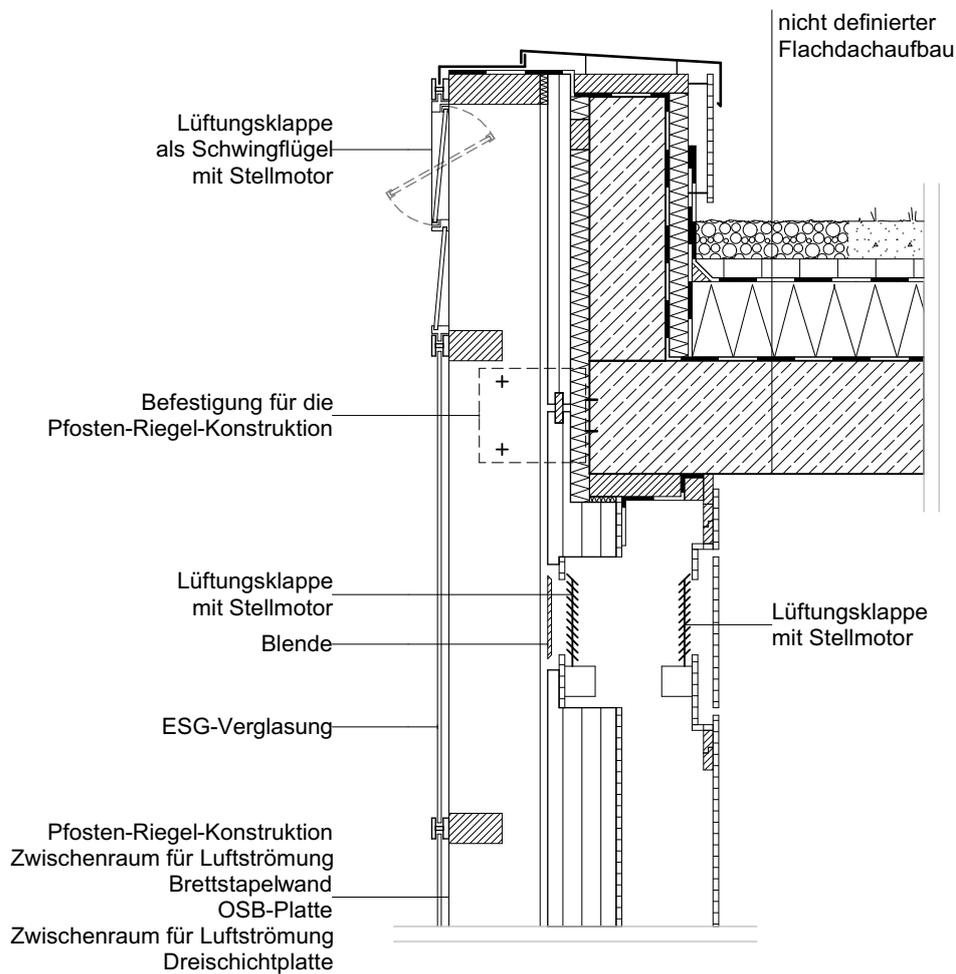
Für eine natürliche Belichtung sorgen öffnbare Fenster. Unterhalb der Fenster befinden sich Konvektoren, die die Luft im Zwischenraum im Winter zusätzlich erwärmen. (siehe Detail 6)

Detail 6: Vertikalschnitt durch ein Fenster bei einer Fassade mit passiver Ventilation (vgl. Hegger et al., 2008, S.238 - Institutsgebäude von pfeifer.kuhn.architekten)



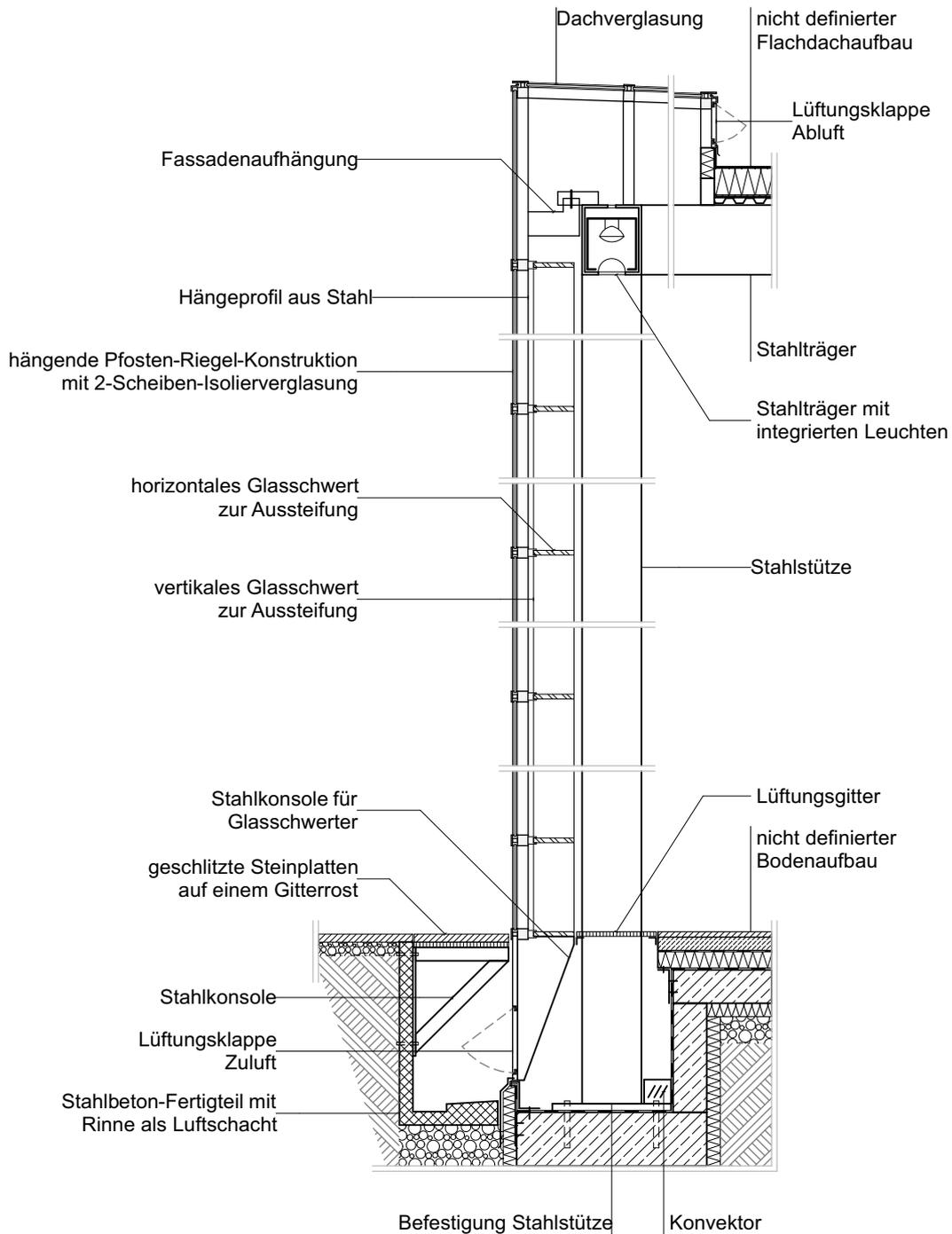
Um an heißen Tagen einen Hitzestau im Fassadenzwischenraum zu verhindern, gibt es an der Attika eine Lüftungsklappe. (siehe Detail 7) Durch das Aufsteigen der wärmeren Luft herrscht eine natürliche Luftzirkulation. Auch Abluft, die durch die Klappen in den Zwischenraum gelüftet werden kann, steigt so nach oben und wird nach draußen abgeführt.

Detail 7: Attikaausbildung bei einer Fassade mit passiver Ventilation (vgl. Hegger et al., 2008, S.238 - Institutsgebäude von pfeifer.kuhn.architekten)



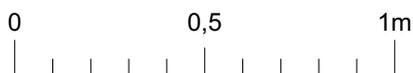
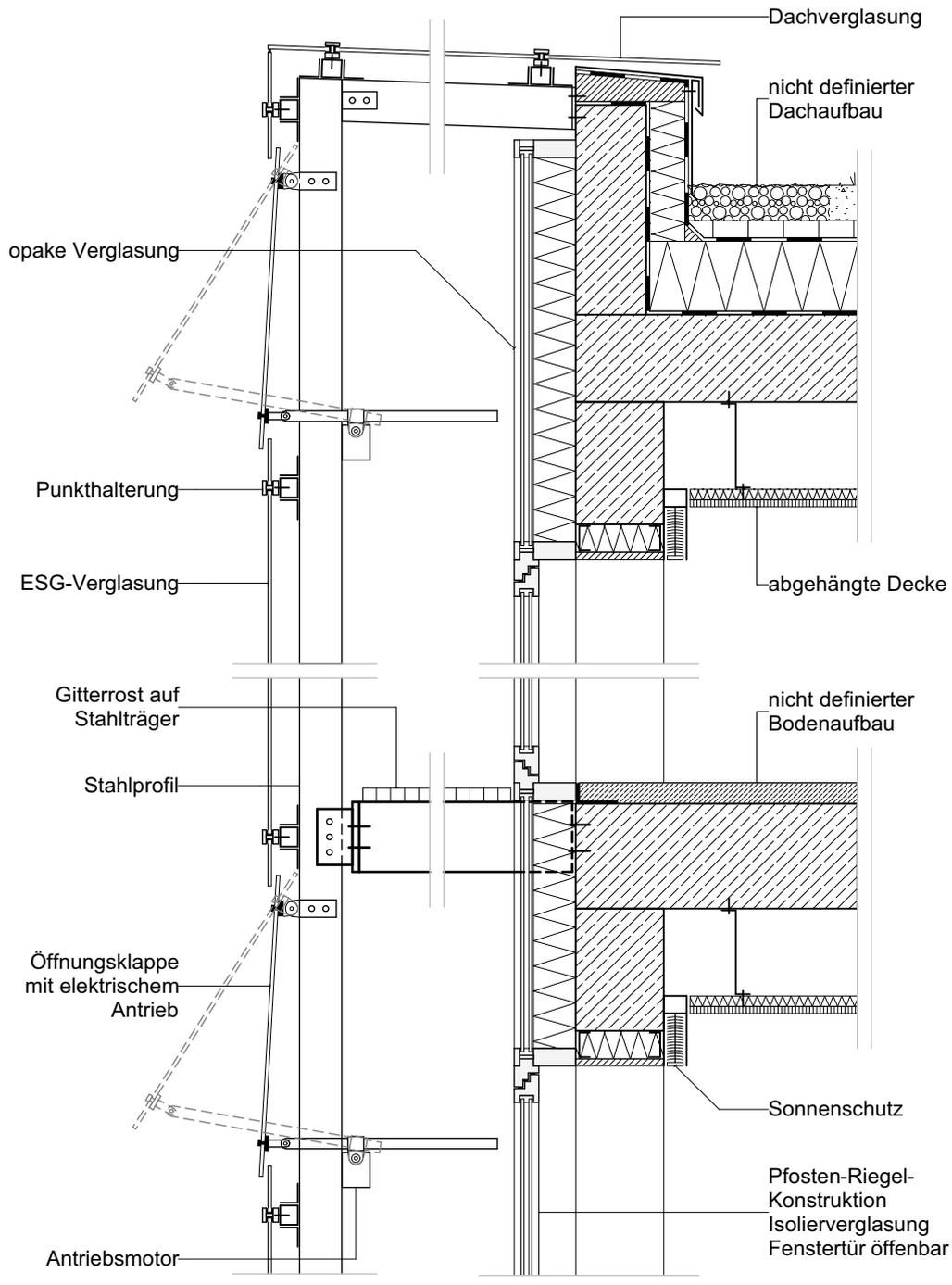
Bei Gebäuden nach dem Haus-in-Haus-Prinzip wird eine Hülle gebaut, die das innere Gebäude vor Umwelteinflüssen schützt. Innerhalb der Hülle entsteht ein Mikroklima, das durch Bepflanzung und Wasserflächen reguliert wird. (siehe S. 30f) Zuluft gelangt im Sockelbereich nach innen und kann im Attikabereich abgeführt werden.

Detail 8: Fassadenschnitt durch die äußere Hülle einer Zweite-Haut-Fassade nach dem Haus-in-Haus-Prinzip (vgl. Schittich, 2006, S.146 - Kirche in München von Allmann Sattler Wappner Architekten)



Die Schwierigkeit der Belüftung einer Doppelfassade wurde bei Detail 9 so gelöst, dass es in Fensternähe automatisierte Lüftungsclappen gibt. Der Fassadenzwischenraum kann im Sommer als wettergeschützter Außenraum genutzt werden. Im Winter dient der temperierte Raum als Pufferzone.

Detail 9: Doppelfassade mit begehbarem Zwischenraum für Wartungsarbeiten bzw. als Balkon (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016, S.229 - Institutsgebäude von Anna Lacaton & Jean Philippe Vassal)

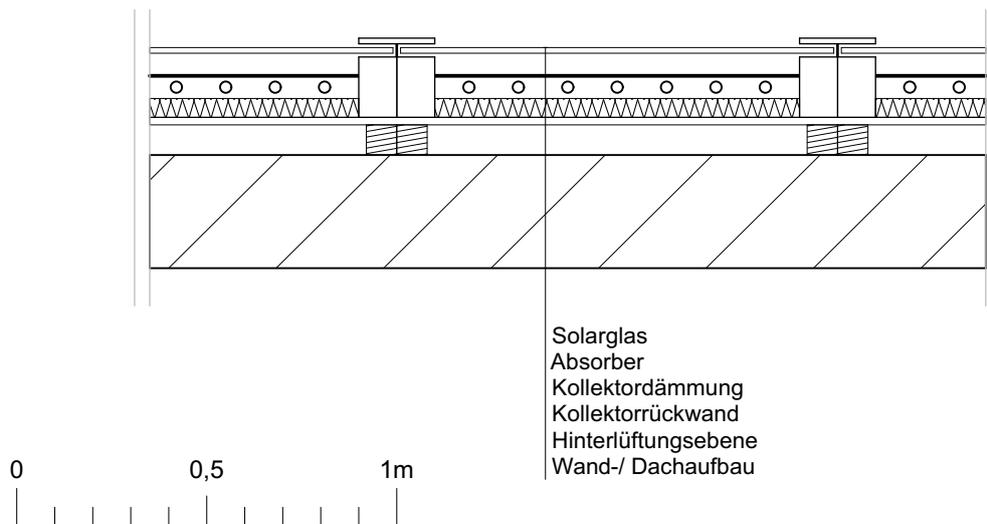


### 4.2.3. Solaranlage

In Kapitel 4.1.2. wird die Verwendung und die Ausrichtung zur Sonne von Sonnenkollektoren und Photovoltaikanlagen erläutert. Unabhängig für welche Anlage man sich entscheidet, gibt es zwei Möglichkeiten, diese in das Gebäude zu integrieren.

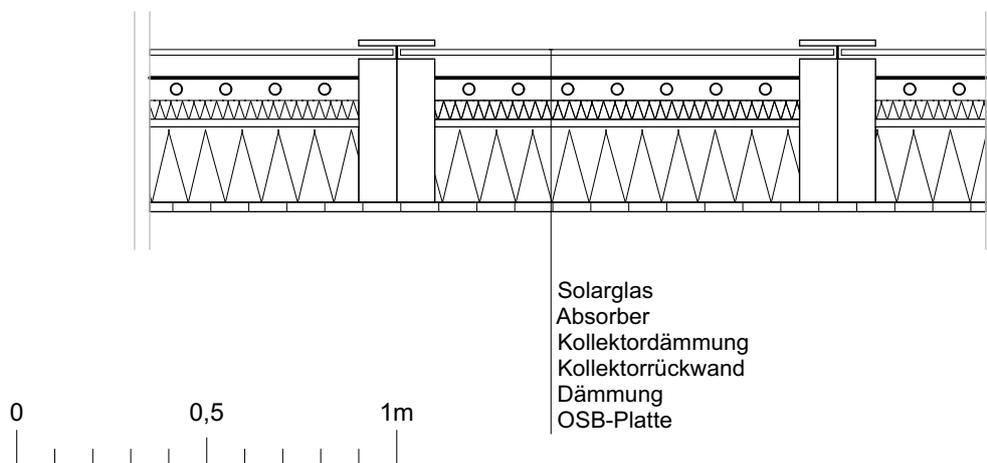
Die hinterlüftete Version ist bei Bestandsgebäuden eine gute Option, da in den bestehenden Wand- bzw. Dachaufbau nicht massiv eingegriffen wird.

Detail 10: Wand-/Dachaufbau mit Sonnenkollektor hinterlüftet (vgl. Hegger et al., 2008, S.95)



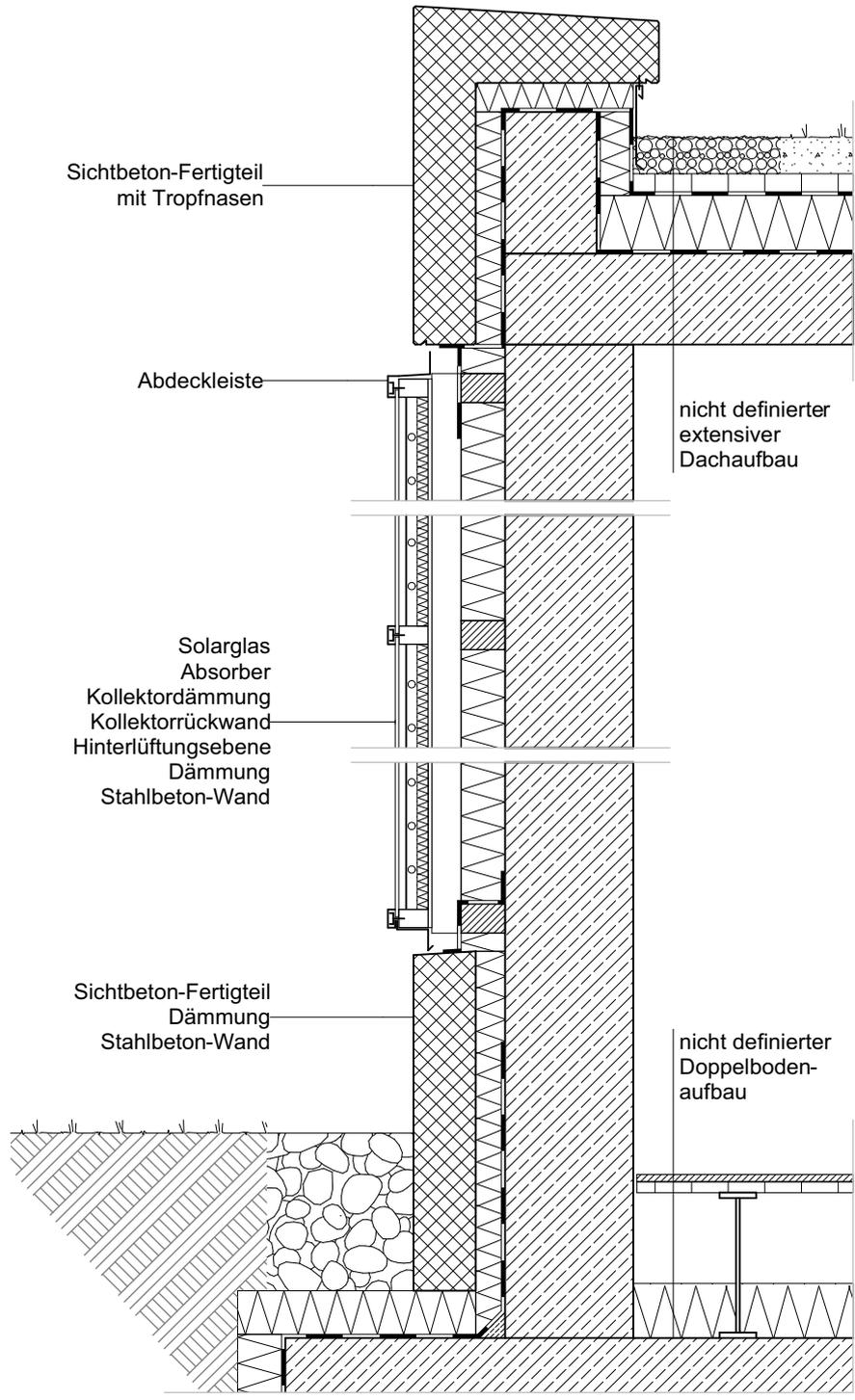
Ist die aufgeständerte Bauweise aber nicht erwünscht, kann die Anlage auch in den Wand- bzw. Dauchaufbau integriert werden, um ein einheitliches Bild zu erhalten.

Detail 11: Wand-/Dachaufbau mit Sonnenkollektor integriert (vgl. Hegger et at., 2008, S.95)



Am Beispiel des Details 12 kann man erkennen, dass die thermische Hülle durch das Anbringen der Solaranlage nicht gestört wird. Durch eine großzügige Hinterlüftungsebene kann ein Wärmestau an der Dämmungsoberfläche verhindert werden.

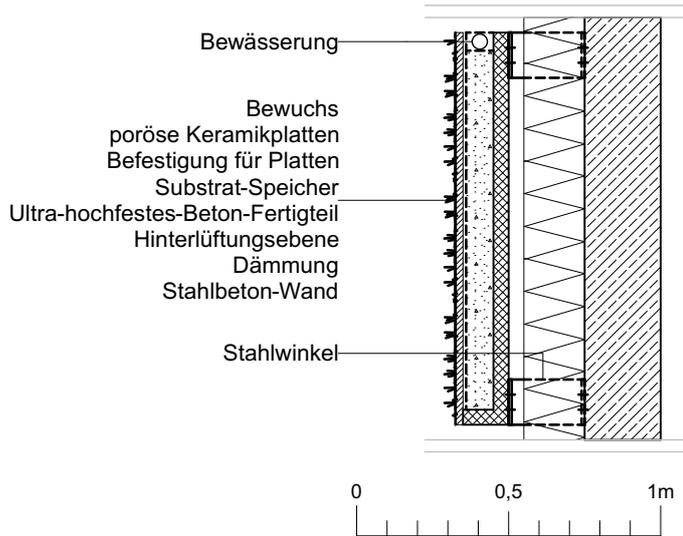
Detail 12: Fassadenschnitt einer im Wandaufbau integrierten Sdarkerkollatoranlage (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016, S.310 - Berufsschulzentrum von scholl Architekten)



#### 4.2.4. Begrünung

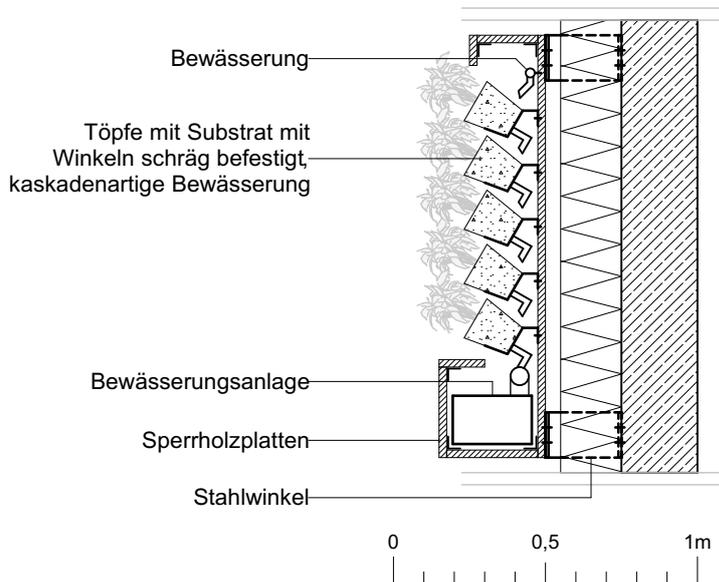
Neben Solaranlagen werden im Kapitel 4.1.2. auch verschiedene Möglichkeiten der Fassadenbegrünung beschrieben. (siehe S.70-71) Beim modularen Begrünungssystem (siehe Detail 13) werden Paneele an der Fassade befestigt, die durch ihre Porösität leicht durchwachsen werden können.

Detail 13: Fassade mit flächigem, modularem Begrünungssystem (vgl. Skyflor®)



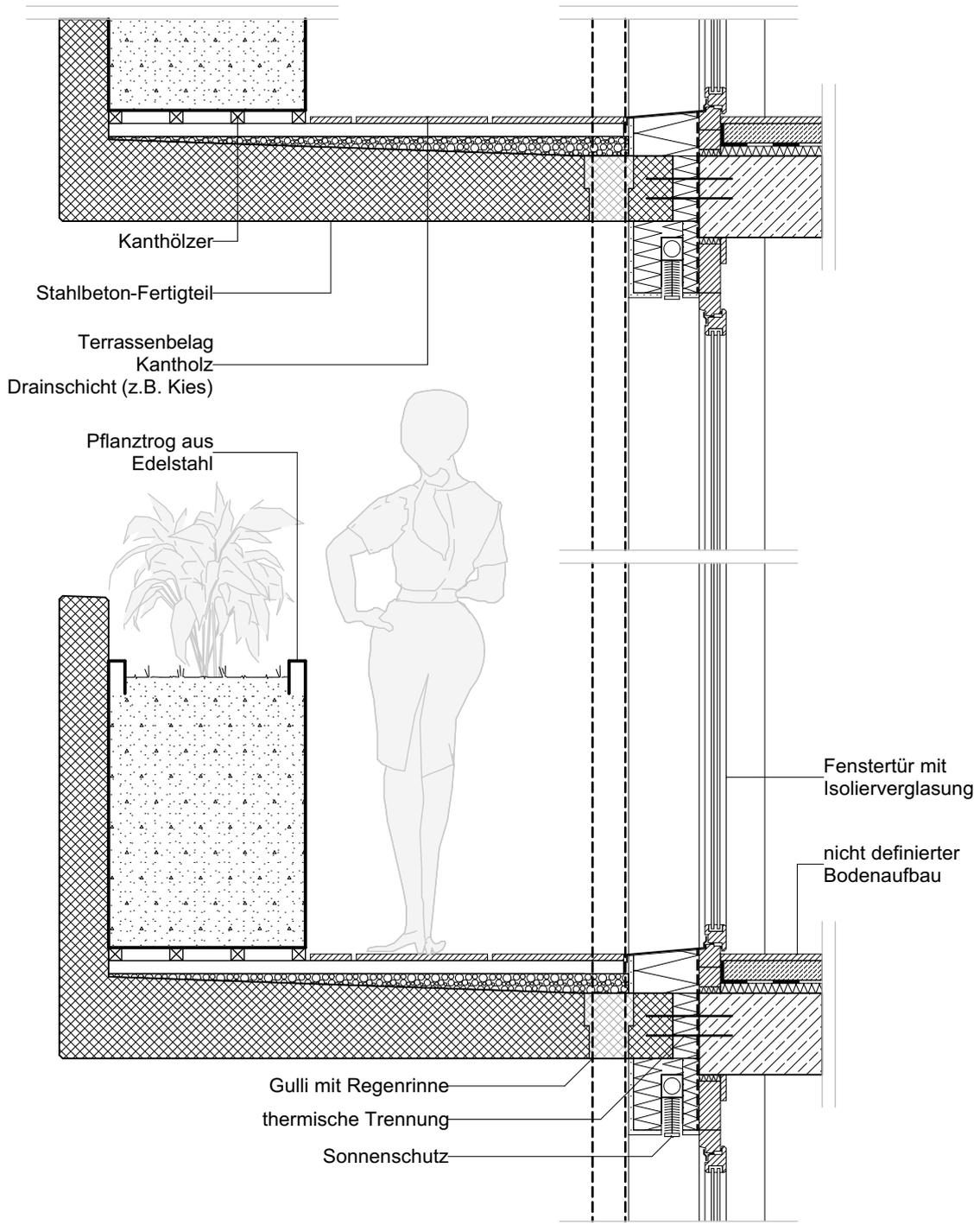
Eine andere Interpretation des flächigen Begrünungssystems zeigt Detail 14. Hier werden Pflanzen in Töpfen in ein vorgefertigtes Panel gehängt, um eine Flächenwirkung zu erzielen. Dieses System hat den großen Vorteil, dass kaputte Pflanzen leicht ausgetauscht werden können.

Detail 14: Fassade mit einem flächigen System aus Pflanztrögen als Begrünungssystem (vgl. versa wall® von GSKY Plan Systems, Inc.)



Oftmals werden aufwendige Fassadenbegrünungssysteme nicht gebaut, da sie etwas kostenintensiver sind. Als gute Alternative dienen Pflanztröge wie bei Detail 15. Sie können individuell bepflanzt werden und sind nicht fix mit dem Gebäude verbunden, sondern können bei Bedarf umgestellt oder entfernt werden.

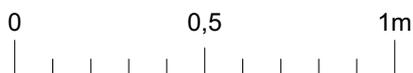
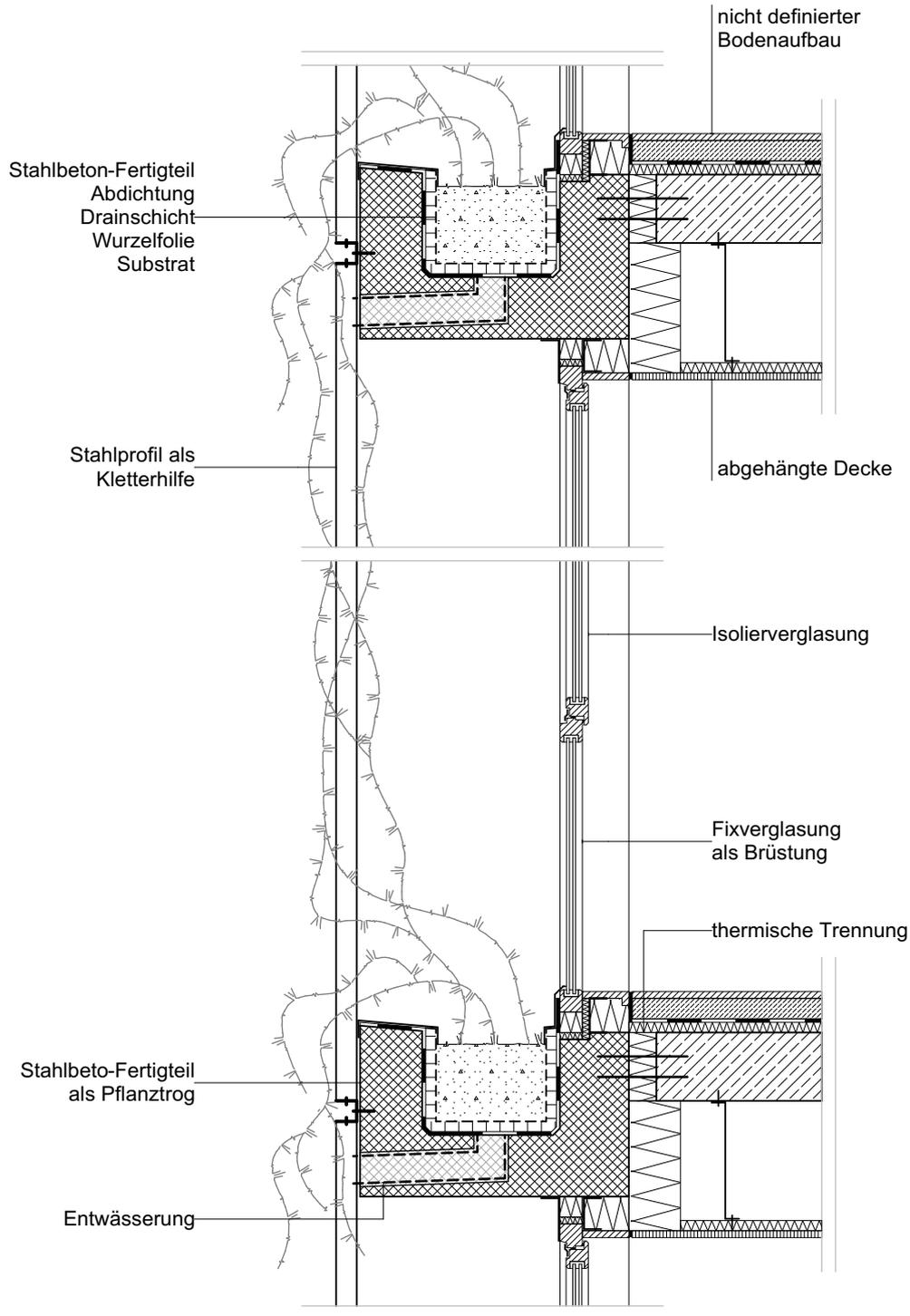
Detail 15: Flexibler Pflanztrög auf Balkon als Teil eines Konzeptes für eine Fassadenbegrünung



0 0,5 1m

Besonders wenig Aufwand hat man mit der Lösung, die in Detail 16 gezeigt wird. Kletterpflanzen sind sehr robust und benötigen wenig Pflege. Bei einem sehr dichten Bewuchs kann die Begrünung auch als Sonnenschutz dienen.

Detail 16: Fixer Pflanztrog mit Klettermöglichkeit für Kletterpflanzen (vgl. ArchDaily, 2019, o.S. - Breathing House von VTN Architects)



## 5. Schlussfolgerung

Die Vereinbarung von Bionik und Architektur mag auf den ersten Blick vielleicht etwas ungewöhnlich sein. Aber die Natur hat so viele Ideen zu bieten, die sich eben auch in die Architektur übertragen lassen. Nach einer Erklärung der Bionik in Kapitel 1 knüpfen praktische Beispiele in Kapitel 2 an. Blumen und Pflanzen dienen als Vorbild für innovative Beschattungssysteme, die auf die Sonneneinstrahlung reagieren. Imposante Tragkonstruktionen werden von Beispielen mit natürlichem Leichtbau wie Knochen und Bäumen inspiriert. Moderne Fassadensysteme, die mit passiver Ventilation funktionieren, sind auf in der Natur vorkommende Tierbehausungen zurückzuführen.

Die Natur entwickelt sich nach dem Motto so viel wie nötig, aber so wenig wie möglich. In Effizienz ist die Natur unangefochtene Meisterin. Bionische Bauweisen in die Bauwelt zu integrieren kann eine Steigerung der allgemeinen Effizienz und der Nachhaltigkeit bedeuten. In der Baubranche macht es einen großen Unterschied, ob man ein Ziel effektiv (unabhängig vom Aufwand) oder effizient (mit möglichst geringem Aufwand) erreicht.

Im Bauwesen ist Nachhaltigkeit kein neu entdecktes Konzept. Allerdings hat man sich lange Zeit nur auf den Energieverbrauch konzentriert. In Kapitel 3 werden neben der Energieeffizienz auch noch zwei weitere wichtige Punkte veranschaulicht: die Ressourceneffizienz und die Lebenszyklusbetrachtung. Es werden Maßnahmen und Beispiele aufgezeigt, die das Ziel eines niedrigeren Energieverbrauchs verfolgen. Der Umgang mit den stofflichen Ressourcen und den zwangsläufig anfallenden Abfällen findet dagegen erst seit kurzem Aufmerksamkeit. Daher sollte das Bauen im Bestand neben der Verwendung von ökologischeren Baumaterialien ein wichtiger Punkt sein. Man spart damit nicht nur Ressourcen, sondern vermeidet auch anfallende Baurestmassen, die nach dem Abbruch nicht recyclebar sind. Nachhaltigkeit bedeutet nämlich auch, dass man die gegenwärtigen Bedürfnisse befriedigt, ohne die Befriedigung der Bedürfnisse zukünftiger Generationen zu riskieren.

Dazu müssen Entscheidungskriterien in der Planungsphase genau abgewogen werden. Bauzeit und Baukosten sind dabei leider oft im Vordergrund und überdecken die ebenso wichtigen Punkte wie Lebensdauer, Ästhetik und die ökologische Bewertung des Gebäudes. Das Streben nach einer umwelt- und klimafreundlichen Bauweise sollte unterstützt werden und nicht von der Höhe der Kosten abhängig gemacht werden.

Konkrete Anhaltspunkte und Maßnahmen für eine nachhaltige Architektur werden in Kapitel 4 aufgezeigt. Den Beginn machen grundsätzliche Entscheidungen in der Planung. Man ist noch zu sehr auf einzelne Projekte fokussiert, anstatt mit der Flächenwidmungs- und Bebauungsplanung einen Grundstein für Nachhaltigkeit in der Stadt- und Raumplanung zu legen. Durch die Entwicklung einer Architektursprache, die sich mit der passiven Nutzung der Sonnenenergie beschäftigt, können noch effizientere

Gebäude geplant und gebaut werden. Anknüpfend daran werden Schritte in der Ausführung aufgezeigt, die neben ökologischen Einzelmaßnahmen wie Solaranlagen oder Dachbegrünungen einen Teil zur Nachhaltigkeit beitragen. Als Beispiele werden von bestehenden Bauwerken leicht veränderte Details gezeigt, die einen Einblick in die Umsetzung geben sollen.

Diese Diplomarbeit soll erreichen, dass man kritisch denkend an den Planungsprozess herangeht und sich von einer standardisierten Denkweise löst. Als Planer wird man oft von den Auftraggebern begrenzt, da ökologisch bessere Lösungen meist teurer sind als die herkömmlichen. Da die Planer allerdings einen Großteil des Aussehens einer Stadt und zum kleineren Teil die Auswirkungen der Baubranche auf das Klima zu verantworten haben, sollte es auch ihnen vorbehalten sein, sich positiv auf diese Punkte auszuwirken.

Abschließend ist festzuhalten, dass sich in der zukünftigen Bauwelt und den Handlungen ihrer Beteiligten noch viel ändern muss, um im großen Rahmen nachhaltige und vor allem umweltfreundliche Änderungen zu erzielen. Es sollte für alle Beteiligten attraktiver werden, mit ökologischeren Baustoffen zu arbeiten und nachhaltige Gebäude zu bauen. Öko-Plaketten und Zuschüsse für die Verwendung und den Einbau von nachhaltigen Produkten bilden nur den Anfang; handfeste Gesetze und Vorschriften sollten in absehbarer Zeit folgen.

Denn: „Die richtigen Dinge tun – oder die Dinge richtig tun?“ (Hegger et.al., 2008, S.24)

# Quellenverzeichnis

## Literatur:

Benett, Paul / Tanaka, Steven (2016). *Bionik – Hightech aus der Natur*. Köln: Fackelträger Verlag GmbH.

Brickwedde, Fritz / Erb, Rainer / Lefèvre, Jörg / Schwake, Michael (Hrsg.) (2007). *Bionik und Nachhaltigkeit – Lernen von der Natur*. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co.

Deplazes, Andrea (Hrsg.) (2013). *Architektur konstruieren – Vom Rohmaterial zum Bauwerk*. Basel: Birkhäuser Verlag GmbH

Hegger, Manfred / Fuchs, Mathias / Stark, Thomas / Zeumer, Martin (2008). *Energie Atlas – Nachhaltige Architektur*. Basel: Birkhäuser – Verlag für Architektur.

Herzog, Thomas / Krippner, Roland / Lang, Werner (2016). *Fassaden Atlas*. München: DETAIL Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG.

Kesel, Antonia B. (2005). *Bionik*. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag.

Knaack, Ulrich / Klein, Tillmann / Bilow, Marcel / Auer, Thomas (2010). *Fassaden – Prinzipien der Konstruktion*. Basel: Birkhäuser GmbH.

König, Holger / Kohler, Niklaus / Kreißig, Johannes / Lützkendorf, Thomas (2009). *Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung*. München: DETAIL Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG.

Nachtigall, Werner / Blüchel, Kurt G. (2000). *Das große Buch der Bionik*. Stuttgart/München: Deutsche Verlags-Anstalt.

ÖNORM B1801-1: 2009, *Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 1: Objekterrichtung*

ÖNORM B1801-2: 2011, *Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 2: Objekt-Folgekosten*

Schittich, Christian (Hrsg.) (2006). *im DETAIL Gebäudehüllen*. Basel: Birkhäuser – Verlag für Architektur.

Teischinger, Alfred (Hrsg.) (2015). *Ressourceneffizienz in der Anwendung von Holz*. Wien: Universität für Bodenkultur Wien

Treberspurg, Martin (1999). *Neues Bauen mit der Sonne – Ansätze zu einer klimagerechten Architektur*. Wien: Springer-Verlag

## Internet:

www.archdaily.com, Diego Hernández (12.02.2019). *Breathing House / VTN Architects*. Online unter [https://www.archdaily.com/911296/breathing-house-vtn-architects/5c62c24a284dd187fe000b4e-breathing-house-vtn-architects-detail?next\\_project=no](https://www.archdaily.com/911296/breathing-house-vtn-architects/5c62c24a284dd187fe000b4e-breathing-house-vtn-architects-detail?next_project=no) (Zugriff: 02.10.2020)

www.botanikguide.de, Andrea M. Trautmann (16.09.2018). *Bäume kühlen Städte wie natürliche Klimaanlage*. Online unter <https://botanikguide.de/baeume-kuehlen-staedte-wie-natuerliche-klimaanlagen/> (Zugriff: 09.07.2020)

www.briangwilliams.us, Brian Williams (17.04.2020). *Mechanically assisted ventilation*. Online unter <https://www.briangwilliams.us/climage-change-2/mechanically-assisted-ventilation.html> (Zugriff: 24.04.2020)

www.ibo.at, IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH (o.J.). *Kriterien*. Online unter <https://www.ibo.at/gebaeudebewertung/oegnb-tqb/kriterien/> (Zugriff: 05.09.2020)

www.ris.bka.gv.at, Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort. (10.04.2020). *ArbeitnehmerInnenschutzgesetz*. Online unter <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008910> (Zugriff: 10.04.2020)

www.ris.bka.gv.at, Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort. (10.04.2020). *Arbeitsstättenverordnung*. Online unter <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10009098> (Zugriff: 10.04.2020)

www.scinexx.de, Mareike Knoke (03.02.2017). *Saugrüssel am Meeresgrund*. Online unter <https://www.scinexx.de/dossierartikel/saugruessel-am-meeresgrund/> (Zugriff: 25.08.2020)

www.scinexx.de, MMCD NEW MEDIA GmbH (Hrsg.) (11.07.2005). *Schwamm baut unzerbrechliches Glashaus*. Online unter <https://www.scinexx.de/news/biowissen/schwamm-baut-unzerbrechliches-glashaus/> (Zugriff: 25.01.2020)

www.statistik.at, Statistik Austria (10.06.2020). *Wohnungsgröße von Hauptwohnsitzwohnungen nach Bundesland (Zeitreihe)*. Online unter [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/menschen\\_und\\_gesellschaft/wohnen/wohnsituation/081235.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/wohnen/wohnsituation/081235.html) (Zugriff: 26.08.2020)

www.waldwissen.net, Yvonne Chtioui / Susanne Kaulfuß (04.03.2011). *Waldbrandüberwachung*. Online unter [https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/brand/fva\\_waldbrand\\_wb3/index\\_DE](https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/brand/fva_waldbrand_wb3/index_DE) (Zugriff: 05.04.2020)

www.wifo.ac.at, Ina Meyer / Mark Sommer / Kurt Kratena u.a. (November 2016). *Volkswirtschaftliche Effekte durch Recycling ausgewählter Altstoffe und Abfälle*. Online unter [https://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person\\_dokument/person\\_dokument.jart?publikat\\_ionsid=59158&mime\\_type=application/pdf](https://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikat_ionsid=59158&mime_type=application/pdf) (Zugriff: 28.08.2020)

www.zement.at, Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZ) (November 2019). *Jahresbericht 2018/19 der österreichischen Zementindustrie*. Online unter [https://www.zement.at/downloads/downloads\\_2019/jahresbericht-2018\\_2019.pdf](https://www.zement.at/downloads/downloads_2019/jahresbericht-2018_2019.pdf) (Zugriff: 25.08.2020)

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	„Blütenkorb einer Klette“ aus: <a href="https://www.wikiwand.com/de/Gro%C3%9Fe_Klette">https://www.wikiwand.com/de/Gro%C3%9Fe_Klette</a> (Zugriff: 09.04.2020).....	11
Abbildung 2:	„Schemaskizze Klettverschluss“ aus: Eigene Darstellung .....	11
Abbildung 3:	„Nahaufnahme eines Blattes mit Lotus-Effekt“ aus: <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Lotoseffekt#/media/Datei:Pistia_stratiotes_Wassertröpfchen.JPG">https://de.wikipedia.org/wiki/Lotoseffekt#/media/Datei:Pistia_stratiotes_Wassertröpfchen.JPG</a> (Zugriff: 09.04.2020) .....	11
Abbildung 4:	„Schemaskizze einer Oberfläche mit (oben) und ohne (unten) Lotus-Effekt“ aus: Eigene Darstellung .....	11
Abbildung 5:	„Zeichnung eines „Fog-Trapping-Beetles““ aus: <a href="https://asknature.org/strategy/water-vapor-harvesting/">https://asknature.org/strategy/water-vapor-harvesting/</a> (Zugriff: 09.04.2020).....	12
Abbildung 6:	„Nebelfänger an der Küste Marokkos“ aus: <a href="https://www.aqualonis.com/morocco?lightbox=datattem-j5apveld">https://www.aqualonis.com/morocco?lightbox=datattem-j5apveld</a> (Zugriff: 12.02.2020).....	12
Abbildung 7:	„Anforderungen an die Gebäudehülle“ aus: Eigene Darstellung .....	13
Abbildung 8:	„Teilansicht des Institut du Monde Arabe“ aus: <a href="https://www.imarabe.org/fr/missions-fonctionnement/historique">https://www.imarabe.org/fr/missions-fonctionnement/historique</a> (Zugriff: 14.04.2020).....	15
Abbildung 9:	„Detailansicht eines Fassadenelements des Institut du Monde Arabe“ aus: <a href="https://www.imarabe.org/fr/architecture">https://www.imarabe.org/fr/architecture</a> (Zugriff: 14.04.2020) .....	15
Abbildung 10:	„Expo Pavillion 2012 von SOMA in Südkorea“ aus: <a href="http://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme_pavilion&amp;parent=2#">http://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme_pavilion&amp;parent=2#</a> (Zugriff: 18.04.2020) .....	16
Abbildung 11:	„Lichtlenkung über reflektierende Lamellen“ aus: Eigene Darstellung .....	17
Abbildung 12:	„Venezolanischer Pavillon im geöffneten Zustand“ aus: <a href="https://structurae.net/de/bauwerke/venezolanischer-pavillon-expo-2000">https://structurae.net/de/bauwerke/venezolanischer-pavillon-expo-2000</a> (Zugriff: 18.04.2020).....	17
Abbildung 13:	„Venezolanischer Pavillon im geschlossenen Zustand“ aus: <a href="https://structurae.net/de/bauwerke/venezolanischer-pavillon-expo-2000">https://structurae.net/de/bauwerke/venezolanischer-pavillon-expo-2000</a> (Zugriff: 18.04.2020).....	17
Abbildung 14:	„Querschnitt durch den Kopf eines Oberschenkelknochens“ aus: <a href="https://docplayer.org/53199749-Aufgaben-des-skeletts-welche-aufgaben-hat-das-skelett.html">https://docplayer.org/53199749-Aufgaben-des-skeletts-welche-aufgaben-hat-das-skelett.html</a> (Zugriff: 22.01.2020).....	19
Abbildung 15:	„Riesenseerosenblatt“ aus: <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Riesenseerosenblatt.JPG">https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Riesenseerosenblatt.JPG</a> (Zugriff: 23.01.2020) .....	19

Abbildung 16:	„ <i>Unterseite mit Stützrippen</i> “ aus: <a href="https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/Victoria_cruziana_Blatt_unterseite.JPG">https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/Victoria_cruziana_Blatt_unterseite.JPG</a> (Zugriff: 23.01.2020) .....	19
Abbildung 17:	„ <i>Skelett eines Gießkannenschwammes</i> “ aus: <a href="https://www.scinexx.de/news/biowissen/schwamm-baut-unzerbrechliches-glashaus/">https://www.scinexx.de/news/biowissen/schwamm-baut-unzerbrechliches-glashaus/</a> (Zugriff: 25.01.2020) .....	20
Abbildung 18:	„ <i>Nahaufnahme Canton Tower, China</i> “ aus: <a href="https://www.wikiwand.com/en/Canton_Tower">https://www.wikiwand.com/en/Canton_Tower</a> (Zugriff: 19.04.2020) .....	20
Abbildung 19:	„ <i>Bienenwabe</i> “ aus: <a href="https://we4bee.org/info/blog/warum-sind-bienenwabensechseckig/">https://we4bee.org/info/blog/warum-sind-bienenwabensechseckig/</a> (Zugriff: 19.04.2020) .....	20
Abbildung 20:	„ <i>Fläche mit regelmäßigen Sechsecken ausgefüllt</i> “ aus: Eigene Darstellung .....	20
Abbildung 21:	„ <i>Baumstützen im Terminal 3 des Stuttgarter Flughafens</i> “ aus: <a href="https://www.aero.de/news-27590/Stuttgart-will-Direktfluege-nach-China-und-Dubai.html">https://www.aero.de/news-27590/Stuttgart-will-Direktfluege-nach-China-und-Dubai.html</a> (Zugriff: 10.02.2020).....	21
Abbildung 22:	„ <i>Schemaskizze einer Tür mit Wabenstruktur und Furnier-Deckplatten</i> “ aus: Eigene Darstellung .....	22
Abbildung 23:	„ <i>Farbiges 3D-Modell eines auskragenden Trägers</i> “ aus: Eigene Darstellung .....	23
Abbildung 24:	„ <i>Screenshot eines FEM-Modells von Dlubal</i> “ aus: <a href="https://www.dlubal.com/de/produkte/rfem-und-rstab-zusatzmodule/dynamische-analyse#gallery-ss">https://www.dlubal.com/de/produkte/rfem-und-rstab-zusatzmodule/dynamische-analyse#gallery-ss</a> (Zugriff: 01.04.2020).....	23
Abbildung 25:	„ <i>Behaglichkeitsdiagramm</i> “ aus: Eigene Darstellung.....	24
Abbildung 26:	„ <i>Skizze des Baus der Präriehunde</i> “ aus: Eigene Darstellung.....	26
Abbildung 27:	„ <i>Skizze des Belüftungssystems eines Termitenhügels</i> “ aus: Eigene Darstellung .....	26
Abbildung 28:	„ <i>Erklärungsskizze eines Bagdirs (Windfänger)</i> “ aus: Eigene Darstellung .....	27
Abbildung 29:	„ <i>Eastgate Centre in Harare, Simbabwe</i> “ aus: <a href="https://bulawayo24.com/index-id-news-sc-national-byo-136019.html">https://bulawayo24.com/index-id-news-sc-national-byo-136019.html</a> (Zugriff: 22.04.2020) .....	27
Abbildung 30:	„ <i>Systemschnitt durch das Eastgate Centre</i> “ aus: Eigene Darstellung.....	28
Abbildung 31:	„ <i>Portcullis House in London, Großbritannien</i> “ aus: <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Portcullis_House#/media/Datei:Westminster_station_building_Portcullis_House.JPG">https://de.wikipedia.org/wiki/Portcullis_House#/media/Datei:Westminster_station_building_Portcullis_House.JPG</a> (Zugriff: 09.01.2020) .....	29
Abbildung 32:	„ <i>Teilschnitt durch das Portcullis House</i> “ aus: <a href="https://www.northernarchitecture.us/artificial-lighting/portcullis-house-westminster.html">https://www.northernarchitecture.us/artificial-lighting/portcullis-house-westminster.html</a> (Zugriff: 24.04.2020) .....	29
Abbildung 33:	„ <i>Doppelfassade bzw. Zweite-Haut-Fassade in 3D-Ansicht und Schnitt</i> “ aus: Eigene Darstellung .....	30

Abbildung 34:	„Bepflanzung und Wasserbecken zur Klimaregulierung in der Fortbildungsakademie, Herne (1999)“ aus: <a href="http://www.perraudinarchitectes.com/projets/herne_allemande/herne_allemande.htm">http://www.perraudinarchitectes.com/projets/herne_allemande/herne_allemande.htm</a> (Zugriff: 10.06.2020).....	31
Abbildung 35:	„Querschnitt durch die Fortbildungsakademie in Herne“ aus: <a href="http://www.perraudinarchitectes.com/projets/herne_allemande/herne_allemande.htm">http://www.perraudinarchitectes.com/projets/herne_allemande/herne_allemande.htm</a> (Zugriff: 10.06.2020).....	31
Abbildung 36:	„Fassadenzwischenraum des Bürohochhauses Doppel-XX von Bothe Richter Teherani, Hamburg (1999)“ aus: <a href="https://www.haditeherani.com/de/works/doppel-x">https://www.haditeherani.com/de/works/doppel-x</a> (Zugriff: 10.06.2020).....	31
Abbildung 37:	„Kastenfenster-Fassade in 3D-Ansicht und Schnitt“ aus: Eigene Darstellung .....	32
Abbildung 38:	„Historisches Kastenfenster des Schloss St. Martin, Graz“ aus: <a href="http://fenstersanierung.at/showroomprojekt-5/">http://fenstersanierung.at/showroomprojekt-5/</a> (Zugriff: 11.06.2020) .....	33
Abbildung 39:	„Neuinterpretation des Kastenfensters im Verwaltungszentrum von St. Gallen von Jessen-vollenweider Architektur“ aus: <a href="https://www.proholz.at/zuschnitt/58/kastenfenster-aus-holz-mit-aluminium-und-bronzeverkleidung">https://www.proholz.at/zuschnitt/58/kastenfenster-aus-holz-mit-aluminium-und-bronzeverkleidung</a> (Zugriff: 11.06.2020) .....	33
Abbildung 40:	„Korridor-Fassade in 3D-Ansicht und Schnitt durch die Zuluftöffnung (mittlere Zeichnung) und Schnitt durch die Abluftöffnung (rechte Zeichnung)“ aus: Eigene Darstellung .....	34
Abbildung 41:	„Klar sichtbare, horizontale Teilung der Fassade des Stadttors in Düsseldorf von Petzinka Pink und Partner“ aus: <a href="https://structurae.net/de/bauwerke/stadttor">https://structurae.net/de/bauwerke/stadttor</a> (Zugriff: 12.06.2020).....	35
Abbildung 42:	„Fassadenzwischenraum des Stadttors in Düsseldorf“ aus <a href="https://pinkarchitektur.de/index.php?id=16&amp;tx_ttnews%5Btt_news%5D=62&amp;cHash=408904a2a81982c0cec56bd8ba025e32">https://pinkarchitektur.de/index.php?id=16&amp;tx_ttnews%5Btt_news%5D=62&amp;cHash=408904a2a81982c0cec56bd8ba025e32</a> (Zugriff 10.06.2020) .....	35
Abbildung 43:	„Schacht-Kasten-Fassade in 3D-Ansicht und Schnitt durch das Kasten-Element (mittlere Zeichnung) und den Abluftschacht (rechte Zeichnung)“ aus: Eigene Darstellung .....	36
Abbildung 44:	„Gesamtansicht des ARAG-Towers in Düsseldorf von RKW Architektur + und Foster and Partners; die Abluftschächte befinden sich jeweils am Rand“ aus: <a href="https://rkw.plus/de/projekt/arag-tower/#">https://rkw.plus/de/projekt/arag-tower/#</a> (Zugriff: 13.06.2020) .....	37
Abbildung 45:	„Photonikzentrum in Berlin von Sauerbruch Hutton; am rechten Gebäude sind die Öffnungen in den Säulen zum Schacht gut zu erkennen“ aus: <a href="http://www.sauerbruchhutton.de/de/project/pho">http://www.sauerbruchhutton.de/de/project/pho</a> (Zugriff: 13.06.2020) .....	37
Abbildung 46:	„Sonnenhaus nach Sokrates“ aus: Eigene Darstellung.....	39
Abbildung 47:	„Südfassade der Orangerie in Schönbrunn, Wien“ aus: <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Orangerie_(Wien-Sch%C3%B6nbrunn)#/media/Datei:Orangerie_(Sch%C3%B6nbrunn)_20080216.jpg">https://de.wikipedia.org/wiki/Orangerie_(Wien-Sch%C3%B6nbrunn)#/media/Datei:Orangerie_(Sch%C3%B6nbrunn)_20080216.jpg</a> (Zugriff: 24.04.2020) - beschnitten .....	39

Abbildung 48:	„Verlustminimierende Strategie V1“ aus: Eigene Darstellung .....	41
Abbildung 49:	„Verlustminimierende Strategie V2“ aus: Eigene Darstellung .....	41
Abbildung 50:	„Gewinnmaximierende Strategie G1“ aus: Eigene Darstellung .....	41
Abbildung 51:	„Vergleich von ungedämmten zu gedämmten Wänden mit einer Wärmebildkamera“ aus: <a href="https://www.maler-niggemann.com/leistungen/w%C3%A4rmed%C3%A4mmung/">https://www.maler-niggemann.com/leistungen/w%C3%A4rmed%C3%A4mmung/</a> (Zugriff: 23.06.2020) .....	42
Abbildung 52:	„Direkter Wärmegewinn über direkte Sonneneinstrahlung“ aus: Eigene Darstellung .....	44
Abbildung 53:	„Indirekter Wärmegewinn über eine Speicherwand hinter der Fassade“ aus: Eigene Darstellung .....	44
Abbildung 54:	„Indirekter Wärmegewinn über einen angebauten Sonnenraum (Wintergarten)“ aus: Eigene Darstellung .....	45
Abbildung 55:	„Isolierter Wärmegewinn über konvektive Schleifen um eine Speichermasse“ aus: Eigene Darstellung .....	45
Abbildung 56:	„Systemskizze der passiven Ventilation“ aus: Eigene Darstellung .....	46
Abbildung 57:	„Lüftung von glasüberdeckten Bereichen“ aus: Eigene Darstellung .....	47
Abbildung 58:	„Funktionsskizze eines Fensterkollektors“ aus: Eigene Darstellung .....	47
Abbildung 59:	„Skizze einer Geschossdecke mit Wasserrohren zur Betonkernaktivierung“ aus: Eigene Darstellung .....	48
Abbildung 60:	„Schemaskizze eines Energiebohrpfahls“ aus: Eigene Darstellung .....	48
Abbildung 61:	„Kreislauf von Holz“ aus: Eigene Darstellung .....	50
Abbildung 62:	„Kreislauf von Beton“ aus: Eigene Darstellung .....	51
Abbildung 63:	„Kreislauf von Metall“ aus: Eigene Darstellung .....	52
Abbildung 64:	„Kreislauf von Glas“ aus: Eigene Darstellung .....	53
Abbildung 65:	„Diagramm einer Ökobilanzierung von Stein (vgl. König et al., 2009, S.42)“ aus: Eigene Darstellung .....	57
Abbildung 66:	„Zertifikatsplaketten für Bauprodukte“ aus: <a href="https://www.ibo.at/materialoekologie/produkte-mit-ibo-pruefzeichen/">https://www.ibo.at/materialoekologie/produkte-mit-ibo-pruefzeichen/</a> (Zugriff: 05.09.2020) .....	58
Abbildung 67:	„Entscheidungsmöglichkeiten im Verlauf des Lebenszyklus (vgl. König et al., 2009, S.16)“ aus: Eigene Darstellung .....	62
Abbildung 68:	„Diagramm der Kostenaufteilung eines Gebäudes (vgl. König et al., 2009, S.60)“ aus: Eigene Darstellung .....	63
Abbildung 69:	„Fassade mit flächenförmigem Direktbewuchs“ aus: Eigene Darstellung ..	71
Abbildung 70:	„Fassade mit leitbarem Bewuchs“ aus: Eigene Darstellung .....	71
Abbildung 71:	„Fassade mit modularem Begrünungssystem“ aus: Eigene Darstellung ...	72

Abbildung 72:	„Fassade mit einer flächigen Konstruktion zur Begrünung“ aus: Eigene Darstellung .....	72
Abbildung 73:	„Fassade mit Pflanzgefäßen“ aus: Eigene Darstellung .....	73

## Detailverzeichnis

Detail 1:	Unbewegliche Blenden auf der Nord-seitigen Fassade mit lichtlenkenden Elementen (vgl. Schittich, 2006, S.165 – Verwaltungsgebäude in Wiesbaden von Herzog + Partner) .....	75
Detail 2:	Bewegliche Blenden als Sonnenschutz und zur Lichtlenkung (vgl. Schittich, 2006, S.166 – Verwaltungsgebäude in Wiesbaden von Herzog + Partner)....	76
Detail 3:	Vorgehängte, perforierte Metall-Paneele als Sonnen- und Windschutz mit begehbarem Steg für Wartungsarbeiten bzw. als Balkon (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016, S.287 – Verwaltungsgebäude von Baader + Schmid mit Maurice Mayne) .....	77
Detail 4:	Hinterlüftete Naturstein-Fassade mit Kastenfenster (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016, S.79 – Bundespräsidialamt von Gruber + Kleine-Kraneburg) .....	78
Detail 5:	Sockelausbildung bei einer Fassade mit passiver Ventilation (vgl. Hegger et al., 2008, S.238 – Institutsgebäude von pfeifer.kuhn.architekten) .....	79
Detail 6:	Vertikalschnitt durch ein Fenster bei einer Fassade mit passiver Ventilation (vgl. Hegger et al., 2008, S.238 – Institutsgebäude von pfeifer.kuhn.architekten) .....	80
Detail 7:	Attikaausbildung bei einer Fassade mit passiver Ventilation (vgl. Hegger et al., 2008, S.238 – Institutsgebäude von pfeifer.kuhn.architekten) .....	81
Detail 8:	Fassadenschnitt durch die äußere Hülle einer Zweite-Haut-Fassade nach dem Haus-in-Haus-Prinzip (vgl. Schittich, 2006, S.146 – Kirche in München von Allmann Sattler Wappner Architekten) .....	82
Detail 9:	Doppelfassade mit begehbarem Zwischenraum für Wartungsarbeiten bzw. als Balkon (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016, S.229 – Institutsgebäude von Anna Lacaton & Jean Philippe Vassal) .....	83
Detail 10:	Wand-/Dachaufbau mit Sonnenkollektor hinterlüftet (vgl. Hegger et al., 2008, S.95) .....	84
Detail 11:	Wand-/Dachaufbau mit Sonnenkollektor integriert (vgl. Hegger et al., 2008, S.95) .....	84
Detail 12:	Fassadenschnitt einer im Wandaufbau integrierten Solarkollektoranlage (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016, S.310 – Berufsschulzentrum von scholl Architekten) .....	85
Detail 13:	Fassade mit flächigem, modularem Begrünungssystem (vgl. Skyflor®).....	86

Detail 14:	Fassade mit einem flächigen System aus Pflanztrögen als Begrünungssystem (vgl. versa wall® von GSky Plan Systems, Inc.) .....	86
Detail 15:	Flexibler Pflanztrog auf Balkon als Teil eines Konzeptes für eine Fassadenbegrünung .....	87
Detail 16:	Fixer Pflanztrog mit Klettermöglichkeit für Kletterpflanzen (vgl. ArchDaily, 2019, o.S. - Breathing House von VTN Architects).....	88

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	„Richtwerte für Temperatur und Geschwindigkeit der Raumluft laut §28 AStV“.....	25
Tabelle 2:	„Dämmstoffe im Überblick (vgl. Deplazes, 2013, S.146f)“ .....	54
Tabelle 3:	„Begriffserklärung Recycling“.....	55
Tabelle 4:	„Mittlere Lebensdauer von Bauelementen (vgl. König et al., 2009, S.28)“.....	61
Tabelle 5:	„Auflistung der Kostengruppen für eine Lebenszykluskostenrechnung (vgl. ÖNORM B1801-1: 2009, S.15-22 und ÖNORM B1801-2: 2011, S.8-10)“.....	64f
Tabelle 6:	„Energieertrag von thermischen Kollektoren von April bis September in Prozent bei verschiedenen Neigungen (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016, S.298)“ .....	69
Tabelle 7:	„Energieertrag von thermischen Kollektoren von Oktober bis März in Prozent bei verschiedenen Neigungen (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016, S.298)“ .....	69
Tabelle 8:	„Energieertrag von Photovoltaik-Anlagen in Prozent bei verschiedenen Neigungen (vgl. Herzog/Krippner/Lang, 2016, S.301)“.....	70