

# **Beispiele aus der Bionik für effizientes Bauen**

---

**Eine Veranschaulichung, wie Phänomene aus der Natur in die Technik übertragen werden können um ein möglichst effizientes und nachhaltiges Haus zu entwickeln.**

**Breitenfurt, 14.06.2017**

BetreuerIn: Helga Lichtenegger (BOKU)  
Ille C. Gebeshuber (TU)

von Elisabeth Einhorn, 1326183

## Zusammenfassung

Die Natur wurde schon immer als Vorbild für die Umsetzung von technischen Meisterleistungen verwendet. Darunter wird allgemein der Begriff Bionik verstanden. Bereits Leonardo da Vinci versuchte mit ausgeklügelten Maschinen und Zeichnungen den Vogelflug nachzuahmen. Besonders im Bau- und Architekturbereich sind stetig neuere und bessere Konzepte gefragt, die nachhaltiger, energetisch effizienter und trotzdem für die menschlichen Bedürfnisse optimal abgestimmt sind. Es gibt unterschiedliche Ansätze ein Haus so zu konstruieren, dass es eine optimale Klimaregulierung hat, um den Anforderungen im Winter wie auch im Sommer gerecht zu werden. Die vorliegende Bachelorarbeit soll einen Überblick geben, welche Phänomene aus der Natur architektonisch übernommen werden können um diese in Teilbereichen in einem Haus einzusetzen. Themenschwerpunkte sind beispielsweise die Temperaturregulierung, die Energieversorgung sowie Materialien und Strukturen des Gebäudes.

**Schlagwörter:** Baubionik, Nachhaltigkeit, Energieeffizienz

## Summary

For a long time nature has been used as a model for the implementation of technical inventions. Already Leonardo da Vinci tried to imitate the flight of birds with machines and drawings. This implementation of inventions from nature into technical fields of application is generally understood as bionics. Particularly in the construction and architectural sector, more recent and better concepts are required, which are more sustainable, energetically more efficient and optimally adapted to human needs. There are many approaches such as a house for example to be built so that it has an optimal climate regulation to meet the requirements in winter as well as in the summer. The present Bachelor thesis is intended to give an overview of the phenomena that can be transferred from nature to architecture and architecture in order to use these in a building in some areas. The main focus is on temperature control, the energy supply and materials and structures of the building.

**Keywords:** Biomimetics, Architecture, Energy, Sustainability

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>2. MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>4</b>
<b>3. ERGEBNISSE .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. GESCHICHTE UND ENTWICKLUNGSVERLAUF DER BIONIK .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2. KLIMATISCHE VORAUSSETZUNGEN FÜR EFFIZIENTES BAUEN .....</b>	<b>6</b>
3.2.1. PRAKTISCHE KLIMATISCHE REGULIERUNGSSYSTEME AM BEISPIEL DER TERMITEN .....	8
3.2.2. BEISPIELE FÜR DIE GEBÄUDEHÜLLE IM DETAIL .....	12
3.2.3. FARBE ALS TEMPERATURREGELUNGSMECHANISMUS .....	14
3.2.4. MÖGLICHKEITEN ZUR WASSERGEWINNUNG .....	15
<b>3.3. ENERGIEGEWINNUNGSSYSTEME .....</b>	<b>15</b>
3.3.1. DIE SONNE ALS ENERGIEQUELLE .....	16
3.3.2. INNENBELEUCHTUNG UND NATÜRLICHE LICHTREGULIERUNGSSYSTEME .....	17
3.3.3. BIOLUMINESZENZ – KÜNSTLICHE LICHTERZEUGUNG AUS DER NATUR .....	18
<b>3.4. MULTIFUNKTIONALE GEBÄUDEHÜLLEN .....</b>	<b>19</b>
3.4.1. STRUKTUREN UND GEOMETRIE IN DER NATUR .....	19
3.4.2. BEISPIELE AUS DER NATUR FASSADENKONZEPTE .....	20
3.4.3. DECKENKONZEPTE .....	22
<b>3.5. MATERIALIEN UND VERBUNDSTOFFE .....</b>	<b>25</b>
3.5.1. SELBSTHEILUNG .....	25
3.5.2. KLEBE- UND VERBUNDSTOFFE .....	26
<b>4. DISKUSSION .....</b>	<b>27</b>
<b>5. FAZIT .....</b>	<b>29</b>
<b>6. LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>30</b>
<b>7. INTERVIEWVERZEICHNIS .....</b>	<b>31</b>
<b>8. ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>31</b>
<b>9. TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>32</b>
<b>10. ANHANG .....</b>	<b>32</b>

# 1. EINLEITUNG

Bionik ist ein vielschichtiger Begriff der sich aus dem Wort „Biologie“ und „Technik“ zusammensetzt und verdeutlicht, welche biologischen Systeme aus der Natur in die Technik übertragen werden können. Dieses interdisziplinäre Forschungsfeld begeistert Naturwissenschaftler, Ingenieure, Architekten, Philosophen und Designer.

Im Rahmen dieser Tätigkeitsfelder wird stetig an Verbesserungen und Weiterentwicklungen gearbeitet. Beispielsweise robuste Materialien, energetisch effiziente Systeme, durchdachte Informations- und Kommunikationsmechanismen oder auch Mobilitätstechniken. Diese sind in den verschiedensten Bereichen rund um den Menschen anzutreffen und es ist eine stetige Verbesserung notwendig (Brück und Kuhn, 2008, S. 6). Entsprechend dieser Vielfalt von Themengebieten gibt es auch zahlreiche Unterdisziplinen, die in diversen bionischen Anwendungen anzutreffen sind. Bereiche wie Prothetik und Robotik bzw. im weiteren Sinn dann Sensorbionik und Neurobionik sind hierbei vertreten. Ein Anwendungsbeispiel wäre hier die Daten- und Informationsverarbeitung. Ein weiterer großer Zweig innerhalb der Bionik ist die Kinematik, welche sich mit sämtlichen Bewegungsabläufen befasst. Diese finden besonders im Mobilitäts- und Fortbewegungssektor wie zum Beispiel der Luftfahrt oder auch im KFZ Bereich Anwendung. Themen die global gesehen ebenfalls eine große Bedeutung haben sind im Bereich Klima und Energie zu finden.

Einen großen Stellenwert beim Übertragen von Phänomenen aus der Natur in die Technik nimmt die Baubionik ein - in der viele dieser Unterdisziplinen einen gemeinsamen Anwendungsbereich finden. Tabelle 1 zeigt einen Überblick zu den einzelnen Bereichen aus der Bionik.

Tabelle 1: Anwendungsbereiche der Bionik (Becker und Braun, 2001, S. 97)

Konstruktionsbionik	Verfahrensbionik	Informationsbionik
<ul style="list-style-type: none"><li>• Materialbionik</li><li>• Werkstoffbionik</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Klima- und Energiebionik</li><li>• Baubionik</li><li>• Bionische Architektur<ul style="list-style-type: none"><li>• optimale Materialnutzung</li><li>• Leichtbau</li><li>• Transportnetze</li></ul></li><li>• Sensorbionik</li><li>• Bionische Kinematik u. Dynamik</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Neurobionik</li><li>• Evolutionsbionik</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Bionische Prothetik</li><li>• Bionische Robotik</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Prozessbionik</li><li>• Organisationsbionik</li></ul>

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich intensiv mit dem Thema Baubionik und gliedert sich dabei in verschiedene Abschnitte. Zu Beginn soll der geschichtliche Hintergrund der Bionik einen kleinen Überblick über die Entstehung der wissenschaftlichen Disziplin geben. An-

schließlich werden Beispiele aus der Natur aufgezeigt, die es ermöglichen ein Haus umweltfreundlicher, effizienter und nachhaltiger zu bauen und trotzdem den Ansprüchen des Menschen gerecht zu werden. Hierbei wird speziell auf Einfamilienhäuser näher eingegangen – Hochhäuser oder Bürogebäude werden nicht näher erläutert. Die Arbeit teilt sich in mehrere Hauptbereiche. Zunächst wird der Zusammenhang zwischen dem Klima und den dadurch notwendigen Temperaturregulierungsmaßnahmen näher erläutert. Im zweiten Abschnitt konzentriert sich die Arbeit dann auf mögliche Energiegewinnungsmethoden und Möglichkeiten zur effizienten Nutzung. Darauf folgend wird näher auf Konstruktionsmechanismen in Decken und Gebäudefassaden eingegangen. Schlussendlich wird anhand eines selber erstellten architektonischen Modells und einem Interview mit einem Fachexperten diskutiert, welche Möglichkeiten und Anwendungen es gibt um ein Haus, von der Natur inspiriert, effizienter zu konstruieren.

Dies führt zu folgender Forschungsfrage: Welche Phänomene aus der Natur können in die Architektur übertragen werden, um ein möglichst effizientes und nachhaltiges Haus zu entwickeln?

## **2. MATERIAL UND METHODEN**

Die vorliegende Arbeit wurde mithilfe reiner Literaturrecherche verfasst. Ausgehend vom Schneeballsystem wurde zunächst eine Übersicht von den Themenbereichen erstellt und im Boku Lit Search passende Literatur dazu gesucht. Verwendet wurden einerseits Bücher bzw. E-books aus der Bibliothek aber auch wissenschaftliche Artikel aus dem Internet. Es wurde besonders auf die Vertrauenswürdigkeit und Richtigkeit der verwendeten Quellen geachtet. Für die Artikel wurden besonders Datenbanken wie Web of Science verwendet. Zusätzlich zur Literaturrecherche wurde ein Interview mit Dr. Petra Gruber geführt. Dieses soll die Arbeit insofern ergänzen, dass etwaige aufkommende Fragen beantwortet werden.

## **3. ERGEBNISSE**

### **3.1. Geschichte und Entwicklungsverlauf der Bionik**

In der Geschichte gilt Leonardo da Vinci als Wegbereiter für die Verbindung zwischen Biologie und Technik und konnte seiner Zeit weit voraus revolutionäre Entdeckungen und Beobachtungen aufzeichnen (Croxford et al., 2017, S. 694). Das wohl bekannteste Beispiel, welches in Abb. 1 dargestellt ist, hat er in seinem Werk „Sul volo degli uccelli“ (über den Vogelflug) im Jahr 1505 verewigt. Seine Absicht bestand darin mithilfe einer genauen Beobachtung den Vogelflug zu analysieren und die Erkenntnisse und Bewegungsabläufe in eine Maschine zu übertragen (Barthlott et al., 2005, S. 32).

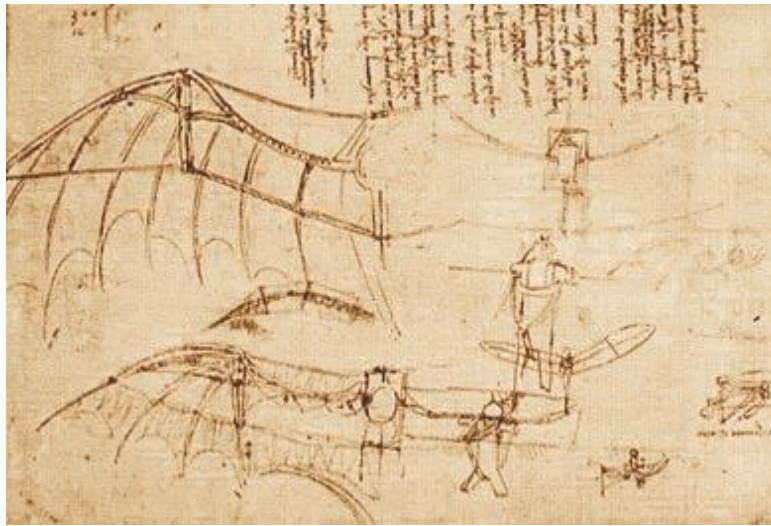


Abbildung 1: Zeichnung aus Leonardo da Vincis Werk "über den Vogelflug" (N.N., s.a.)

Das Wort Bionik lässt sich auf den amerikanischen Luftwaffenmajor J.E. Steele zurückführen welcher folgende Definition veröffentlichte: „Die Bionik entwickelt Systeme, deren Funktion natürlichen Systemen nachgebildet ist, die natürlichen Systeme in charakteristischen Eigenschaften gleichen oder ihnen analog sind“ (Barthlott et al., 2005, S. 32). 1960 berief Steele eine Tagung ein, welche zum Ziel hatte das Radar mithilfe des natürlichen Sonars der Fledermäuse zu verbessern. Eine direkte Verbesserung war damals nicht zu verzeichnen aber es änderte sich die Sichtweise rund um die Erforschung einzelner Themengebiete in der Biologie (Nachtigall, 1997, S. 54).

Viele weitere Bionik Pioniere haben in der Neuzeit die Weiterentwicklung der Wissenschaft sowie die Betrachtung und Erforschung der Natur geprägt. Unter anderem sind an dieser Stelle noch Personen wie Michael Kelly oder George Michael Mistral zu erwähnen. Kelly meldete im Jahr 1868, nach der Beobachtung dass Weidetiere niemals dornige Hecken durchdringen und diese deshalb als Abzäunung in Nordamerika verwendet werden, ein Patent für den Stacheldraht an (Barthlott et al., 2005, S. 8). Mistral untersuchte nach einem Hundespaziergang die widerspenstigen Kletten im Fell des Tieres unter dem Mikroskop und erkannte die vielen Widerhaken der Pflanze. Aufgrund dieser Erkenntnis konnte er 1951 dann den Klettverschluss als Patent anmelden (Nachtigall und Wissner, 2013, S. 46).

Prinzipiell geht es bei der Bionik nicht darum ein Phänomen aus der Natur 1:1 zu kopieren. Dies ist oft wegen der verschiedenen Größenverhältnisse nicht möglich. Francé versuchte in seinen veröffentlichten Werken unter anderem ein rotierendes U-Boot nach dem Vorbild der Schraubenfortbewegung einer Grünalge zu bauen. Dies ist aber auch durch die unterschiedliche physikalische Voraussetzung zwischen dem Mikrometer und Meter-Bereich überhaupt nicht möglich (Nachtigall und Wissner, 2013, S. 14). Vielmehr geht es in der Bionik darum, Strukturen oder Prozesse aus der Natur abzuschauen und diese mit den zur Verfügung stehenden Mitteln zur Weiterentwicklung von Systemen in der Technik passend umzusetzen (Brück und Kuhn, 2008, S. 6).

Besonders in der Baubionik wurde dieses „Abschauen aus der Natur“ schon immer intuitiv genutzt. Seit dem der Mensch sesshaft geworden ist hat er viele Funktionen und Abläufe ohne es richtig zu definieren aus der Natur übernommen. Sei es die Speicherung des Wassers mithilfe von Terrassenfeldern oder aber die natürliche Klimatisierung oder Beheizung von Wohngebäuden – abgestimmt auf die jeweiligen klimatischen Gegebenheiten in den unterschiedlichsten Weltregionen und die dadurch resultierenden verschiedenen Temperaturen (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 19).

Verschiedenste Materialien wurden von jeher dazu entwickelt um Häuser und Unterkünfte für diverse Ansprüche zu bauen (Bruckner et al., 2011, S.128). Ein Beispiel, wie in Abb. 3 zu sehen, ist hier die Kathedrale Sagrada Familia in Barcelona von dem spanischen Architekten Antoni Gaudi i Cornet. Die Kirche hat mehrere filigrane Glockentürme die von ihrer Konstruktion und Geometrie der Anatomie der Strahlentierchen aus Abb. 2 ähneln welche Milliardenfach in jedem Gewässer vorzufinden sind. Ohne je von der Existenz dieser Lebewesen gewusst zu haben, schuf der Architekt eine perfekte Konstruktur die das optimale Verhältnis zwischen Material, Statik und Belastung aufweist (Becker und Braun, 2001, S. 88).

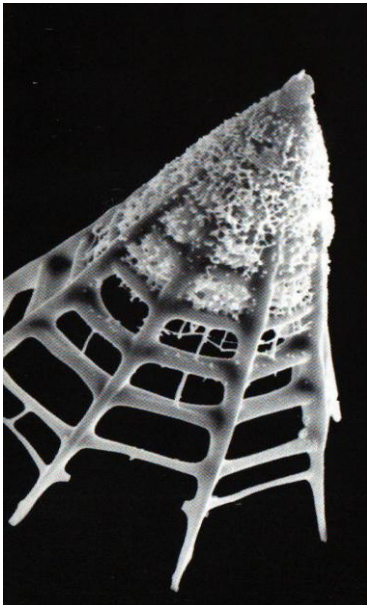


Abbildung 2: Radiolie (Becker und Braun, 2001, S. 88)



Abbildung 3: Sagrada de Familia (Küppers, 2016, S. 2)

### 3.2. Klimatische Voraussetzungen für effizientes Bauen

In vielen Häusern wird grundsätzlich eine ähnliche Form der Isolierung und Klimaregulierung angewandt. Besonders in traditionellen Bauten, wo noch keine Gebäudetechnik integriert ist, muss die Architektur auf die unterschiedlichen klimatischen Gegebenheiten abgestimmt sein. Deshalb wurden für die verschiedenen Klimaregionen auch unterschiedliche Konzepte und Formen entwickelt, um mithilfe von verschiedenen Strategien wie Beschattung, Durchlüftung, Wärmedämmung oder Nutzung von Speichermasse, eine möglichst behagliche Raumtemperatur für den Menschen zu schaffen (Bauer et al., 2011, S. 68).

Besonders relevant für die Berechnung von Gebäuden sind dabei vier wichtige regionale Parameter: Temperatur, Sonneneinstrahlung, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit. Durch diese und die Analyse der Monats und Tagesverläufe, ist es möglich eine ausgereifte Strategie für die Gebäudeklimatik zu entwickeln. In Abb. 4 ist dieses Zusammenspiel und die Auswirkung der einzelnen Faktoren veranschaulicht. Durch die unterschiedlichen Anforderungen sind ebenfalls auch differente Raumkonditionierungsmaßnahmen sinnvoll welchen schlussendlich einen „optimalen Raumkomfortbereich“ ergeben. Dieser wird hier in der Mitte des Diagramms als Trapezform dargestellt. Heutzutage muss zusätzlich zu den verschiedenen Standortansprüchen auch noch zwischen Stadt- und Landklimatik unterschieden werden. Durch die dichte Verbauung und die dadurch resultierende erhöhte Frequentierung von

Verkehr, Industrie und Personen in den Städten entsteht ein Klima, welches sich deutlich von jenem im Umland unterscheiden kann (Bauer et al., 2011, S. 70).

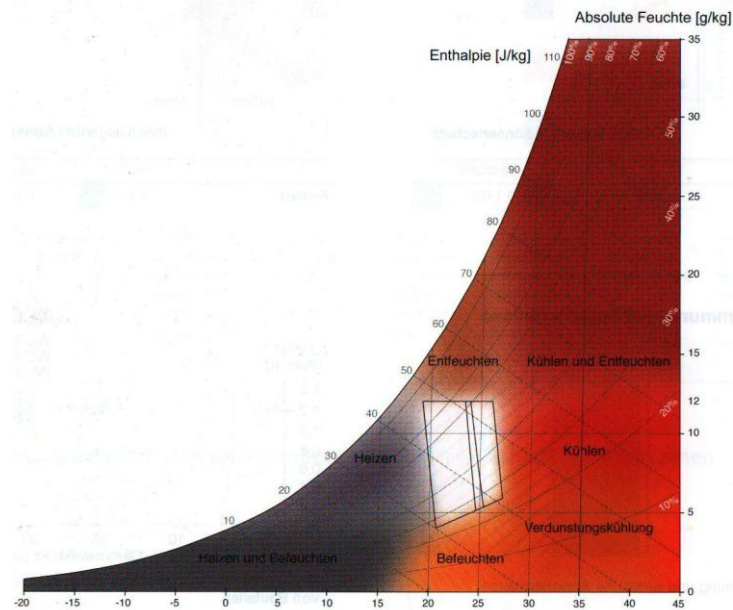


Abbildung 4: Diagramm welches die unterschiedlichen notwendigen Raumkonditioniersmaßnahmen darstellt (Bauer et al., 2011, S. 82)

Entsprechend dem dargestellten Diagramm in Abb. 4 lässt sich erkennen, dass es bei einer Raumtemperatur unter 19° zu kalt ist und eine zusätzliche Wärmezufuhr notwendig ist. Im Gegenteil dazu müssen verschiedene Kühlsysteme eingeleitet werden wenn die Temperatur einen Grenzwert von 26° erreicht. Bei dem Luftfeuchtegehalt gilt unterhalb von 4g/kg die Luft als zu trocken und oberhalb von 12g/kg als zu feucht. In vielen Regionen ergibt sich oft das Problem, dass sowohl eine heiße als auch eine sehr feuchte Außentemperatur herrscht. Hier wird dann häufig eine konventionelle Klimaanlage eingesetzt (Bauer et al., 2011, S. 82).

Um die Klimaregulierung in Gebäuden weiterzuentwickeln und möglicherweise bionische Maßnahmen und Elemente zu integrieren, ist es notwendig die vorgegebenen Bedingungen des Standortes zu analysieren und die Struktur des Gebäudes möglichst darauf abzustimmen. Ein wichtiger Aspekt ist hier die Wechselwirkung zwischen effizienter Klimaregulierung und nachhaltiger Energiegewinnung, denn es ist möglich überschüssige Wärme zwischen dem einen oder dem anderen Teilbereich des Hauses hin und herzuleiten. Um ein möglichst effizientes Gesamtergebnis zu erzielen ist es notwendig beide Aspekte zu berücksichtigen und strukturiert zusammenzufügen. Auf den Energiebereich wird im Detail in einem späteren Kapitel eingegangen (Bauer et al., 2011, S. 88).

Die verschiedenen Weltregionen sind durch unterschiedliche klimatische Bedingungen charakterisiert. So herrscht in den Tropen eine sehr hohe Luftfeuchtigkeit gepaart mit intensiven Niederschlägen, was bedeutet das Gebäude dementsprechend gekühlt und entfeuchtet werden müssen. Die kontinental kühlgemäßigte Zone hingegen ist durch eine jahreszeitliche Temperaturschwankung geprägt welche zu kalten Wintern und heißen Sommern führt. Speziell für den Einsatz von Photovoltaikanlagen sind Wüsten in Meeresnähe besonders relevant, da meist nur hier eine Zivilisation vorhanden ist. Das Meer schafft hier einen Ausgleich zu den sonst sehr heißen und trockenen Wüstengebieten (Bauer et al., 2011, S. 90).



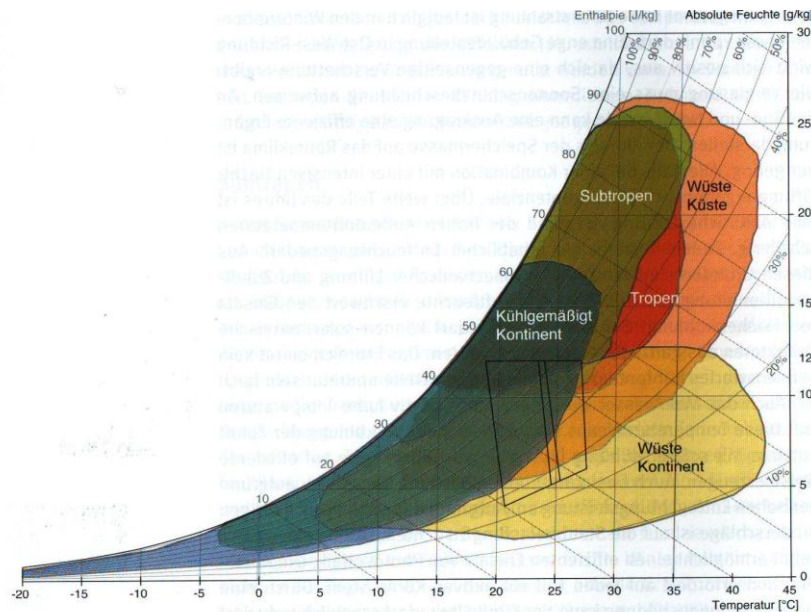


Abbildung 5: Darstellung der Konsequenzen des Klimas auf die notwendige Bauklimatik (Bauer et al., 2011, 92)

Die Kombination der verschiedenen Klimazonen wird in Abb. 5 veranschaulicht. Hier ist wie bereits im Abb. 4 zu erkennen, dass es einen optimalen, trapezförmig dargestellten, Bereich gibt der für ein angenehmes Raumklima perfekte Voraussetzungen darstellt. Dieser Bereich ist in den verschiedenen Regionen anzutreffen, je nach Standort in einer unterschiedlichen Ausprägung (Bauer et al., 2011, S. 92).

Als Überleitung im Hinblick auf Anwendungsbereiche in der Bionik kann als Beispiel die Tundragans vorgestellt werden. Bisher wurde gezeigt, dass die Gebäude zwar immer auf den jeweiligen klimatischen Standort abgestimmt werden müssen, in sich aber dann rundum sehr ähnlich gebaut und isoliert bzw. beheizt werden. Im Tierreich ist dies oft nicht der Fall was an dem Beispiel des Vogels ersichtlich ist. Die Gans trägt am ganzen Körper etwa 25.000 Federn wobei sich aber 20.000 davon im Nacken und Kopfbereich befinden. Hier befinden sich die wichtigsten Leitungs- und Kontrollzentren des Nervensystems welche vor den arktischen Winden, die in den Heimatregionen der Tundra- Gans vorherrschend sind, geschützt werden müssen. Somit sind die unterschiedlichen Körperregionen auch unterschiedlich an die Herausforderungen angepasst (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 47).

### 3.2.1. Praktische klimatische Regulierungssysteme am Beispiel der Termiten

Speziell für den Bereich der Baubionik kann der Termitenbau als Beispiel aufgezeigt werden. Die Termitenbauten werden aus einem sehr harten porösen Material gebaut wodurch eine komplett geschlossene Hülle entsteht die trotzdem gasdurchlässig ist. Hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit konnte mit Sicherheit kein Wert festgestellt werden, aber anzunehmen ist dass diese eher sehr gering ist (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 47).

Termiten haben ein hochkomplexes Sozialleben bei denen im Gegensatz zu den nichtverwandten Ameisen beide Teile der Geschlechter bei den Arbeitern und einem Königspaar vertreten ist. Außerdem besitzen sie ein genetisches, diploides System was bei den meisten Tieren und bei dem Menschen vorkommt. Durch ihre soziale und ausgereifte Lebensweise besie-

deln sie sehr erfolgreich viele Lebensräume. Besonders in den Tropen sind Termiten häufig anzutreffen. Dort gehören sie zu einer der wichtigsten Zersetzer für totes Pflanzenmaterial und sind deshalb im Ökosystem von großer Bedeutung. In einem Termitenbau können alleine bis zu 3 Millionen Individuen leben. Diese Nester werden aus einem Material gebaut, was häufig direkt vom Standort selber abhängig ist. Hier können sehr eindrucksvolle Strukturen entstehen die auch unterirdisch weiterlaufen. Ein Beispiel sind hügelartige Nester. Hier wird das Material von den Arbeitern mit speziellen Mundwerkzeugen und einem Speichelsekret so bearbeitet, dass viele kleine Einzelklumpen entstehen und nachfolgend zu einem Bau zusammengefügt wird welcher bis zu 8 m hoch sein kann. Je nach Standort und Bodenbeschaffenheit unterscheidet sich auch die Innenarchitektur des Nestes. Prinzipiell ist die äußerste Schicht eine feste Hülle um einen gewissen Schutz darzustellen. Bei manchen Nestern gibt es zusätzlich auch noch Schachttöffnungen, durch die ein Luftzug in den Termitenbau entsteht und somit eine optimale Ventilation erreicht wird. Diese Schächte sind aber niemals direkt mit dem Nest verbunden sondern immer durch dünne Wände voneinander getrennt. Somit wird verhindert, dass Eindringlinge durch die Schächte direkt in das Nest gelangen (Becker und Braun, 2001, S.126).

In Afrika und Asien gibt es spezielle Termitenarten die in ihren Nestern Hutpilze züchten. Nachdem die Termiten pflanzliches Material gefressen haben, wird der Primärkot dazu verwendet einen Pilz anzulegen. Dieser Pilz kann für die Termiten schwerverdauliche Stoffe wie zum Beispiel Zellulose, in leicht verdaulichere auspalten. Folgend können die Termiten direkt den Pilz essen und ihre Nahrung, die sonst durch das Pflanzliche Material sehr eintönig ist, zusätzlich mit Stickstoff anreichern. Der Hutpilz benötigt für ein gutes Wachstum allerdings eine hohe Luftfeuchtigkeit und Temperaturen von etwa 30°. Diese Temperatur kann durch die spezielle Nestarchitektur gezielt erreicht werden und schwankt in weiterer Folge im Jahreszeitlichen Verlauf kaum mehr. Primär wird dies vor allem durch die isolierende feste Hülle des Termitenbaus erreicht. Weiteres kommt die entstehende Wärmeenergie bei der Bewegung und Atmung der Termiten sowie durch den Metabolismus der Pilze zustande. Zusätzlich sorgt ein durchdachtes Luftzirkulierungssystem für konstante Bedingungen. Diese geschlossenen Termitenhügel besitzen viele kleinere Türme und Rippen unter denen sich nach einer dünnen Trennwand Luftschächte befinden. Diese enden im Keller des Termitenbaus zu einem gemeinsamen zentralen größeren Schacht. Dadurch kann die Luft innerhalb des Nestes frei zirkulieren. Bei Tag ist die Außentemperatur höher als innen, was dazu führt, dass Sauerstoffarme und CO<sub>2</sub> reiche Luft aufsteigt und die Kältere absinkt. So können in den oberen Teilen des Nestes durch Diffusion Gase ausgetauscht werden. Dieses kann über Außenröhren wieder in die Kellerräumen zu den Pilzen geleitet werden. In der Nacht hingegen sinkt die Außentemperatur, die warme Sauerstoffarme, CO<sub>2</sub> reiche Luft steigt nur bis zum zentralen Schacht auf und es kommt zu einem geringeren Gasaustausch an der Spitze. Dadurch können optimale Bedingungen für den Hutpilz geschaffen werden (Becker und Braun, 2001, S. 127). Andere Termitenbauten haben wiederum nach oben hin offene Schächte. Hier erwärmt sich tagsüber die Luft im Schacht, steigt auf und wird an die Umgebung abgegeben, was zur Folge hat, dass kühlere Luft aus den Kellern angesaugt wird und ebenfalls erwärmt werden kann (Nachtigall und Wissler, 2013, S. 50).

Eine andere Termitenart, welche in Australien beheimatet ist, hat sich auf ein anderes System zur Klimaregulierung innerhalb des Nestes spezialisiert. Die sogenannten Kompassermiten bauen keilförmige, etwa 2,5m große Hügel welche an den schmaleren Enden jeweils Richtung Norden und Süden ausgerichtet sind. In Abb. 6 wird eines dieser Nester veranschaulicht. Die beiden anderen Seiten, welche Richtung Osten und Westen schauen, sind wie im Bild ersichtlich um einiges breiter. Diese Termitenart unterscheidet sich von den bereits vorgestellten Verwandten aus Afrika und Asien. Sie ernähren sich ausschließlich von Gras und benötigen somit keinen Pilz. Zusätzlich besteht die Innenarchitektur aus relativ gleich großen Kammern

und es gibt keine unterirdischen Systeme. Durch die Nord-Süd Ausrichtung wird der Termitenbau tagsüber unterschiedlich intensiv von der Sonne bestrahlt und tageszeitliche Schwankungen der Temperatur werden ausgeglichen. Durch die breitere Ostseite kann das Nest bereits in der Früh erwärmt werden. Trotzdem überhitzt der Termitenbau nicht, da zu Mittag nur mehr die schmälere Süd beschiene wird (Becker und Braun, 2001, S. 128).



Abbildung 6: Kompassstermiten in Australien (Becker und Braun, 2001, S. 128)

In der Geschichte wurde oft das gleiche Prinzip wie bei den Termitennestern verwendet ohne direkt von dem System aus der Natur zu wissen. Die Römer entwickelten zur Klimaregulierung ihrer Häuser eine ähnliche Methode. Die Atrium Bauten, welche in dieser Zeit hauptsächlich verwendet wurden, bestanden aus einem freien, zentralen Innenhof mit Pflanzen- und Wasseranlagen von dem aus die umliegenden Räume zugänglich waren. Dadurch konnte eine leichte Belüftung der umliegenden Wohnräume erreicht werden. Dies wurde ohne jegliche Zufuhr an Energie bewerkstelligt. In der heutigen Zeit, kann in vielen Gebäuden ein angenehmes Raumklima nur durch zusätzliche Kühlung, Heizung und Be- oder Entfeuchtung erzielt werden, was eine sehr geringe Energie-Effizienz zur Folge hat. Abb. 7 zeigt ein Modell vom Be- und Entlüften eines Gebäudes welches nach dem Vorbild der Termiten erstellt wurde (Becker und Braun, 2001, S. 93).

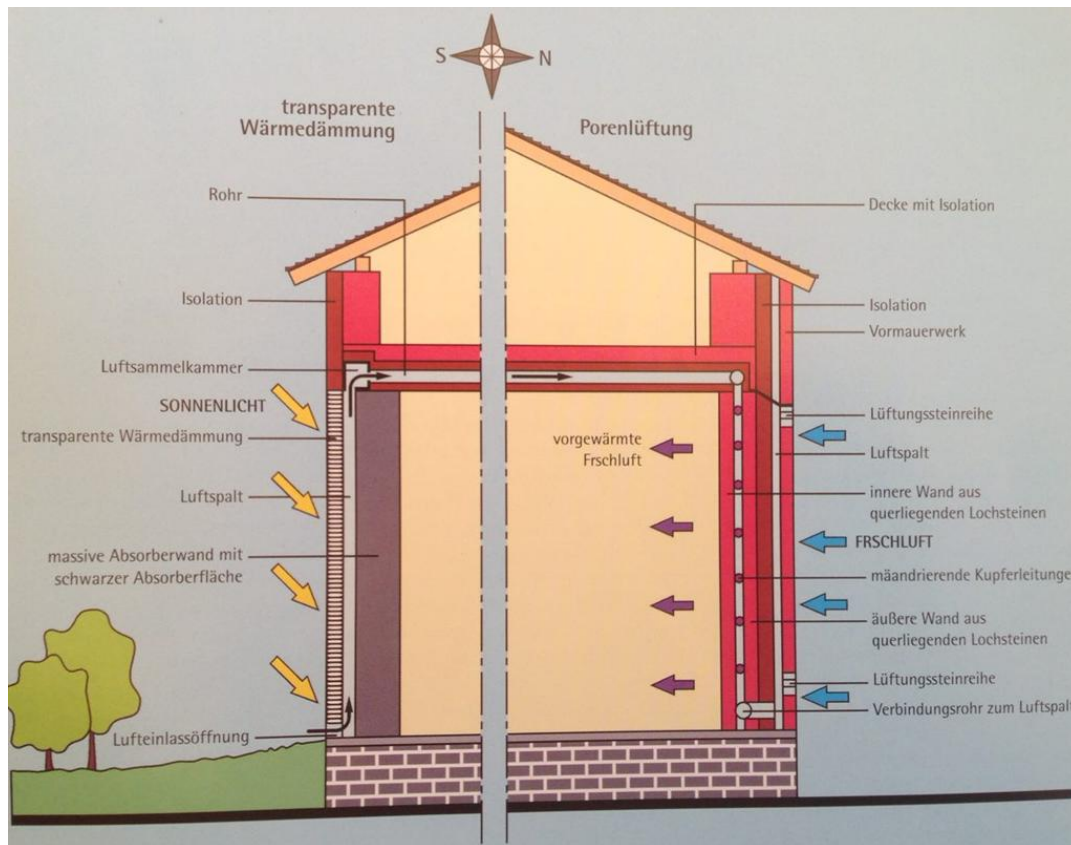


Abbildung 7: Be- und Entlüftung eines Hauses (Brück und Kuhn, 2008, S.183)

Nach dem heutigen Stand der Forschung ist die Lüftung in Gebäuden einer der wichtigsten Punkte was die Temperatur- und Energieregulierung in einem Haus betrifft. In Abb. 8 ist ersichtlich, welcher großen Einfluss dies im Gegensatz zu anderen Regulierungsmaßnahmen hat. In Leicester, England wurde ein Universitätsgebäude nach Vorbild der Termiten gebaut. Hier wurde auf dem Bauwerk ein zusätzlicher 13m hoher Turm errichtet, der den Schächten der Termitennester gleicht und die gleiche Aufgabe erfüllt. In Harare in Simbabwe konnte ebenfalls ein solches Haus konstruiert werden. Viele Luftschächte bilden ein zusammenhängendes System, wo doppelte Wände wie bei den Termiten mit einbezogen sind. 10% der Baukosten und fast 50 % der sonst monatlichen Stromkosten konnten durch diese Kreation eingespart werden (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 50). Bei zwei weiteren konstruierten Häusern handelt es sich um den Neubau des Amtes für Staatsausgaben in Nottingham, sowie der Entwurf für das neue Parlamentsgebäude in London. Alle nutzen dasselbe Prinzip des Luftaustausches durch Kamine zur Wärmeregulierung in den Gebäuden. Dabei wird, wie bereits in Abb. 7 dargestellt, Luft durch ein Netzwerk aus Schächten in das Haus geleitet. Dadurch entsteht eine Zirkulation, bei der stetig frische Luft aus der Umgebung angesaugt wird. Da der Luftaustausch zwischen den Schächten und dem Innenraum nur begrenzt ist, bleibt die Temperatur im Haus konstant (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 52).

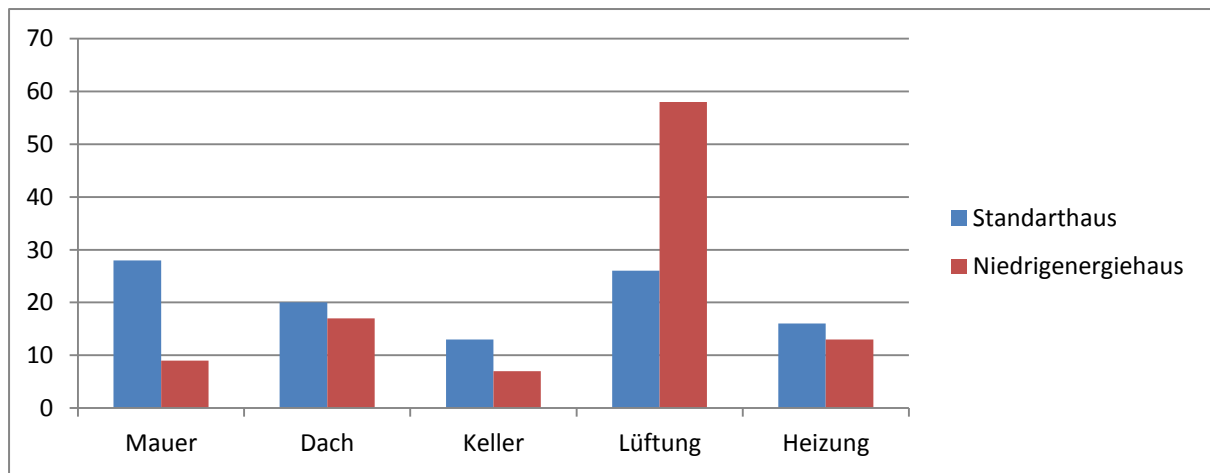


Abbildung 8: Energieverluste bei Häusern in den einzelnen Bereichen (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 50)

### 3.2.2. Beispiele für die Gebäudehülle im Detail

Abgesehen von der Temperaturregulierung durch eine gute Luftzirkulation, hat die Gebäudehülle ebenfalls einen wichtigen Stellenwert. Je besser diese Einheit als Schnittstelle zwischen dem Innen- und Aussenklima fungiert umso weniger Technik ist in späterer Folge zur Regulierung notwendig. Dabei ist besonderes in kälteren Klimazonen eine geeignete Isolierung notwendig um Wärmeverluste möglichst gering zu halten. Ein Beispiel zu einer möglichen Gebäudehülle für eine passende Isolierung findet sich auch hier in der Natur. Der Eisbär hat wie viele andere Tiere auch ein sehr dichtes Fell, welches für sich genommen schon eine sehr gute Isolationsschicht bildet. Trotzdem würde diese Funktion alleine in arktischen Klimaregionen zum Überleben nicht ausreichen. Deshalb weist das weiße Fell im Gegensatz zu anderen Tierarten eine andere Struktur auf. In der Mitte eines Haares befindet sich ein sogenannter Markzylinder welcher in Abb. 9 dargestellt wird. Dieser wirkt wie ein Lichtleiter und kann das einfallende Sonnenlicht streuen. Durch Lumineszenz kann das kurzwellige einfallende Licht in langwelliges Licht umgewandelt werden und Wärme entsteht. Diese kann durch mehrfache Reflexion in der zylindrischen Struktur bis zur Hautoberfläche gelangen wo sie schlussendlich absorbiert wird. Die Haut des Eisbären ist zusätzlich schwarz was den Effekt der Wärmeentwicklung noch verstärkt. In Abb. 10 ist zusätzlich ein Überblick zu dieser Funktionsweise abgebildet (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 42).

Dieses Prinzip findet auch in der Gebäudeisolierung einen möglichen Anwendungsbereich. Der Berliner und Physikochemiker H. Tribotsch entwickelte mit einer Arbeitsgruppe den Funktionsstoff TIM, abgekürzt für transparentes Isolationsmaterial. Dabei handelt es sich um lichtleitende Polymere mit einer speziellen Silikonbeschichtung. Das Prinzip funktioniert genauso wie beim Haar des Eisbären und ist zusätzlich transparent. Durch diese zusätzliche Schicht auf der Gebäudehülle kann mehr Wärme in das Innere des Hauses gelangen. TIM kann bereits seit einigen Jahren erfolgreich bei den verschiedensten Gebäuden eingesetzt werden (Nachtigall und Wisser, 2013, S. 128).



Abbildung 9: Markzylinder beim Eisbärhaar (Nachtigall und Pohl, 2003, S.42)

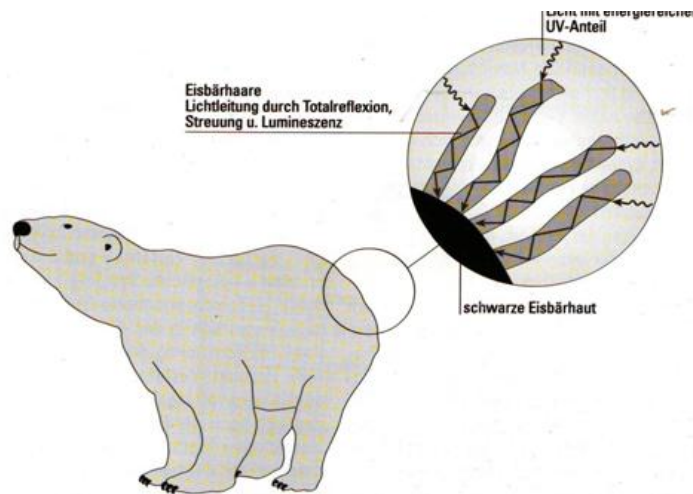


Abbildung 10: Prinzip der Lichtsammlung durch Eisbärhaare (Becker und Braun, 2001, S. 94)

Im Hinblick auf die Klimaregulierung kann Adobe als weiteres passendes Beispiel genannt werden. Dabei handelt es sich um ein Baumaterial, das aus einer Mischung aus Lehm und verschiedenen Fasern besteht. In der Natur verwenden einige Schwalbenarten dieses tonartige Gemisch zum Nestbau. Der Südamerikanische Töpfervogel gestaltet seine Nester ähnlich einem Backofen. Die Außenwände sind im Verhältnis zum Durchmesser des gesamten Bauwerks extrem dick, was dafür sorgt, dass im Inneren des Nestes immer eine konstant angenehme Temperatur herrscht. Tagsüber wärmt die Sonne die Wände zwar auf, trotzdem gelangt nicht viel davon ins Innere. Wenn es in der Nacht dann sehr kalt wird, kann die gespeicherte Wärme von den Wänden dann abgegeben werden und der Kreislauf beginnt von neuem. Dieses Prinzip hat sich bereits vor rund 8500 Jahren die damalige Bevölkerung von Mesopotamien abgeschaut. Sie errichteten ebenfalls wie der Töpfervogel, Gebäude mit spitzen Dächern und sehr dicken Wänden aus demselben Material. Zusätzlich zu der Klimaregulierung kann die Gebäudehülle, die von innen produzierte Feuchtigkeit aufnehmen und nach außen abgeben. Moderne Versuche im Vergleich zwischen Lehm und Betonbauten in Ägypten zeigten ebenfalls, dass sich Lehmbauten für die Klimaregulierung viel besser eignen. Hier muss jedoch zusätzlich beachtet werden, dass derartige Bauten besonders nur für niederschlagsarme Regionen relevant sind, da Lehm in der Kombination mit Wasser sehr instabil werden kann (Brück und Kuhn, 2008, S. 176).

### 3.2.3. Farbe als Temperaturregelungsmechanismus

Auf den Fidschi Inseln gibt es eine Leguanart die je nach Sonneneinstrahlung und Intensität die Farbe ihrer Haut ändert. So kann bei einer hohen Temperatur eine hellere Farbe angenommen werden, welche wiederum mehr Sonnenenergie reflektiert. Umgekehrt verfärbt sich die Haut des Leguans bei einer niedrigeren Temperatur dunkler, absorbiert die Strahlungsenergie und erwärmt sich. In Skandinavien wird bereits ein vergleichbares Prinzip aus der Natur übernommen. Die Häuser werden bunt bemalt und sorgen so für das typische Landschaftsbild. Wird die Farbauswahl im ganzen Land betrachtet ergibt sich, dass im wärmeren Süden vorzugsweise hellere Farben verwendet werden als im Norden (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 88).

An der Universität in Melbourne, Australien, haben Studenten in einem Workshop die Farb Anpassungsfähigkeit von Insekten erforscht. Als Beispiel kann hier der Herkules- oder Rhinozeroskäfer herangezogen werden. Bereits zuvor konnte von einer belgischen Universität der Aufbau des Chitinpanzers untersucht werden. Dabei stellten die Wissenschaftler fest, dass der Käfer in der Lage ist seinen Panzer, welcher gewöhnlich eine braun-grüne Färbung aufweist, bei über 80% Luftfeuchtigkeit nur mehr schwarz erscheint. Spezielle Strukturen unterhalb der Wachshülle ergeben ein Fasergeflecht, welches Licht bei Trockenheit reflektiert. Diese Funktionsweise wurde ebenfalls von dem Austrian Institute of Technologie in dem Projekt Bioskin festgehalten. Sowohl die Universität aus Melbourne als auch das Österreichische Institut konnten ähnliche Ergebnisse vorweisen und kamen zu dem Schluss dieses Phänomen auf Gebäudefassaden zu übertragen. Durch unterschiedlich starke Absorption und Reflexion an den Außenwänden eines Hauses können verschiedene Farben und Helligkeitsgrade erzeugt werden. Durch die unterschiedlichen Einfallswinkel der Sonnenstrahlen, abhängig von Tages- und Jahreszeit muss auch diese Methode anpassungsfähig sein. So wird bei dunklerer Farbgebung der darunterliegende Innenraum deutlich stärker und schneller aufgeheizt als bei einer helleren Farbe (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 210).

Schmetterlinge versuchen dieses Prinzip anders umzusetzen. Werden die Flügel der Insekten unter dem Mikroskop betrachtet, ist erkennbar dass sich im Mikro- und Nanometerbereich lauter kleine Einzelschuppen aneinanderreihen. Diese Plättchen erzeugen eine Struktur wodurch eine Lichtinterferenz entsteht. Trifft weißes Sonnenlicht auf die die Oberseite des Flügels werden Teile davon reflektiert. Einige Lichtstrahlen gelangen jedoch auf die Unterseite wo sie gebrochen und abermals reflektiert werden. Sind zwei Lichtstrahlen nun parallel zueinander kommt es zu einer partiellen Farbauslöschung und eine Restfarbe entsteht die dann sichtbar ist. Der Schmetterling besitzt demnach keine Farbpigmente sondern eine Struktur welche die Farbe der Flügel bestimmt. Wie diese Restfarbe am Ende erscheint ist von dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen abhängig. Im Falle dieses Insekts werden die Farben vorrangig für Paarungszwecke, als Abschreckung oder als Warnsignale verwendet. Zusätzlich dienen die verschiedenen Farben dem Schmetterling auch als Thermoregulation. Da für das Funktionieren des Bewegungsapparates eine Innentemperatur von etwa 40° notwendig ist, werden die Flügeloberflächen so zur Sonne gehalten, dass die Strahlen optimal reflektiert werden. In der Architektur kann dieses Prinzip mit optimierten Mikroelementen auf Gebäudefassaden angewendet werden. Diese erscheinen dann ein einer bestimmten Farbe und können je nach Lichtintensität und momentanen Sonnenstand eine unterschiedliche Wirkung erzielen. Eine Möglichkeit wäre nur Ultraviolette- oder Infrarotstrahlung herauszufiltern, was den Effekt hätte das Gebäude entweder zu kühlen oder zu erwärmen. Dadurch könnte ein wichtiger Punkt zur Energieeinsparung und thermischen Regulierung beigetragen werden (Nachtigall und Wisser, 2013, S. 130).

### **3.2.4. Möglichkeiten zur Wassergewinnung**

Besonders in niederschlagsarmen heißen Weltregionen stellt die Wasserversorgung immer wieder ein zentrales Problem dar. In der namibischen Wüste, welche durch hohe Trockenheit, starken Wind und wenig Niederschlag gekennzeichnet ist, kondensiert in der Nacht Wasserdampf welcher vom Atlantik kommt. Dieser Dampf enthält jedoch extrem kleine Tropfen von einen bis vier Mikrometer. Einer speziellen Art von Schwarzkäfern ist es gelungen dieses verfügbare Wasser bevor es wieder verdunstet zu nutzen. Dafür stellen sie ihren Körper nach hinten auf und halten die Oberfläche ihres Körpers, welche eine niedrigere Temperatur als die Umgebungsluft aufweist gegen den Wind. Dadurch kondensiert der Dampf auf dem Rücken des Käfers und wird anschließend in Form von flüssigem Wasser über eine spezielle Wachsschicht in den Mund geschoben. In Las Palmas konnte dieser Prozess von Architekten bereits künstlich nachgestellt werden. Durch den konstanten Wind vom Meer und genügend Sonnenschein können spezielle Netze den Umgebungsdampf in der Luft einfangen. Die Netze werden durch diesen Ablauf befeuchtet und erwärmt. Anschließend wird dieses Wasser in kalte Pipelines geleitet wo es dann kondensiert und dem Wasserrecyclingsprozess zugeführt wird (Wang et al., 2017, S. 773).

### **3.3. Energiegewinnungssysteme**

Der moderne Mensch wird mehr und mehr vor die Herausforderung gestellt Energiemethoden zu finden die herkömmliche fossile Energieträger wie Kohle, Öl oder Gas ersetzen. Es wird dabei mehr und mehr auf erneuerbare Energien wie Windkraft, Wasserkraft oder Photovoltaikanlagen gesetzt. Diese Entwicklung ist sehr langsam denn als im Jahr 2000 die Kohleverbrennung weniger wurde, stieg die Verwendung von Erdöl, Erdgas und Nuklearenergie drastisch an (Lotfabadi, 2015, S. 1340).

Wie in der Natur ist auch hier die Effizienz und richtige Nutzung der Energie von großer Bedeutung. Die Energie die jedem Lebewesen zur Verfügung steht ist begrenzt und es kann als Resultat nur ein bestimmtes Ergebnis erzielt werden. Es ist wichtig zu verstehen dass die Einsparung dieser gesamt verfügbaren Energie unbedingt als Ziel verfolgt werden muss. Um ein möglichst energieeffizientes Haus zu kreieren ist es notwendig ein optimales Mittelmaß zwischen passiven Strategien, effizienten Energiegewinnungsmethoden sowie technologisch gut entwickelten Materialien zu schaffen (Rodriguez et al., 2014, S. 25).

Im ersten Kapitel wurde die Klima und Temperatureffizienz in einem Haus behandelt. Im kommenden Kapitel soll deshalb gezeigt werden wie die Sonnenenergie nachhaltig genutzt werden kann. Prinzipiell wird von den meisten Lebewesen auf der Erde in direkter oder indirekter Weise die Sonnenenergie genutzt. Es gibt verschiedenste Methoden wie Lichtenergie für das Wachstum, die Reproduktion und das Leben in der Natur genutzt wird. Die Bedeutung liegt dabei auf den passiven Solar Design Strategien. Dies sind all jene Optimierungen in einem Haus mit dessen Hilfe es möglich ist den Energiekonsum von Heizen, Kühlen, Beleuchtung, ect. zu reduzieren (Stecanovic, 2013, S. 181). Die Sonne ist somit die einzige nachhaltige Energiequelle in der Natur. Sei es in direkter Weise dass die Strahlung genutzt wird oder auch indirekt indem über die Photosynthese von Pflanzen Stoffwechselprodukte produziert werden. Für den Menschen bedeutet das, dass die Sonne dementsprechend über unterschiedliche direkte und indirekte Einflüsse die einzige wahre Energiequelle ist. Dieses Prinzip wird in Abb. 11 deutlich veranschaulicht (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 87).



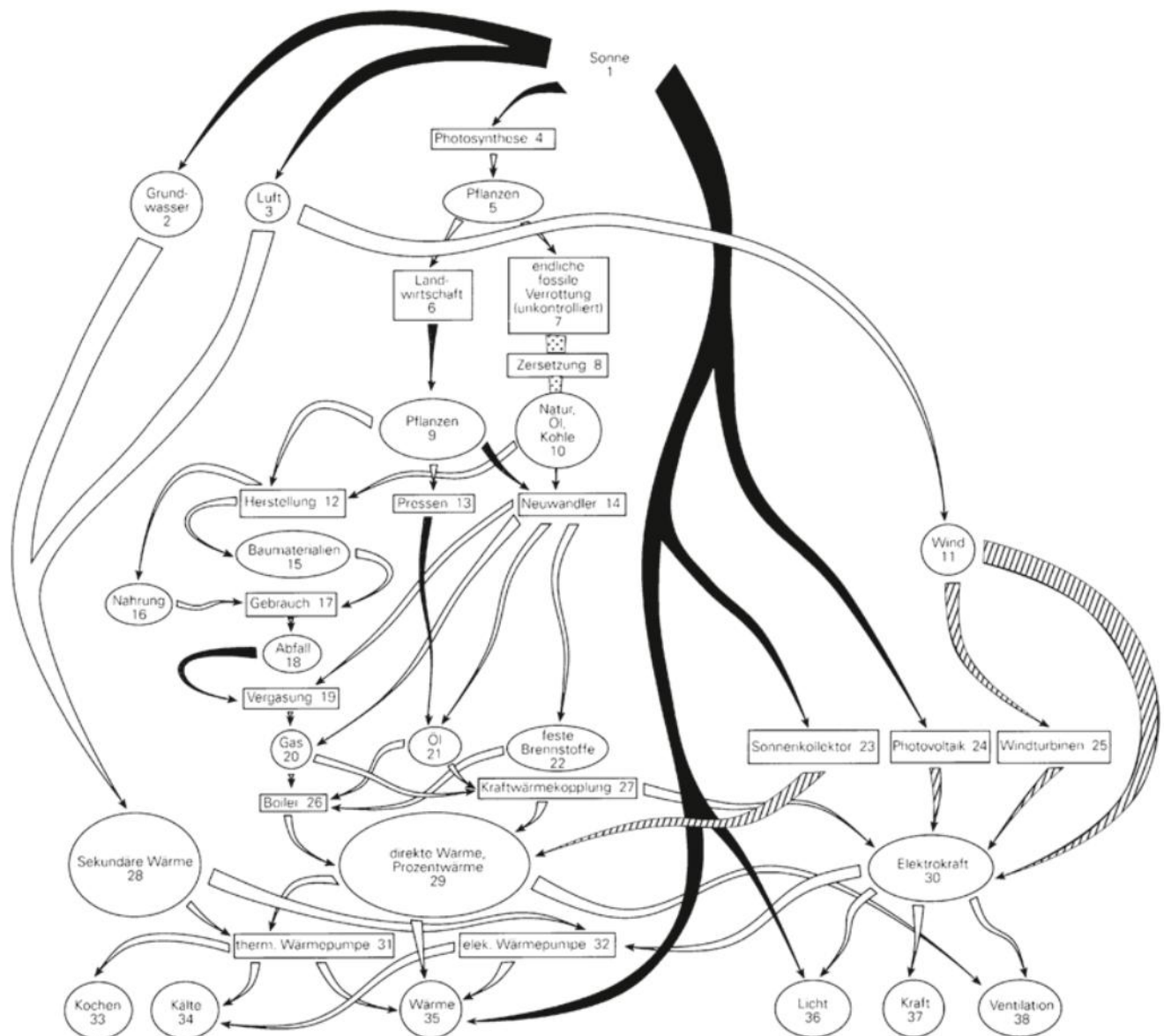


Abbildung 11: Darstellung der Energiegewinnung: Die Sonne ist, auf indirekten und direkten Wegen letztlich die einzige Energiequelle (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 88)

### 3.3.1. Die Sonne als Energiequelle

Werden alle Möglichkeiten betrachtet wie in der Natur Sonnenenergie genutzt wird, so erreicht die Photosynthese der Pflanzen einen sehr hohen Stellenwert. Dabei entsteht aus Kohlendioxid und Wasser, unter Einfluss von Sonnenenergie, Sauerstoff und Glucose, welche die Pflanze für das Wachstum benötigt. Der grüne Farbstoff Chlorophyll spielt dabei eine wichtige Rolle. Eine Möglichkeit für technische Anwendungen ergibt sich für Photovoltaikanlagen. Mithilfe von Farbstoffzellen könnte die Effizienz und Nachhaltigkeit der momentanen Technik gesteigert werden. Bereits seit den 90er Jahren wird diese Methode in der Wissenschaft untersucht, bisher ohne Ergebnisse. Die einzige Annäherungsweise ist die Grätzel Zelle von einem Schweizer Institut. In herkömmlichen Solarzellen wird mit Siliziumkristallen in Form von Halbleitern die einfallende Sonneneinstrahlung in die jeweilige elektronische Ladung aufgespalten und dadurch Energie erzeugt. Bei der farbstoffbasierten Zelle hingegen wird die Lichtabsorption durch eine monomolekulare Farbstoffschicht übernommen. Danach werden

die Elektronen ebenfalls in ihrer Ladung durch eine Halbleiterschicht getrennt (Nachtigall und Wisser, 2013, S. 55).

Durchschnittliche Photovoltaikanlagen erreichen derzeit etwa einen Wirkungsgrad von 20% und werden hauptsächlich mit Siliziumkristallen aufgebaut, was sehr komplex, teuer und energetisch ineffizient ist da sehr viel Energie für die Herstellung der Zellen benötigt wird. Ein weiteres Problem ist, dass nur ein Teil des auffallenden Lichtes genutzt werden kann da durch die Solarzelle nur ein bestimmter Bereich des Lichtspektrums überhaupt in Energie umgewandelt werden kann (Arif et al., 2017, S. 24). In Linz wird derzeit an künstlicher Photosynthese geforscht. Ziel ist es eine Solarzelle aus Plastik zu entwickeln, die gegen jegliche mechanische Schäden unempfindlich ist. Dabei ersetzen verschiedene Polymere die herkömmlichen Siliziumkristalle. Bisher wird ein Wirkungsgrad von etwa 3% erzielt was für die kommerzielle Verwendung noch zu gering ist. Trotzdem bietet diese Photovoltaikzelle viele Vorteile da durch die mechanische Beweglichkeit neue Anwendungsbereiche an Fassaden und Gebäuden genutzt werden können (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 100).

Am Max-Planck-Institut beschäftigt sich eine Forschergruppe ebenfalls mit der Nachstellung der Photosynthese. Die Forscher konzentrieren sich dabei auf den ersten Teilschritt des gesamten Prozesses: die Aufspaltung von Wasser in Wasserstoff- und Sauerstoffatome. In der Pflanze geschieht dies bei der Photosynthesereaktion durch einen Komplex aus Atomen der aus einem Kalzium- und vier Manganatomen besteht. Diese wiederum sind mit sich selber durch fünf weitere Sauerstoffatome verbunden. Durch die künstliche Spaltung von Wasser kann Wasserstoff erzeugt werden. Dieser kann dann in weiterer Folge als Brennstoff verwendet werden. Wenn der Photosyntheseprozess nachgestellt werden kann, so ersetzt dieser die herkömmliche Herstellung von Wasserstoff mithilfe von komplexen Verbrennungen von fossilen Brennstoffen welches als Nebenprodukt  $\text{CO}_2$  aufweist. Dies führt bei zu hohen Mengen in der Atmosphäre zum Treibhauseffekt (Arif et al., 2017, S. 24). In einem Potsdamer Institut konnte ein Katalysator entwickelt werden welcher den Photosyntheseprozess beschleunigt. Mithilfe von diesem, ist es möglich die Bindung zwischen Kohlenstoff und Sauerstoff im  $\text{CO}_2$  Molekül zu schwächen um diese in späterer Folge einfacher aufzuspalten (Brück und Kuhn, 2008, S. 160).

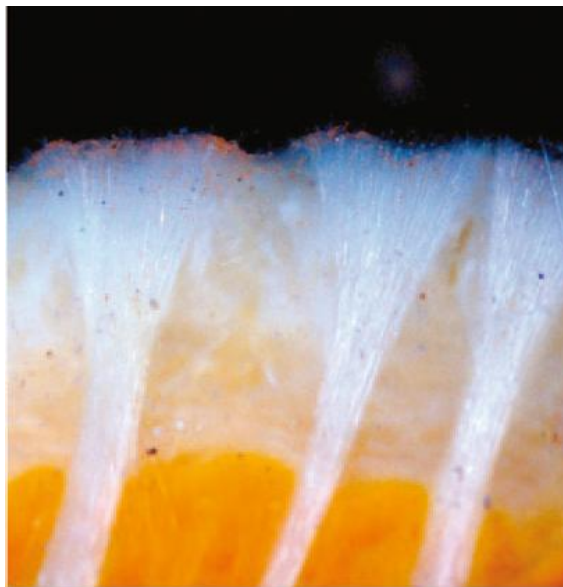
### **3.3.2. Innenbeleuchtung und natürliche Lichtregulierungssysteme**

Der Mensch wird durch das Licht in seiner Psyche bzw. dem Tagesrhythmus maßgeblich beeinflusst. Bis zu 90 % der Sinnesaufnahmen erfolgen über das Auge. Deswegen ist Licht bzw. die Beleuchtung, welche einen wichtigen Anteil der verwendeten Elektrizität widerspiegelt, ein besonders wichtiger Teilbereich in der Architektur. In der heutigen Zeit ist es möglich geworden 24 Stunden am Tag Zugang zu Licht zu erhalten und der Mensch ist somit nicht mehr nur auf die Sonne als Lichtquelle angewiesen (Bauer et al., 2011, S. 128).

Die bisher vorherrschenden Glühlampen werden mittlerweile teilweise von LED- und OLED Halbleiterlichtquellen ersetzt. Energetisch gesehen sind Glühlampen sehr ineffizient da ihre relativ geringe Lichtausbeute nicht den dafür hohen benötigten Strombedarf rechtfertigt (Bauer et al., 2011, S. 129). Um den Beleuchtungsbedarf aber schon in der Planung eines Gebäudes relativ gering zu halten ist es notwendig, dass gegebene Tageslicht möglichst effizient zu nützen. Möglichkeiten wie zum Beispiel große Fenster oder Verglasung einer kompletten Wand müssen aber von verschiedenen Gesichtspunkten her betrachtet werden, da größere Glasfläche gleichzeitig den Innenraum thermisch aufheizt. Auf Grund dessen muss hier ein

Gleichgewicht zwischen thermischer Belastung und optimaler Tageslichtversorgung gefunden werden (Wang et al., 2017, S. 782).

In der Natur sind fast alle Organismen ebenfalls vom Licht abhängig. Der Tagesrhythmus der Sonne beeinflusst maßgeblich den Stoffwechsel und das Wachstum von allen Lebewesen. Wenn Hydrobiologische Lebensräume betrachtet werden ist ersichtlich, dass die Lichtausbeute mit steigender Wassertiefe sehr schnell abnimmt. So sind Tiefseepflanzen und Tiere auf zusätzliche Mechanismen angewiesen um das Restlich möglichst effizient zu nutzen. Die Meerorange, eine Schwammart aus der Klasse der Hornkieselschwämme ist von seichten Stellen bis hin zu tiefen Gewässern überall vertreten. Der Schwamm, welcher in Abb. 12 dargestellt wird, ist in der Lage das restliche einfallende Licht auf seiner Oberfläche in das Innere weiterzuleiten. Trichterartig angeordnete Silikatfasern können das Umgebungslicht einsammeln, bündeln und für den Innenbereich des Schwammes verwenden. Am Austrian Institute of Technology wurde im Rahmen des Projektes Bioskin dieses Prinzip für die Tageslichtnutzung übernommen. Dabei werden an Gebäudefassaden mehrere Komponenten angebracht. Mithilfe von hochreflektierender Oberflächen und Linsen wird das Licht auf der Außenseite gesammelt und mithilfe von lichtleitenden Fasern weitergeleitet. Im Innenraum kann dann das



Licht durch ein spezielles textiles 3D Fasergewebe wieder abgegeben werden. Diese letzte Komponente, welche im Innenraum angebracht wird kann mehrere Funktionen erfüllen. Die faserartige Materialstruktur kann zusätzlich, neben der Lichtabgabe, als Schallabsorption und zur Wärmedämmung dienen (Brümmer et al., 2008, S. 63).

Abbildung 12: Meerorange im Schnitt (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 198)

### 3.3.3. Biolumineszenz – künstliche Lichterzeugung aus der Natur

Weitere hier aufgezeigte Beispiele aus der Natur lassen sich unter dem Begriff Biolumineszenz zusammenfassen. Dabei handelt es sich um künstlich erzeugtes Licht von Pflanzen und Tieren. Es gibt mehr als 30 verschiedene bekannte Systeme aus der Natur, wie zum Beispiel Glühwürmchen oder Quallen, wo Biolumineszenz anzutreffen ist (Du et al., 2016, S. 468).

Besonders in der Tiefsee gibt es sehr viele Tiere die über diese Fähigkeit, welche vorwiegend für die Kommunikation oder zur Anlockung von Beute verwendet wird, verfügen. Mithilfe des Enzyms Luciferase kann der Stoff Luciferin mit Sauerstoff reagieren. Dabei wird Energie in Form von Licht frei. Dieser Prozess ist aber nicht bei allen Biolumineszenz-fähigen Lebewesen zu finden (Kay und Welsh, 2005, S. 74). Unter anderem sind einige Arten von Dinoflagellaten, Einzeller die im Wasser leben, im Stande Biolumineszenz zu erzeugen. An bestimmten Küstengebieten spielen sie eine wichtige Rolle bei Algenblüten und sorgen dann in weiterer Folge für die Entstehung des Lichtes. Dieses entsteht durch die mechanische Stimulierung bei der Bewegung des Wassers wie zum Beispiel den auftreffenden Wellen an der

Küste. Abb. 13 zeigt das Auftreten einer solchen Anhäufung von Dinoflagelaten vor der Küste Hongkongs (Liu und Wang, 2017, S. 513).



Abbildung 13: Biolumineszenz vor der Küste von Hongkong (N.N., s.a.)

Wissenschaftler erforschen dieses Themengebiet schon lange - jedoch gibt es bis heute nur wenig technische Umsetzungen. Bisher wird in der Forschung Biolumineszenz hauptsächlich als Marker in der Molekularbiologie eingesetzt. Ob sich mögliche Anwendungsgebiete in der Baubionik erschließen können muss abgewartet werden (Brück und Kuhn, 2008, S. 118).

### **3.4. Multifunktionale Gebäudehüllen**

Bisher wurden Möglichkeiten im Bereich der Baubionik aufgezeigt, die es ermöglichen ein Haus möglichst energieeffizient beziehungsweise im Einklang mit den gegebenen Klimaverhältnissen und den dadurch entstehenden notwendigen Temperaturregulierungsmechanismen zu bauen. Die folgenden Kapitel befassen sich intensiv mit den Konstruktionsmechanismen eines Hauses und die dazu verwendeten Materialien.

Die Struktur eines Hauses muss vielerlei Anforderungen erfüllen. Einerseits muss sie effektiv und kostengünstig sein und andererseits allen mechanischen Ansprüchen gerecht werden. Dabei müssen die bereits zu Beginn erwähnten klimatischen und meteorologischen Verhältnisse, aber auch die notwendige Statik beachtet werden. Besonders bei höheren Bauwerken ist dieser Aspekt von großer Bedeutung da mit steigender Höhe, das Gewicht des verwendeten Baumaterials zum Problem werden kann (Croxford et al., 2017, S. 692).

#### **3.4.1. Strukturen und Geometrie in der Natur**

Werden Strukturen in der Natur betrachtet, so wird schnell ersichtlich, dass scharfe Kanten oder Ecken nicht existieren. In vielen Fällen sind Bauobjekte der Natur meist rund, ellipsenförmig oder zumindest abgerundet. Die optimale Konstruktion die häufig zu finden ist, ist eine fraktal ähnliche Struktur. Die Merkmale von Fraktalen ist ihre selbst-ähnliche Struktur. Der Begriff entstand 1975 von dem Mathematiker Benoit Mandelbrot, der bestimmten Gebilden aus der Natur ein geometrisches Muster zuordnete. Vereinfacht gesagt sind Fraktale Formen, die zu ihren Seiten parallel verkleinerten Kopien ihrer selbst haben. Wenn das Bild eines Fraktals betrachtet wird so hat jeder Ausschnitt beziehungsweise jede Vergrößerung und

Verkleinerung der Abbildung genau dieselbe Form. Mathematisch gesehen gibt es unendlich viele Iterationen dieser Geometrie. In der Natur ist die Anzahl der Ebenen dieser selbstähnlichen Strukturen begrenzt und liegt oft bei drei bis fünf Iterationsstufen. Ein typisches Beispiel wäre die Blumenkohl Sorte Romanesco oder Farne. Prinzipiell sind Teile dieser Fraktal ähnlichen Struktur in allen Bereichen der Natur zu finden und reichen vom Aufbau der menschlichen Knochen bis hin zu Küstenabschnitten. Letztere sind ebenfalls ein interessantes Beispiel. Je genauer ein Küstenabschnitt gemessen wird, desto länger wird er. Das heißt in diesem Fall wäre ein Küstenabschnitt, wo alle noch so kleine Unebenheiten und Kanten berücksichtigt werden unendlich lang (Bruckner et al., 2011, S. 180).

Der Grund wieso diese Art der Geometrie in fast allen Strukturen der Natur wiederzufinden ist, ist die Zusammensetzung von optimalen physikalischen und chemischen Eigenschaften. Einerseits wird für hohe Stabilität gesorgt und gleichzeitig wird das Konstrukt möglichst platzsparend untergebracht (Becker und Braun, 2001, S. 100).

### **3.4.2. Beispiele aus der Natur Fassadenkonzepte**

Wie bereits erwähnt sind typische Beispiele aus der Natur, welche die klassischen fraktale Struktur aufweisen, Farne. Wie bei den meisten Pflanzen dient die geometrische Anordnung der Pflanzen der optimalen Nutzung der Sonne. Durch die Formation der einzelnen Blätter kann die einfallende Sonnenstrahlung am effizientesten für die Photosynthese genutzt werden. Gleichzeitig verhindert die Pflanze dadurch, dass das darunterliegende Blattwerk beschattet wird und möglicherweise weniger Licht abbekommt. Diese konsequente bestmögliche Nutzung der zur Verfügung gestellten Energie ist in allen Bereichen der Natur zu finden und ist deshalb ein wichtiger Aspekt in der Bionik. An der technischen Universität in Delft konnte eine Forscherin ein ähnliches System entwickeln, welches der Farn verwendet. Durch Computersimulationen wurde ein Raster entwickelt, das die unterschiedlichen Bedingungen der einfallenden Sonnenstrahlen zu den verschiedenen Tageszeiten veranschaulicht. Dieses System bildet die Basis für die Anordnung von Solarzellen an einer Hausfassade oder einem Dach. Mithilfe von einzelnen Verschattungsblättern die auf Stabelementen fixiert sind, können die Solarzellen unabhängig von der Geometrie der Fassade platziert werden. Deshalb kann die gewonnene Solare Energie maximiert werden (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 202).

Werden die Gebäudefassaden betrachtet gibt es ein weiteres Beispiel welches sich mit Pflanzen beschäftigt. Blätter besitzen eine Außenschicht, die meist von der sogenannten Epidermis geschützt wird. Unter dieser befinden sich die Chloroplasten, welche für die Photosynthese zuständig sind. Um einen Gasaustausch und die Aufnahme der einfallenden Sonnenstrahlung zu ermöglichen, besitzt diese Trennschicht porenartige Öffnungen. Durch diese sogenannten Stomata findet die Transpiration statt und ermöglicht den Austausch von Wasserdampf und die Aufnahme von  $\text{CO}_2$  aus der Umgebungsluft. Nach diesem Vorbild der Pflanzen ist es auch möglich eine Gebäudefassade zu errichten. In Melbourne Australien konnte in einem internationalen Projekt von Studenten ein vergleichbares Konzept erarbeitet werden. Mithilfe einer doppelschaligen Wand, welche Schließzellen mit beweglichen Elementen besitzt, kann die Photosynthese der Pflanzen nachgestellt werden. Die Schließzellen spiegeln die Stomata Öffnungen auf den Blättern wieder und ermöglichen einen Austausch von Licht- und Wärme (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 205).

Wird nun die Selbstbeschattung und die Trennschicht für einen effizienten Gasaustausch miteinander verknüpft, so hat die Natur ebenfalls eine effiziente Lösung dafür gefunden. Viele Kakteenarten besitzen eine Oberflächenstruktur die stark ausgeprägte Rippenformen aufweist. Durch diese vergrößerte Oberfläche ist es ihnen möglich das Innere der Pflanze möglichst optimal zu isolieren. Haare und Dornen am Kaktus sorgen neben der Abwehr von Fressfeinden zusätzlich für eine sehr gute Regelung der Temperatur und des Klimas im Kaktus. Je dichter diese Trichome auf der Pflanze zu finden sind, desto höher ist die Lichtbrechung was zu einer geringeren Oberflächentemperatur führt und dadurch eine niedrigere Wasserverdunstung hervorruft. Da Kakteen besonderes in klimatisch wärmeren Erdregionen heimisch sind, ist eine möglichst sparsame Nutzung von Wasser ein großer Vorteil. Die Rippen selber können in verschiedenen Formen je nach Art des Kaktus auftreten. Einige Pflanzen weisen eher eine längliche andere eher eine runde Oberflächenstruktur auf. Werden nun Gebäudeoberflächen betrachtet so stellt das Verhältnis zwischen dem Volumen und der Oberfläche einen wichtigen Wert der Gebäudeeffizienz dar. Durch eine Optimierung dieses Verhältnisses kann zum Beispiel eine zu hohe Temperaturerhöhung der Innenräume vermieden werden. Die Forschung in diesem Bereich konnte ebenfalls in dem bereits zuvor erwähnten Projekt Bioskin am Austrian Institute of Technologie betrieben werden. Dadurch wurde gezeigt, dass die Form der Rippen der Kakteen unterschiedliche Zwecke erfüllen. Einerseits sorgen sie für eine Verschattung der Nachbarrippe zu einer bestimmten Tageszeit. Zusätzlich übernehmen sie aber auch wie bereits erwähnt einen wichtigen Teil der Kühlung der Pflanze. Dieses Konzept der Kakteen kann nun theoretisch auch auf eine reale Gebäudehülle übertragen werden. Besonders in heißeren Klimazonen ist die Methode eine sehr gute Möglichkeit um Gebäude möglichst effizient zu kühlen. Durch eine veränderte Oberflächenstruktur von Häusern können sogenannte Faltfassaden kreiert werden. Tagsüber, wenn die Außentemperatur steigt sorgen die einzelnen Falten der Gebäudehülle dann dafür, dass einzelne Bereiche des Hauses beschattet werden und sich dadurch nicht so sehr aufheizen können (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 200).



Abbildung 14: Seepocken (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 206)

An der Universität in Melbourne in Australien gab es einen Workshop zum Thema Bioinspirierte Fassadensysteme. Ziel dabei war es, eine Gebäudehülle zu entwickeln die sich von der Funktionsweise und der Oberflächenstruktur am Vorbild der Seepocken orientiert. Seepocken, welche in Abb. 14 dargestellt werden, gehören zu der Gruppe der Krebse und sind sessile Tiere. Das bedeutet, dass ihnen ein extrem stabiles Verbindungsmaterial erlaubt sich nahezu an jeder Oberfläche festzusetzen. Sie siedeln sich von Schiffsrümpfen bis hin zu Wälen an vielen Orten an. Vorzugsweise bevölkern Seepocken aber Gewässer wo die Gezeiten Ebbe und Flut vorherrschend sind. Dies bedeutet gleichzeitig, dass die Tiere Mechanismen entwickelt haben, die es ihnen ermöglichen bei einem niedrigen Wasserstand nicht auszutrocknen. Die Art besitzt ein spezielles Gehäuse aus Kalk, welches auf der Oberseite einen Schließmechanismus aufweist. Dieser kann sich bei fehlendem Wasser oder auch zur Abwehr von Fressfeinden schließen. Das in Melbourne entwickelte Fassadenkonzept orientiert sich dabei an einem ähnlichen Mechanismus. Die Hülle der Fassade besteht dabei aus verschiedenen Clustern die zusammenge-

setzt werden und optisch den Seepocken ähneln. Jedes Modul besitzt verschiedene Schichten und Lamellen die auf die unterschiedlichen Umweltbedingungen reagieren und so Licht entweder in den Innenraum lenkt oder den Bereich komplett verschattet. In Abb. 15 wird grafisch das Fassadenkonzept veranschaulicht (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 207).

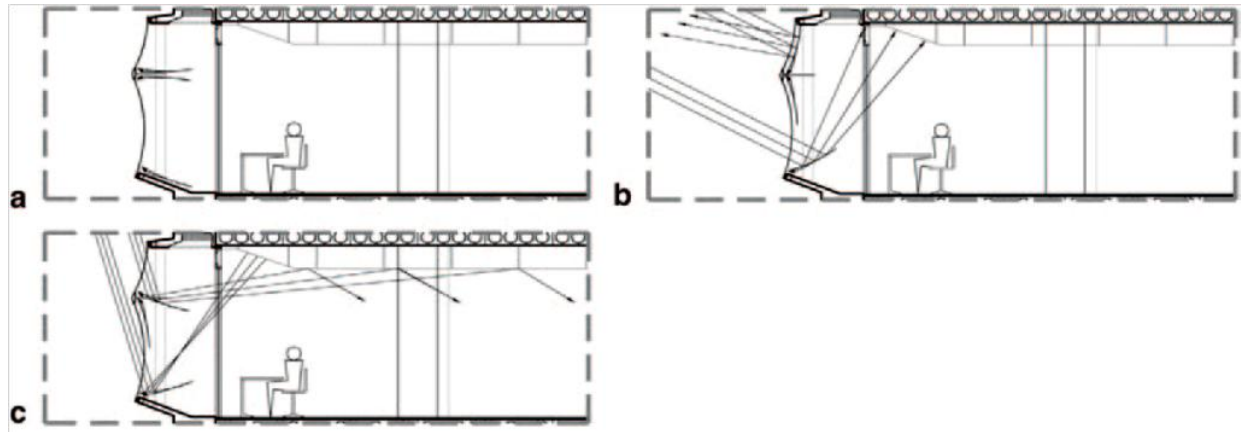


Abbildung 15: Fassadenkonzept unter dem Vorbild der Seepocken (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 207)

### 3.4.3. Deckenkonzepte

Wenn die Außenhülle eines Gebäudes betrachtet wird so sind nicht nur die bisher erwähnten Konzepte für den Fassadenbau von großer Bedeutung. Einen ebenso hohen Stellenwert von der Regulierung des Gebäudeklimas über die energetische Effizienz bis hin zur Statik des Hauses spiegelt das Dach wieder. Werden verschiedene statisch optimierte Konstruktionen betrachtet, so ist es möglich sich am Menschen zu orientieren. Die Wirbelsäule des Menschen sowie der meisten Säugetiere, Vögel, Fische und Reptilien besteht aus einem System von aneinandergerietenen Knochen, den Wirbeln, welche mithilfe von vielen Muskeln, Sehnen und Bändern miteinander verbunden sind, dass sich daraus eine sehr stabile aber dennoch flexible Struktur ergibt. Die tragende Last wird durch diese Gliederung optimal verteilt und verhindert beispielsweise ein Abknicken auf die Seite. Der deutsche Architekt Göran Pohl konnte sich an dem Skelett von Krokodilen orientieren und mithilfe dessen Vorbild eine Konstruktion für ein Dach entwickeln. Dieses besteht aus verschiedenen Elementen die sich wie Wirbel aneinanderfügen. Ein mögliches Modell ist in Abb. 16 aufgezeigt. Stahlseile und elektrohydraulische Spannsysteme ersetzen die Sehnen und Bänder der Wirbelsäule. Durch diese Art der Bauweise wird sowohl eine stabile Längs- als auch Querspannung erzeugt was eine große Dachfläche ermöglicht. Pohl konnte seinen Entwurf bereits erfolgreich bei verschiedenen Schwimm- und Radsporthallen einsetzen (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 219).

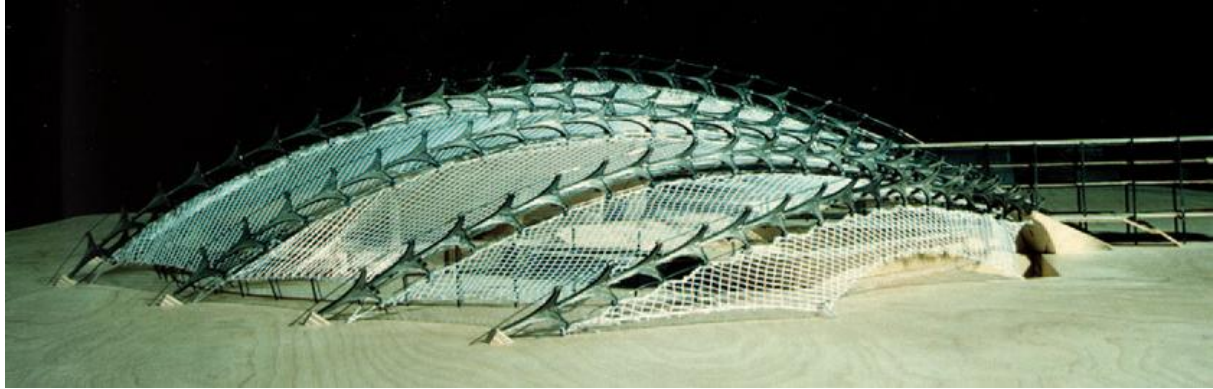


Abbildung 16: Modell eines Daches basierend eines Wirbelsäulen-Tragwerks und einer Netzstruktur (Nachtigall und Pohl, 2003, S.219)

1849 konnte ein ebenfalls von der Natur inspiriertes Dach entwickelt werden. Der Architekt Joseph Paxton wurde vor die schwierige Aufgabe gestellt ein anspruchsvolles Gebäude für die erste Weltausstellung zu entwickeln. Diese Ausstellung wurde von britischen Bankiers in der Zeit der Industrialisierung ins Leben gerufen und diente allgemein zur Zurschaustellung von technischer und kunsthandwerklicher Meisterleistungen. Paxton orientierte sich bei seinem Entwurf an dem Vorbild der Riesenseerose *Victoria amazonia*, welche in Abb. 17 dargestellt wird. Die Blätter der Pflanze, welche im Amazonasgebiet beheimatet ist, erreichen einen Durchmesser von bis zu zwei Metern und können einen Menschen tragen. An der Unterseite des Blattes befinden sich viele Rippen mit Stacheln und Querverstrebungen die unter anderem einzelne Luftkammern in sich einschließen. Dieses leistungsfähige Stützgewebe weist eine aderartige Struktur auf, welche der Seerose eine hohe Stabilität verleiht. Eine weitere Besonderheit der Pflanze ist, dass in der ersten Nacht die Blüte eine weiße Farbe und in der darauffolgenden Nacht eine rosa Färbung aufweist. Nach dem Vorbild der Riesenseerose konnte Joseph Paxton den Entwurf für das Gebäude der ersten Weltausstellung, eine Ausstellungshalle, kreieren. Mithilfe von Holz und Eisen ahmte der Architekt die Rippen der Pflanze nach, welche später die Grundlage für das Dachgerüst der Halle darstellten. Zusätzliche Querverstrebungen konnten die Stabilität darüber hinaus erhöhen. Zwischen diesem Konstrukt wurde anstelle der sonst hauchdünnen Blattschicht, Glasflächen eingesetzt welche dem Gebäude eine stabile aber trotz leichter Struktur ermöglichten und etwaige Mauerkonstruktionen entbehrlich machten. Das Gebäude was heute unter dem Namen „Kristallpalast“ bekannt ist wurde einige Jahre später von seinem ursprünglichen Bauort im Hyde Park in London in den Stadtbezirk Lewishem versetzt wo es in vergrößerter Form wiedereröffnet wurde (Vogel, 2000, S. 242).



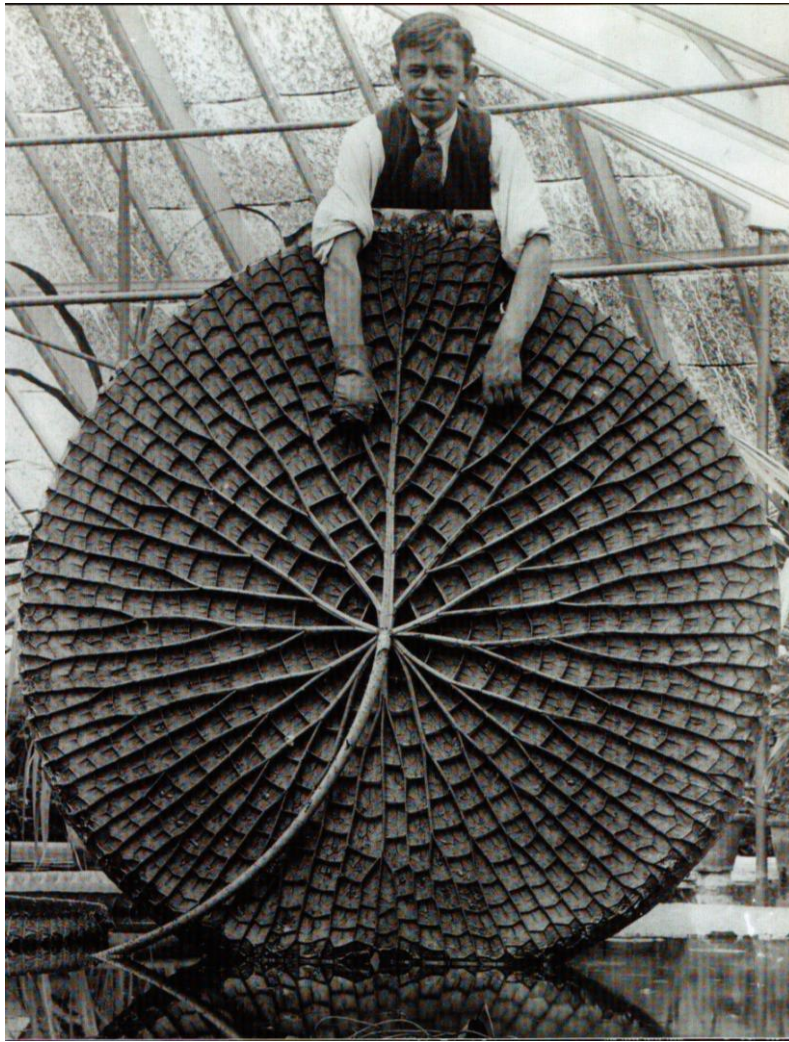


Abbildung 17: Riesenseerose mit Joseph Paxton im Hintergrund (Brück und Kuhn, 2008, S. 170)

Nach Paxton konnte ein ebenfalls genialer Konstrukteur seine Ideen in Bauwerken verwirklichen. Pier Luigi Nervi orientierte sich an der Innenstruktur von Skelettknochen. Diese weisen viele Verstrebungen durch isostatische Rippen auf, welche die Belastung auf den Knochen möglichst gleichmäßig verteilen und so einem möglichen Bruch weitgehendst entgegenwirken können. Zwischen diesen einzelnen Streben entstehen genau dort Hohlräume wo weniger Kraft auf den Knochen ausgeübt wird und kein Gewebematerial benötigt wird. Das führt dazu, dass der gesamte Knochen im Verhältnis zu der auf ihn ausgeübten Kraft so leicht wie möglich wird. Nervi konnte ein Fabrikgebäude konstruieren, das sich an den unterschiedlichen einwirkenden Lasten am Beispiel des Knochens orientiert. Der Bau hat an den Hauptträgern viele verdichtete Balken aus Beton die über Querverstrebungen so miteinander verbunden sind, dass sich die einwirkende Kraft auf das ganze Gebäude optimal verteilt (Rossmann und Tropea, 2005, S. 128).

Frei Otto zählte zu den wichtigsten Pionieren in den Anfängen der Baubionik. In seinem Leben beschäftigte er sich unter anderem viel mit Beobachtungen aus der Natur die er mit Medizinern und Biologen teilte. Besonders faszinierten ihn die Spinnennetze. Spinnweben bestehen aus vielen Einzelspinnfäden mit dem Durchmesser von etwa 0,5 bis 5 Mikrometer. Menschliche Haare sind als Vergleich etwa 100 Mikrometer dick. Die Fäden haben eine Reißfestigkeit von etwa 31% was drei Mal so elastisch wie Nylon ist. Dadurch entsteht ein weltweites Interesse diese Spinnenseide künstlich herzustellen. Bisher gibt es in diesem For-

schungsbereich trotzdem nur wenig Ergebnisse (Nachtigall und Wisser, 2013, S. 58). Frei Otto schaffte es jedoch das natürliche Erscheinungsbild eines Spinnennetzes auf Gebäudedächer zu übertragen. Durch den optimalen Einsatz diverser Materialien und einer effizienten Spannungsverteilung konnte er Konstruktionen in Form von Zeltdächern entwickeln. Einen Teil seiner Entwürfe zeigte der Architekt bei der Weltausstellung in Montreal bei der Konstruktion des deutschen Pavillons. Später gelang es ihm mit einem Team von weiteren Konstrukteuren bei der Gestaltung des Olympiastadions in München mitzuwirken. Dieses hat mehrere stützende Masten die mit einer Schlaufenstruktur über Seile in Form eines Netzes miteinander verbunden sind. Dadurch wird das Gewicht des Daches auf viele verschiedene Punkte verteilt. Neben dieser entstehenden Leichtigkeit und der zusätzlichen einfachen Montage hat ein Zeltdach darüber hinaus den Vorteil, dass es eine hohe Transparenz aufweist wodurch sehr viel Licht hindurch dringen kann (Brück und Kuhn, 2008, S. 180).

Um die bisher erwähnten Gebäudeelemente in einem realen Haus umzusetzen, müssen Oberflächenformen und Strukturen entwickelt werden. Diese räumlichen Strukturen können sich dabei vielfältig an der Natur orientieren. Ein Beispiel für ein solches Vorbild ist die Opuntie eine Pflanze die zu den Kakteengewächsen zählt. Den Innenraum bildet ein Geflecht aus einem Sklerenchymskelett, welches von einem zusätzlichen Gewebe umgeben ist. Die kompletten Verzweigungen bestehen dabei aus einigen Hauptsträngen, welche die Hauptlast tragen und einzelnen Nebensträngen, Querstreben und Verzweigungen, die wiederum diese miteinander verbinden. Ähnliche Flächenelemente können bei Gebäuden für Hüllen verwendet werden. Dabei werden die Haupt- und Nebenträger so geformt, dass eine elastische Oberfläche entsteht. Durch diese Verteilung kann die einwirkende Kraft gleichmäßig verteilt werden (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 200).

### **3.5. Materialien und Verbundstoffe**

Bei der Verwendung von neuartigen Materialien und Strukturen wird zumeist eine Erhöhung der Effizienz und der Multifunktionalität angestrebt. Die Forschung arbeitet derzeit mehr und mehr daran, neue Verbundstoffe zu entwickeln die in vielfältigen Anwendungsbereichen eingesetzt werden können. Die speziellen Eigenschaften der Materialien werden dabei durch Oberflächenstrukturen oder durch unterschiedliche Zusammensetzung der Moleküle erreicht (Ferreira et al., 2016, S. 3).

#### **3.5.1. Selbstheilung**

Selbstheilende Materialien sind definiert als Materialien die ohne menschlichen Einfluss eine beschädigte Stelle reparieren und ansatzweise in den Ausgangszustand wiederherstellen (Ferreira et al., 2016, S. 9). Bei Störungen durch Einflüsse der Umwelt kann es in der Natur vorkommen, dass ein Teil eines Organismus mechanisch geschädigt wurde. Um zu verhindern, dass die Stabilität beeinträchtigt wird, hat die Natur vielfältige Heilungsmechanismen entwickelt. Beispielsweise besitzt die Liane eine Vielzahl an Festigungsringen um die Stabilität zu gewährleisten. Wenn eine Liane wächst, kann es durchaus passieren, dass diese Ringe aufreißen. Um den Schaden zu begrenzen und die Stabilität wieder herzustellen, verschließt die Pflanze den Riss mithilfe der Nachbarzellen. Verschiedene Zellen quellen auf und füllen so die Wunde komplett aus, damit ein abgeschlossenes System entstehen kann. Ist dieser Prozess beendet, kann die Liane an dieser Stelle erneut verhärten und es entsteht ein neuer Festigungsring der die Stabilität wiederherstellt (Brück und Kuhn, 2008, S. 140). Während lebende Systeme es schaffen beschädigte Abschnitte wie zum Beispiel gebrochene Knochen wiederherzustellen und zu heilen, ist dieser Prozess bei Materialien normalerweise nicht möglich (Ferreira

et al., 2016, S. 9). Nichts desto trotz hat solch ein selbstheilendes System für die Architektur eine große Bedeutung. Durch verschiedene äußere Einflüsse wie zum Beispiel Erdbeben ist es möglich, dass die Gebäudehülle beschädigt wird. In Freiburg hat es ein Team aus Forschern bereits geschafft, den Selbstheilungsprozess der Liane künstlich nachzustellen. Mithilfe von Membranen die mit einem Polyesterschaum beschichtet sind wird erreicht, dass der Innendruck, welcher für die Stabilität verantwortlich ist, nicht nachlässt wenn die Außenhülle verletzt wird (Brück und Kuhn, 2008, S. 140). Werden selbstheilende Materialien näher betrachtet so ist es möglich, diese nach Kategorien zu klassifizieren wie der Selbstheilungsprozess ausgelöst wird. Benötigt die Reparatur einen externen Stimuli wie Hitze oder Licht so wird dieser Vorgang nicht-autonom genannt. Im Gegensatz dazu reicht bei autonomen Abläufen der Schaden selbst (Ferreira et al., 2016, S. 10).

### **3.5.2. Klebe- und Verbundstoffe**

Als weiteres Beispiel können Miesmuscheln herangezogen werden. Diese Meerestiere haben die Eigenschaft sich ausgezeichnet an Gestein oder Booten zu halten und sich dort anzusiedeln. Ähnlich wie die bereits in einem früheren Kapitel erwähnten Seepocken, schaffen sie es eine enorme Haltkraft mithilfe eines Klebers zu erzeugen um starken Brandungen standzuhalten. Aus vier Drüsen der Schalentiere werden Proteinkleber ausgeschieden die viele einzelne Fäden besitzen. Sie sind einerseits wasserbeständig, elastisch und werden im Laufe des Lebens der Muschel immer wieder ersetzt. Am Fraunhofer Institut ist es einem Team aus Wissenschaftlern gelungen diese Fäden synthetisch nachzustellen. Dieses nun entwickelte Gemisch wird als Kleber bereits in der Raumfahrt für vielfältige Reparaturen an der Außenhülle von Raumschiffen eingesetzt. Unter anderem produziert auch die Florfliege bei der Eiablage einen Kleber der ebenfalls aus Proteinen besteht. Diese Proteinkleber sind wie bereits erwähnt sehr elastisch und könnten dadurch in der Zukunft ebenfalls in Gebäudehüllen als Verbundwerkstoff eingesetzt werden, um Risse am Gebäude zu verschließen oder erst gar nicht erscheinen zu lassen (Brück und Kuhn, 2008, S. 44).

Ähnliche Verbundstoffe wie zum Beispiel verschiedene Schäume werden heutzutage im Baugewerbe bereits aktiv verwendet. Diese haben die Aufgabe, als Schnittstelle zwischen zwei Materialien so zu fungieren, dass die Außenhülle möglichst komplett verschlossen und isoliert ist. Meistens werden langkettige Kunststoffmoleküle in Verbindung mit Sauerstoff und Wasserstoff verwendet um diese Schäume herzustellen. Für die Herstellung dieser sogenannten Polyurethane konnte das Gelege der Gottesanbeterin herangezogen werden. Dieses Tier umhüllt sein Gelege mit einer schaumigen Substanz die sehr schnell aushärtet. Auf diese Schicht legt die Gottesanbeterin erneut Eier die abermals mit Schaum umschlossen werden. Dieser Prozess wird mehrmals wiederholt bis das Gelege vervollständigt ist. So entsteht ein großer Kokon der die Jungtiere vor Witterungseinflüsse und Temperaturschwankungen von minus 40° bis zu extremer Hitze schützt (Brück und Kuhn, 2008, S. 114).

Ein weiteres Material, welches als Vorbild in der Baubionik verwendet wird, ist Perlmutter. Dieses kommt bei einer Vielzahl von Muscheln und Schalentieren als Innerste Schicht des Gehäuses vor und besitzt eine sehr große Stabilität und Härte. Beim Nautilus, welcher zur Gattung der Perlboote gehört lässt sich sehr gut veranschaulichen wie stabil das Material tatsächlich ist. Der Tintenfisch gehört zu den ältesten Lebewesen auf der Erde, da er bereits vor 500 Millionen Jahren gelebt hat. Die Tiere sind in der Lage sich in ihr Gehäuse zurückzuziehen und so auf eine Tiefe von etwa 600 Metern abzutauchen, wo ein wesentlich höherer Wasserdruck herrscht. Erst Perlmutter verhindert eine Schädigung des Gehäuses. Hauptsächlich besteht dieses aus Kalk, welcher 3000-mal weicher ist. Die eigentliche Härte wird erst durch den Aufbau und die Struktur erzeugt die unter dem Elektronenmikroskop ersichtlich wird. Perlmutter besteht aus vielen kleinen Plättchen Kalk die sich perfekt ineinander einfügen und mit Chitin und Eiweißketten zusammengehalten werden. Wird Druck von außen auf eine Flä-

che aus Perlmutter ausgeübt so weichen die Plättchen auseinander und die Kraft kann auf die komplette Fläche verteilt werden. Dieses Prinzip wird unter anderem schon bei Glasfaser- und Kohlenfaserkunststoffen verwendet welche in der Baubionik aufgrund ihrer hohen Stabilität und Härte viele Anwendungsbereiche finden (Brück und Kuhn, 2008, S. 110).

## 4. DISKUSSION

Aufgrund der verschiedenen Klimaregionen hat sich gezeigt, dass es schwierig ist ein global gültiges Konzept für ein bionisches Haus auszuarbeiten. Durch die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen und Anforderungen die an ein Gebäude bezüglich der Temperaturregulierung gestellt werden muss diese Thematik sehr individuell auf die Region bezogen betrachtet werden. Zusätzlich gestalten sich besonders mittlere Klimaverhältnisse, wie sie unter anderem in Mitteleuropa zu finden sind als technisch aufwendiger. In kalten Wintern und heißen Sommern ist für die Regulierung in einem Haus sowohl ein Konzept für eine Heizung als auch für eine Kühlung notwendig. In sehr kalten oder heißen Gegenden hingegen reicht eine einseitige Form der Regulation (Bauer et al., 2011, S. 93).

Wird die Temperaturregulierung beziehungsweise die Energieeffizienz zwischen lebenden Organismen und Gebäuden verglichen so ist schnell ersichtlich, dass der Mensch sehr viel Energie braucht um eine Heizung für Wärme oder eine Klimaanlage zu betreiben. Im Gegensatz dazu, hat sich bei dem Vergleich gezeigt, dass die Natur es geschafft hat, ihre Struktur und ihr Verhalten so anzupassen, dass frei zugängliche Energie wie der Wind genutzt wird um die Temperatur optimal und mit möglichst wenig Aufwand zu regeln. Wie bereits erwähnt, sind viele dieser Systeme so gut entwickelt, dass sie es schaffen sowohl als Heizung als auch als Kühlung zu fungieren, da dies Klimabedingt durch den Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht notwendig ist. Da besonders die Energiegewinnung durch die Sonne beziehungsweise insbesondere der Photosynthese Prozess als Vorbild für technische Umsetzungen relevant sind gibt es im Bereich der Photovoltaikindustrie viele mögliche Anwendungen und Weiterentwicklungen (Bruckner et al., 2011, S. 77).

In Abb. 18 wird ein Modell dargestellt wie ein bionisches Haus der Zukunft möglicherweise aussehen könnte. Darin werden die möglichen Phänomene, die von der Natur in die Architektur übertragen wurden, abgebildet. So entsteht eine Kombination aller erwähnten Beispiele aus den vorigen Kapiteln die sich in dem Modell zusammenfügen und folgend ein effizientes und nachhaltiges Haus kreieren. Das Modell beinhaltet ein Luftzirkulationssystem welches sich am Vorbild der Termiten orientiert. Die Luft wird dabei am rechten unteren Eck angesaugt und über verschiedene Schächte durchs Haus geleitet. Wie bereits im Kapitel Klima erwähnt, sind diese Schächte immer nur teilweise mit dem Innenraum verbunden. Auf dem Dach befindet sich ein Kamin wo die Luft wieder ausströmen kann sodass eine optimale Zirkulation entsteht. Wird die Energiegewinnung betrachtet, so ist ersichtlich, dass sich auf der rechten Seite weiterentwickelte Photovoltaikanlagen befinden. Diese orientieren sich nach der Anordnung von Blättern an einer Pflanze wie zum Beispiel, dem in einen früheren Kapitel vorgestellten Farne. So verschatten sich die einzelnen Photovoltaikpaneele möglichst nicht gegenseitig und es kann eine hohe Energieeffizienz erreicht werden. Das in Kapitel 3.3.3. erwähnte Phänomen Biolumineszenz findet in dem Hausmodell ebenfalls seine Anwendung. Hier wird bereits eine Lampe verwendet, die mithilfe von Bakterien oder Algen durch Biolumineszenz Licht erzeugt und somit keinen Stromanschluss mehr benötigt. Werden Fassadenkonzepte näher betrachtet so gibt es mehrere mögliche Anwendungsgebiete. Im Modell ist auf der linken Fassade ein Schließmechanismus nach dem Vorbild der Seepocken zu erkennen. Dieser ist in der Lage, sich kontrolliert zu öffnen und zu schließen und dadurch Licht, Schall oder auch Wärme kontrolliert nach innen zu leiten. Eine weitere Möglichkeit für Fassaden-

konzepte ist auf der Vorderseite des Modells zu erkennen. Durch Nanobeschichtungen bekommt das Haus eine bestimmte Farbe wodurch die Innentemperatur maßgeblich beeinflusst werden kann. Wie bereits in einem früheren Kapitel erwähnt sind die regionalen Klima und Standortbedingungen dafür ausschlaggebend ob ein Haus gekühlt oder erwärmt werden muss. Als Dach wird die von dem deutschen Architekten entwickelte Konstruktion verwendet, welche als Vorbild die Wirbelsäule von Krokodilen hat. Mithilfe von Netzen und den Wirbelartigen Verstreungen wird eine statisch sehr gute und leichte Konstruktion erreicht. In sehr trockenen und heißen Regionen bietet sich hier zusätzlich die Option die Netze zusätzlich für die Wassergewinnung zu verwenden. Wie in Kapitel 3.2.4. erwähnt können sich einzelne Wassertropfen sammeln und über die Netzstruktur in einen Sammelbehälter geleitet werden.

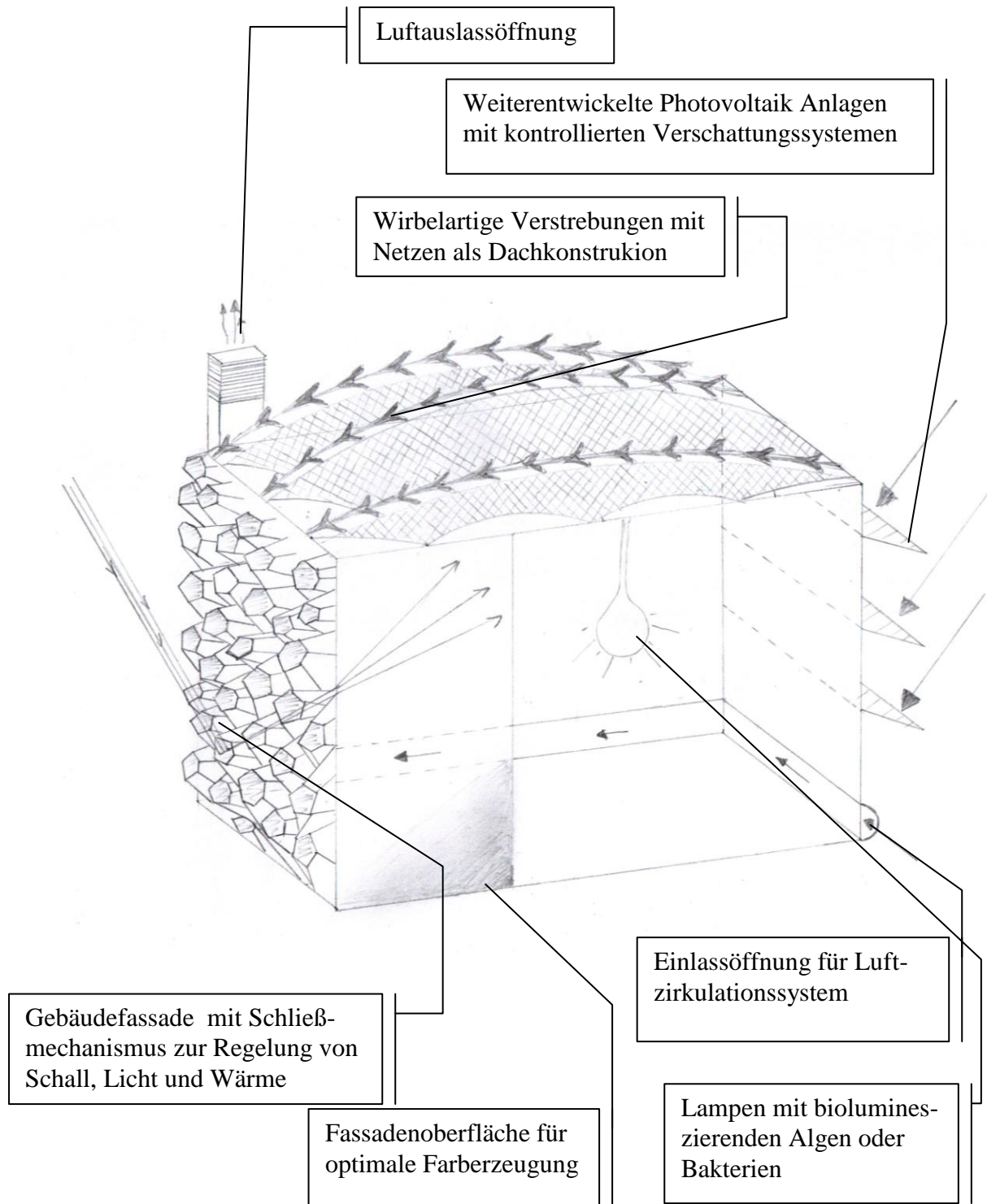


Abbildung 18: Gebäudemodell eines bionischen Hauses (Einhorn, 2017)

## 5. FAZIT

In der Bachelorarbeit hat sich gezeigt, dass es sehr viele Beispiele aus der Natur gibt welche für bionische Anwendungsmöglichkeiten in die Architektur übertragen werden können. Die in der Arbeit aufgelisteten Beispiele sind nur ein kleiner Einblick in die große Vielfalt mit der Gebäude in Zukunft optimiert und hinsichtlich ihrer Effizienz verbessert werden können. Mithilfe der Visualisierung von einigen Beispielen in einem Hausmodell konnte dargestellt werden, wie in der Zukunft möglicherweise so ein Gebäude aussieht. Durch das Zusammen-setzen vieler einzelner bionischer Innovationen, ist es möglich, annähernd an ein bionisches Haus zu konstruieren. Es ist wichtig zu betonen, dass dies nur Teilbereiche des Gebäudes sind die ihre Konstruktionsidee in der Bionik haben. Wann und ob es jemals ein Haus geben wird, dass zu 100% bionisch ist und sich komplett selber versorgen, regulieren und reparieren kann bleibt fraglich.

Es muss beachtet werden, dass keineswegs Baupläne in der Natur zu finden sind, nach denen ein 1:1 Abbild gebaut werden kann. Vielmehr geht es darum, dass Architekten, Ingenieure und Designer eine Idee von Abläufen, Methoden und Konzepten bekommen und diese Erkenntnisse dann in Bauwerke mit einbeziehen können. Das Ergebnis sind Gebäude bei denen einzelne Bestandteile bionisch inspiriert sind.

Neue Materialien sind nicht immer unbedingt besser. Es können auch bionische Strategien oder einfache Prozesse sein die implementiert werden.

Schlussendlich hat sich gezeigt, dass viele der erwähnten Beispiele in der Bachelorarbeit bereits reale Umsetzungen haben und in manchen Gebäuden derzeit schon in Verwendung sind. Eine Möglichkeit um ein bionisches Haus zu kreieren, ist wie im Gebäudemodell dargestellt, das Kombinieren von technischen Anwendungen in einem Haus. Nichts desto trotz gibt es für die Zukunft noch viel Potential in der Baubionik um von den Phänomenen aus der Natur zu lernen und ein möglichst nachhaltiges und effizientes Haus zu konstruieren.

## 6. LITERATURVERZEICHNIS

- Arif, S.; Aslam, M. und Huassain, A., 2017. Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 12-28.
- Barthlott, W.; Cerman, Z. und Nieder, J., 2005. *Erfindungen der Natur: Bionik – Was wir von Pflanzen und Tieren lernen können*. 2. aktualisierte Aufl. Hamburg: Rowohlt Verlag.
- Bauer, M.; Hausladen, G.; Hegger, M.; Hegner, H.D.; Lützkendorf, T.; Radermacher, J.; Sedlbauer, K. und Sobek, W., 2011. *Nachhaltiges Bauen: Zukunftsfähige Konzepte für Planer und Entscheider*. Berlin: Beuth-Verlag.
- Becker, P.R. und Braun, H. , 2001. *nestWerk: Architektur und Lebewesen*. Oldenburg: Isensee Verlag.
- Brümmer, F.; Pfannkuchen, M.; Baltz, A.; Hauser, T. und Thiel, V., 2008. Light inside sponges. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 367, 61-64.
- Brück, J. und Kuhn, B., 2008. *Bionik: Der Natur abgeschaut*. Köln: Naumann & Göbel Verlagsgesellschaft.
- Bruckner, D.; Gebeshuber, I.C.; Gruber, P.; Hellmich, C.; Schmiedmayer, H.B. und Stachelberger, H., 2011. *Biomimetics – Materials, Structures and Processes*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Croxford, B.; López, M.; Martín, S. und Rubio, R., 2017. How plants inspire façades. From plants to architecture: Biomimetic principles for the development of adaptive architectural envelopes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 692-703.
- Du, L.; Jiang, T. und Li, M., 2016. Lighting up bioluminescence. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 15, 466-480.
- Ferreira, A.; Marques, A. und Nóvoa, P., 2016. Multifunctional Material Systems: A state-of-the-art review. *Composite Structures*, 151, 3-35.
- Gleich, A.; Pade, C.; Petschow, U. und Pissarskoi, E., 2007. *Bionik: Aktuelle Trends und zukünftige Potenziale*. Bremen.
- Kay, W. und Welsh, D., 2005. Bioluminescence imaging in living organisms. *Current Opinion in Biotechnology*, 16, 73-78.
- Knauer, R. und Viering, K., 2009. *Bionik: Abgekupfer von der Natur*. Berlin: Berlin-Verlag.
- Liu, Y. und Wang, M., 2017. Theoretical Study of Dinoflagellate Bioluminescence. *Photochemistry and Photobiology*, 93, 511-518.
- Lotfabadi, P., 2015. Analyzing passive solar strategies in the case of high-rise building. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1340-1353.

Nachtigall, W. und Pohl, G., 2003. Bau-Bionik: Natur Analogien Technik. 2., neu bearbeitete und erweiterte Aufl. Saarbrücken: Springer-Verlag.

Nachtigall, W. und Wisser, A., 2013. Bionik in Beispielen. Berlin: Springer-Verlag.

Nachtigall, W., 1997. Vorbild Natur: Bionik-Design für funktionelles gestalten. Heidelberg: Springer-Verlag.

Rodriguez, S.; Rodriguez-Ubinas, R.; Todorovic, M. und Voss, K., 2014. Energy efficiency evaluation of zero energy houses. Energy and Buildings, 83, 23-35.

Rossmann, T. und Tropea, C., 2005. Bionik: Aktuelle Forschungsergebnisse in Natur-, Ingenieur- und Geisteswissenschaft. Heidelberg: Springer-Verlag.

Stevanovic, S., 2013. Optimization of passive solar design strategies: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25, 177-196.

Vogel, S., 2000. Von Grashalmen und Hochhäusern: Mechanische Schöpfungen in Natur und Technik. Weinheim: WILEY-VCH Verlag.

Wang, Y.; Xiang, B.; Xiao, Y.; Yang, X.; Yu, X. und Yuan, Y., 2017. Bionic building energy efficiency and bionic green architecture: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74, 771-787.

## 7. INTERVIEWVERZEICHNIS

Gruber, P. (2017): Interview, Expertin im Bereich Architektur und Bionik, Wien 30.05.2017.

## 8. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Zeichnung aus Leonardo da Vincis Werk "über den Vogelflug" (N.N., s.a.) ...	5
Abbildung 2: Radiolie (Becker und Braun, 2001, S. 88).....	6
Abbildung 3: Sagrada de Familia (Küppers, 2016, S. 2).....	6
Abbildung 4: Diagramm welches die unterschiedlichen notwendigen Raumkonditioniersmaßnahmen darstellt (Bauer et al., 2011, S. 82).....	7
Abbildung 5: Darstellung der Konsequenzen des Klimas auf die notwendige Bauklimatik (Bauer et al., 2011, 92).....	8
Abbildung 6: Kompassstermiten in Australien (Becker und Braun, 2001, S. 128).....	10
Abbildung 7: Be- und Entlüftung eines Hauses (Brück und Kuhn, 2008, S.183).....	11
Abbildung 8: Energieverluste bei Häusern in den einzelnen Bereichen (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 50)	12
Abbildung 9: Markzylinder beim Eisbärhaar (Nachtigall und Pohl, 2003, S.42).....	13
Abbildung 10: Prinzip der Lichtsammlung durch Eisbärhaare (Becker und Braun, 2001, S. 94)	13
Abbildung 11: Darstellung der Energiegewinnung: Die Sonne ist, auf indirekten und direkten Wegen letztlich die einzige Energiequelle (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 88).....	16
Abbildung 12: Meeressorange im Schnitt (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 198).....	18



Abbildung 13: Biolumineszenz vor der Küste von Hongkong (N.N., s.a.).....	19
Abbildung 14: Seepocken (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 206).....	21
Abbildung 15: Fassadenkonzept unter dem Vorbild der Seepocken (Nachtigall und Pohl, 2003, S. 207)	22
Abbildung 16: Modell eines Daches basierend eines Wirbelsäulen-Tragwerks und einer Netzstruktur (Nachtigall und Pohl, 2003, S.219).....	23
Abbildung 17: Riesenseerose mit Joseph Paxton im Hintergrund (Brück und Kuhn, 2008, S. 170)	24
Abbildung 18: Gebäudemodell eines bionischen Hauses (Einhorn, 2017).....	28

## 9. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Anwendungsbereiche der Bionik (Becker und Braun, 2001, S. 97) .....	3
--	---

## 10. ANHANG

Die Transkription des Experteninterviews mit Frau Petra Gruber am 30.5.2017. Das Interview wurde mit Hilfe eines Aufzeichnungsgerätes mitgeschnitten und anschließend transkribiert. Auf die Transkription von Füllwörtern wurde verzichtet.

### **Sehr geehrte Frau Gruber, wie sind Sie nach Ihrem Architekturstudium genau zum Bionik Bereich gekommen?**

Das Architektur Studium hat eigentlich sehr wenig mit Bionik zu tun. Ich hatte immer schon ein persönliches Interesse. Wie ich die Diplomarbeit gemacht habe, hab ich mit einem Architekt und seiner Arbeitsgruppe zusammengearbeitet. Die hatten schon in den 70/ 80er Jahren Forschungen in diesem Bereich laufen. Da ging es zum Beispiel um Diatomeen, Radiolarien oder um temporäre Strukturen. Die Gruppe hat den Weg bereitet und sozusagen den Boden für Bionik geebnet. Ich war total fasziniert von diesen Arbeiten. Frei Otto hat sich in seiner Arbeitsgruppe besonders mit Liechtbau und Zellstrukturen beschäftigt. Hier kann man sagen, dass in der modernen Architektur ein ganz neuer Bautypus entstanden ist. Das finde ich eigentlich am interessantesten, da man sieht wie groß das ganze Potential ist. Danach habe ich dann auf der TU gearbeitet und habe dann Bionik als Unterrichtsfach für Architekten eingeführt bzw. Membrankonstruktionen im Leichtbau. So hat eins ins andere geführt und ich habe angefangen mehr Projekte in die Richtung zu machen. Den ersten Forschungsauftrag habe ich dann mit meiner Kollegin Barbara Imhoff bekommen und irgendwann haben wir dann größere Projekte eingereicht.

### **Sind moderne Materialien welche verwendet werden effizient und nachhaltig wenn der Herstellungsprozess sehr aufwendig ist?**

Es kommt immer darauf an- wenn man solche Dinge wirklich quantifizieren will, muss man einen bestimmten Zeithorizont annehmen. Wenn man einen Zeithorizont von 20 Jahren annimmt, dann zahlt es sich aus, dass billige, gut recyclebare Materialien verwendet werden. Wenn jedoch 100 Jahre der Zeithorizont ist, dann muss man sehr gute, sehr haltbare und mög-

licherweise teurere Materialien verwenden. Das muss immer im speziellen Fall beurteilt werden. Die Häuser aus der Gründerzeit in Wien sind vielleicht nicht sehr innovativ, aber es ist ein extrem nachhaltiger Bautyp da er heute noch immer sehr gefragt ist. Das liegt nicht an den Materialien sondern mehr an der Grundrisskonzeption. Ich glaube das ist der Schlüssel. Wenn die Gebäude zu sehr an die jeweilige Situation angepasst sind und wenig Spielraum erlauben, sind sie nicht besonders flexibel einsetzbar.

Es ist nicht so, dass die Materialien unbedingt teuer sein müssen. Wir neigen oft dazu mit unserer Technologie an Multifunktionsbeschichtungen zu denken aber es können auch Strategien oder auch einfache Prozesse sein, die man implementiert.

### **Ist es wichtiger die Abläufe und Prozesse im Haus zu optimieren oder besser die sehr gute Materialien zu verwenden?**

Es gibt nicht „die besten“ Materialien. Neu heißt nicht immer besser. In den 60er Jahren hat man mit den Faserkonstruktionen geglaubt, dass dies die Lösung für billiges und gutes Dachmaterial ist. Später hat man dann herausgefunden das Asbest hochgiftig ist und es musste alles wieder entfernt werden. Sowas passiert immer wieder. Das was in einem Moment als perfektes Material und super effizient erscheint, kann sich in 30 Jahren als falsch erweisen. Deswegen ist der Prozess wahrscheinlich wichtiger.

### **Ist es im Energiebereich wichtiger mehr erneuerbare Energien zu erzeugen oder die bereits produzierte effizienter zu verwenden?**

Vom Gedanken der Nachhaltigkeit muss beides beachtet werden. Einerseits muss man versuchen Energie nicht zu verschleudern. Andererseits muss man auch versuchen Energie dort wo sie aus der Umwelt billig entnommen werden kann zu verwenden und daraus versuchen zyklische Kreisläufe herzustellen. Sozusagen die Energie die vor Ort vorhanden ist effizient nutzen und auch die Abfallprodukte zu beachten.

### **Wie weit sind in der Architektur Oberflächen mit Nanostrukturen fortgeschritten und sind diese bereits marktreif?**

Prinzipiell ist dies in der Industrie schon sehr fortgeschritten, wie zum Beispiel selbstreinigendes Glas. Es gibt auch verschiedene Möglichkeiten Nanostrukturen herzustellen, wobei manche mehr und manche weniger nachhaltiger sind. Speziell auf die Farben bezogen gibt es das schon als technische Umsetzung aber ich weiß nicht wie weit die Industrie diese schon in der Masse herstellt und verkauft. In der Architektur ist dies noch nicht Standard. Selbstreinigende Oberflächen schon aber „Structures and Colours“ noch nicht.

### **Gibt es abgesehen von Nanostrukturen noch andere Möglichkeiten auf die verschiedenen Klimabereiche einzugehen?**

Es gibt einen Bereich des Nutzerverhaltens. Von der Gebäudedefunktion gibt es verschiedene Nutzungstypen was das Klima betrifft. Zum Beispiel braucht man in einem Spital ein sehr regelmäßiges Klima während in einem Einfamilienhaus es immer auf die Toleranz des Besitzers ankommt. Es gibt Leute für die es kein Problem ist, dass es im Winter 18 und im Sommer 26 Grad hat. Zusätzlich muss man auch die verschiedenen Zimmerfunktionen beachten. Die wärmeren Räume kann man südlich orientieren und kältere Räume auf der anderen Seite. Dann ist die Frage wie man den Energieaustausch zwischen Innen und Außen modifizieren kann. Hier ist das Passivhaus ein Versuch, indem man den Luftaustausch zwischen Außen

und Innen möglichst minimiert. Wichtig ist vor allem eine gute Dämmung. Oder dynamische Fassadensysteme zu entwickeln die Energie aufnehmen und die Vermittlung zwischen Innen und Außen dynamisch bewältigen können. Das geht sehr in die lebende Architektur hinein. Hier arbeiten viele Forschungen daran. Auch die Bioskin Studie war ein erster Schritt in diese Richtung.

Betrachtet man noch die Klimatisierung ist auch der Wasserhaushalt extrem wichtig. Der Feuchtigkeitsgehalt und die Verdunstung sind extrem wichtig für die Thermodynamik. Das macht die Forschung in dem Bereich sehr komplex.

Gerade wenn man mit Biomasse arbeitet, hat man ja die ganzen Abfallprodukte vom Haus. Durch die Sanitärsysteme kann zum Beispiel mithilfe Biomasse Energie erzeugt werden. Es geht immer darum in der Bionik Kreisläufe zu generieren und freie Energie und freie Ressourcen zu nutzen. Das ist sozusagen der strategische Ansatz den man allgemein verwenden kann. Hier gibt es sehr viele Möglichkeiten zur Umsetzung und zur Nutzung. Zum Beispiel Heizsysteme die auf Abfallprodukten basieren oder auch Biogasanlagen und Algenfassaden.

### **Wie wichtig ist es, Materialien zu verwenden die vor Ort natürlich abbaubar sind?**

Es ist immer gut die Materialien vor Ort zu verwenden weil dann der Transportweg kürzer ist. Zusätzlich gibt es auch vor Ort natürlich viel mehr Erfahrung zu dem Material. Hier hat man auch Ressourcen in Form von Know-how, was sich dann bis zu einem gewissen Teil auch bezahlt macht, da die Bauqualität proportional ansteigt. Das Thema Nachhaltigkeit ist auch sehr Ortsbezogen. Zum Beispiel haben wir hier Holz als Baumaterial im Überfluss während es in Äthiopien eine Seltenheit ist. Es wäre nicht sinnvoll so lange Transportwege auf sich zu nehmen. Was bei uns nachhaltig ist, kann in Afrika ein totales Desaster sein. Man kann die Frage aber nicht pauschal beantworten sondern nur ungefähre Richtlinien erstellen. Zum Beispiel kann man sagen, dass es sinnvoll ist schwere Baumaterialien lokal zu besorgen. Während leichte Baumaterialien weiter transportiert werden können.

### **Wie könnte ein bionisches Haus in der Zukunft aussehen?**

Man kann versuchen ein Haus zu bauen wo möglichst viele bionische Innovationen vorhanden sind. Generell sollte man aber dem Haus nicht den Titel das „bionische Haus“ geben. Bionik ist eher als Innovationsprozess definiert.

### **Wenn das bionische Haus mit einem Smart Home verglichen wird so zeigt sich, dass die Regulierungsprozesse im letzteren hauptsächlich elektronisch ablaufen. Gibt es in einem bionischen Haus die Möglichkeit Prozesse nicht elektrisch sondern biologisch/chemisch/physikalisch zu regulieren?**

Es gibt ein paar passive Technologien aus der Biologie die man hier verwenden kann. Wie zum Beispiel die Feuchtigkeitsregulierung zum Öffnen und Schließen der Tannenzapfen. Das wäre eine passive Technologie mit totem Material. Durch die Einlagerung verändert sich die Materialstruktur sodass eine Bewegung entsteht. Das Prinzip kann man auch in der Architektur verwenden aber das Problem ist, dass die Bandbreite der Reaktion begrenzt ist. Das System reagiert zwar auf einen bestimmten Feuchtigkeitsbereich aber dieser ist meist nicht dynamisch. Wenn man das Material eingebaut hat kann man es nicht mehr verändern oder steuern. Deswegen ist es sinnvoll hybride Systeme zu entwerfen. Zum Beispiel Fassadenstrukturen die sich mit zunehmender Feuchtigkeit öffnen. Aber da bräuchte man dann Möglichkeiten um das wieder zu schließen. Unsere Klimazone ist sehr schlecht um mit Feuchtigkeit zu arbeiten da diese sowohl im Sommer als auch im Winter vorkommt. Die Feuchtigkeit korreliert

hier nicht direkt mit der Temperatur und funktioniert deswegen nicht als Steuerungsmechanismus. Deswegen müsste man bei uns solche bionischen Systeme zusätzlich elektronisch übersteuern. Das ist der Grund weshalb sich passive Systeme in der Industrie wenig durchsetzen. In anderen Klimazonen würden solche passiven Systeme aber ganz gut funktionieren.

### **Wie lang dauert es noch bis ein bionisches Haus in der Masse als Einfamilienhaus produziert werden kann?**

Es werden mittlerweile schon Häuser gedruckt also es kann sich viel verändern- es ist nur die Frage was genau daran bionisch ist. Diese bionischen Definitionen sind eher absurd. Denn so ein System hat so viele Teilkomponenten das es schwierig ist festzulegen ab wann genau etwas wirklich bionisch ist. Die Bauindustrie ist hier eher konservativ weil sie das sein muss. Das Bauen an sich ist verschiedenen Standards unterworfen. Diese müssen sich erst ändern und anpassen was eine relativ langsame Entwicklung ist. Zuerst gibt es erst einen Prototypenbau, dann eine Bauausstellung und dann einmal einen wagemutigen Bauherren der dann einmal ein Demonstrationshaus baut. Und nach 10 Jahren ist es dann im Markt.

Bei uns ist Kühlen energieaufwendiger als heizen. Es ist technisch wesentlich leichter in Regionen zu agieren wo entweder geheizt oder gekühlt werden muss.

Beim Projekt Bioskin haben wir gezielt Informationen gesammelt. Wir haben geschaut was es für die jeweiligen Teilfunktionalitäten für Vorbilder in der Natur gibt. Am Beispiel der Lichtleitung wurde geschaut wie ausschließlich bestimmte Lichtfrequenzen durch Fensterglas gelassen werden.

Viele Dinge lassen sich bildlich nicht darstellen. Da geht es um Prozesse oder Verhältnisse von Volumen zur Oberfläche, oder bestimmte Kennwerte. Aber auch die erwähnten Nutzerprofile. Man wird nicht alles visuell erfassen können.

**Danke für das Interview!**

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel „Beispiele aus der Bionik für effizientes Bauen“ selbständig verfasst habe, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe und ich sie zuvor an keiner anderen Universität und in keinem anderen Studiengang als Prüfungsleistung eingereicht habe. Alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder aus anderweitigen fremden Äußerungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.