

BioSkin – Forschungs- potenziale für bionisch inspirierte energieeffiziente Fassadentechnologien

S. Gosztanyi, P. Gruber,
F. Judex, M. Brychta, S. Richter

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

46/2013

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

BioSkin – Forschungspotenziale für bionisch inspirierte energie- effiziente Fassadentechnologien

Dipl.-Ing. Susanne Gosztanyi,
Dr. Florian Judex, Dipl.-Ing. Markus Brychta,
Stephan Richter, BSc, Reiner Braun, MSc.
AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Dr. Petra Gruber
transarch, office for biomimetics and transdisciplinary architecture

Internationales ExpertInnenteam (Projektsupport)

Prof. George Jeronimidis
University of Reading, Centre for Biomimetics, Großbritannien

Prof. Thomas Speck
Universität Freiburg, Kompetenznetz Biomimetik, BLOKON, Deutschland

Dr. Susanne Geissler
Austrian Energy Agency (jetzt: SERA energy & resources e.U.), Österreich

Prof. Sergio Altomonte
University of Nottingham, School of the Built Environment, Großbritannien

Wien, Mai 2013

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse www.HAUSderZukunft.at Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	12
1.1	Ausgangslage und Motivation	12
1.2	Zielsetzung des Projekts	13
1.3	Struktur und Aufbau des Projekts.....	16
2	Hintergrundinformationen zum Projektinhalt	18
2.1	Vorarbeiten und Stand der Technik.....	18
2.2	Innovationsgehalt des Projekts	29
2.3	Verwendete Methoden	31
2.4	Vorgehensweise und Erläuterungen zu verwendete Daten	37
3	Ergebnisse des Projektes.....	41
3.1	Phase 1 Energie-Funktionen einer ‚Fassade der Zukunft‘	41
3.2	Phase 2 Recherche biologischer Vorbilder	54
3.3	Phase 3 Konzeptentwicklung und Analysen.....	67
3.4	Phase 4 Aufbereitung der Ergebnisse.....	122
4	Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms	131
4.1	Einpassung in das Programm	131
4.2	Beitrag zum Gesamtziel des Programms.....	131
4.3	Einbeziehung der Zielgruppen	131
4.4	Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale	133
5	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	134
6	Ausblick und Empfehlungen	136
7	Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis	138
8	Anhang.....	146

Kurzfassung

BioSkin - Forschungspotenziale für bionisch inspirierte energieeffiziente Fassadentechnologien

Ausgangssituation und Motivation

Berücksichtigt man die Tatsache, dass die Fassade den im Allgemeinen größten Oberflächenanteil an der Gebäudehülle besitzt, so beinhaltet sie das wesentlichste Gewinn- bzw. auch Verlustpotenzial in punkto Energie und Komfort. Sie soll nicht nur vor unerwünschten klimatischen Einflüssen schützen, sondern auch solare Energie nutzen, für einen hohen thermischen und visuellen Komfort sorgen, sowie Tageslicht- und Frischluftversorgung regeln. Nicht zuletzt soll sie den ästhetischen, psychologischen, physiologischen und sozialen Bedürfnissen der Bewohner/innen Rechnung tragen. Diese vielschichtigen Ansprüche stellen die Fassade vor einige technische Herausforderungen, zeigen jedoch auch das enorme Potenzial der Fassade zur Energieeinsparung und zur Reduktion von CO₂ Emissionen von Gebäuden.

Die Suche nach neuen Lösungen für, langfristig gesehen, intelligente nachhaltige Fassaden, welche ein Maximum an Energieeffizienz und Komfort mit einem Minimum an Ressourcenverbrauch und grauer Energie verbinden, ist das Leitmotiv der Grundlagenstudie BioSkin.

Vom Menschen erbaute Konstruktionen und biologische Systeme sind den gleichen Einflüssen und Ansprüchen ausgesetzt. Deshalb ist es möglich, Lösungsansätze von biologischen Systemen mit technischen Anforderungen zu vergleichen.

Zielsetzung

Das Ziel der Grundlagenstudie ist daher, die Potenziale der fachübergreifenden Wissensdisziplin Bionik zu nutzen, um innovative Ansätze aus der Natur für neue Fassadenkonzepte zu identifizieren. Die Suche im großen Diversitätspool der Natur wird dabei durch Zielindikatoren für die Fassade gelenkt: Integrative Multifunktionalität (Einbettung von Funktionen in Material-Strukturen), selbstregulierende Adaptation (selbstaktivierende Anpassungsfähigkeit) sowie Ressourcenschonung und Verortung (regionale Nutzung und Einsatzoptimierung von Materialien)

Methodische Vorgehensweise

Für die Studie wird die Idee der Bionik, von der Natur zu lernen, und deren Ansatz der Analogieforschung (Top-Down Prinzip) angewandt, welche auf Basis von exakten Fragestellungen zu Funktionsfähigkeiten Analogien in der Natur sucht, deren Funktionsprinzipien identifiziert und deren Übertragungsfähigkeit evaluiert. Vielversprechende biologische Funktionsprinzipien werden in weiterer Folge durch mehrere Abstraktions- und Selektionsprozesse einer technischen (bionischen) Konzeptentwicklung zugeführt.

Die Evaluierung der Ergebnisse wurde durch einen Innovationsprozess und durch die Einbindung eines international renommierten, interdisziplinären Expert/innenteams aus

Architekturbionik, Fassadenforschung, Chemie, Biologie, Materialwissenschaften, Botanik und Ökologie entlang der Projektlaufzeit begleitet.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Auf Basis der Erhebung des Status Quo moderner Fassadenlösungen und der Trends für zukünftige Fassaden sind 40 Funktionskriterien definiert worden, welche von technischen Kennwerten in abstrahierte Anforderungsqualitäten übersetzt wurden. Diese Anforderungsqualitäten sind in biologische Fragestellungen übertragen worden, um umfassende Recherchen über potenzielle biologische Vorbilder durchführen zu können. Insgesamt konnten rund 240 biologische Organismen mit Potenzial für eine Übertragung der Funktionsprinzipien auf Fassaden identifiziert werden. Davon sind 43 Vorbilder in biologische Kenndatenblätter eingearbeitet worden, welche in einer geordneten Struktur die biologischen Funktionsprinzipien der Organismen veranschaulichen. Die Ergebnisse sind in der Datensammlung "biological data base" zusammengefasst.

In einem nächsten Schritt sind in einem mehrstufigen Verfahren über systematische Selektions- und Evaluierungsmethoden rund 30 biologische Funktionsprinzipien für eine bionische Konzeptentwicklung extrahiert worden. Auf Basis eines entwickelten bionischen Übertragungsprozesses wurden insgesamt 37 Entwurfsskizzen für mögliche bionische Fassadenkonzepte erarbeitet. Vier bionische Konzepte sind konkreter betrachtet und auf deren Anwendungspotenzial in definierten Referenzszenarien mit Gebäudetypen, thermischen Qualitäten und klimatisch unterschiedlichen Standorten geprüft worden.

Die zukunftsweisenden Fassadenanforderungen (functional data base), die Sammlung potenzieller biologischer Vorbilder (biological data base) sowie die bionischen Fassadenkonzepte (Best Case Models) stehen online als „Katalog für bionisch inspirierte Fassaden“ für weiterführende Forschung und Entwicklung zur Verfügung.

Die Ergebnisse dieser Grundlagenstudie bieten neue Forschungsperspektiven für innovative energieeffiziente Fassadentechnologien und wertvollen interdisziplinären Know-how-Zuwachs für unterschiedliche Wissenschaftsdisziplinen und für die Bauindustrie.

Ausblick und Empfehlungen

Das positive Feedback bei Verbreitungsaktivitäten und die umfangreiche Datensammlung schafften reges nationales und internationales Interesse an den Ergebnissen mit Perspektiven auf mögliche F&E Folgeprojekte.

Der für das Projekt BioSkin entwickelte Innovationsprozess stellt Methoden und Tools für die herausfordernde interdisziplinäre Schnittstellenarbeit zwischen technischen Wissenschaften und Naturwissenschaften zur Verfügung. Die Mitwirkung von geschulten Bioniker/innen ist dabei unverzichtbar. Die rasanten Entwicklungen in den Fassadentechnologien und das Feedback aus der Bionikforschung und Industrie verdeutlichen, dass Forschungsprojekte (experimentelle Forschung) auf Basis der entdeckten Potenziale in der Studie möglich sind, um bionische Ideen zu Produkten und Systemen weiterentwickeln zu können.

BioSkin Online-Plattform – <http://www.bionicfacades.net>

Abstract

BioSkin – Research potentials for biologically inspired energy efficient façade components and systems

Starting point and motivation

Human-made constructions and biological systems are exposed to the same environmental influences and needs. Therefore, it is possible to compare solutions for biological systems with technical requirements.

Considering that the façade has the largest surface area of the building envelope, it also holds substantial potential for gain and loss of energy and comfort. Modern façades shall not only protect from unwanted influences, but also utilize solar energy, provide high thermal and visual comfort, and control daylight and fresh air inlet. Last but not least, they shall take the aesthetic, psychological, physiological and social needs of residents into account.

These complex demands pass a great technical challenge on facades, but also show the great potential for saving energy and reducing CO₂ emissions from buildings.

The search for new and robust solutions for – in the long term - truly sustainable intelligent facades, which combine maximum energy efficiency and comfort with minimum resource consumption and embodied energy, is the leading motif of the basic research study BioSkin.

Scope and objectives

The objective of the basic research study is to utilize the potential of the cross-disciplinary knowledge field Biomimetics to identify innovative, natural solutions for new facade designs. Research is directed by target indicators for the facade of the future: Integrative multifunctionality (embedding functions in material-structures), self-regulating adaptation (self-activating adaptability), and conservation of resources and localization (local usage and application optimization of materials).

Methodological approach

For the study, the core mission of Biomimetics - to learn from nature - and the analogy research process (top-down principle) is applied. It investigates, on the basis of precise questions, functional skills analogies in nature, identifies their principles and evaluates their transmission capability. Promising biological principles are subsequently transferred by several abstraction and selection processes to new (biomimetic) technical concepts.

The evaluation of results is accompanied by an innovation process and by the involvement of an internationally renowned, interdisciplinary team of experts from biomimetic architecture, façade research, chemistry, biology, materials science, botany and ecology throughout the project duration.

Results and conclusion

Based on a survey of the status quo of modern façade solutions and the trends for future facades, 40 functional criteria have been defined, which are translated from technical

parameters to abstract quality requirements. These requirements have been conferred to biological questions to carry out extensive research on potential biological models. In total, some 240 biological organisms have been identified, whose characteristics show transmission potential for facades. 43 role models have been incorporated into biological data sheets, based on templates in an ordered structure, to illustrate the function and the biological characteristics of the organism. The results are summarized in the data collection "biological data base".

In a next step, following an iterative process of systematic selection and evaluation, about 30 biological principles have been extracted as a design basis for biomimetic concepts. Applying a biomimetic transfer process, 37 sketches for possible biomimetic façade concepts have been developed. Four biomimetic concepts have been considered for specific analysis to test their application potential in defined reference scenarios including types of buildings, thermal qualities and different climate locations.

The future facade requirements (functional data base), the collection of potential biological role models (biological data base) and the biomimetic façade concepts (best case models) are available online in a "catalogue for bio-inspired facades" to enable more interdisciplinary research and development.

The results of this study provide a basis for new and usable research perspectives on innovative energy-efficient façade technologies, and valuable interdisciplinary know-how for various scientific disciplines and for emerging technologies in the construction industry.

Future prospects

The positive feedback from dissemination activities and the extensive data collection triggered high interest on national and international levels for further R&D developments.

The innovation process of BioSkin provides methods and tools for the challenging and interdisciplinary exchange activities between technical and natural sciences, which have been made available for similar projects. Herein, the involvement of Biomimetic experts is essential.

The rapid development traced in façade technologies and the positive feedback from biomimetic disciplines and industry show that the identified potential of the study can be advanced to experimental research projects in order to develop biomimetic products and solutions.

Links

BioSkin Online Plattform – <http://www.bionicfacades.net>

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Motivation

Die Rolle der Gebäudehülle hat sich aufgrund der Vorgaben zur Effizienzsteigerung von Gebäuden im Rahmen der Klima- und Energieaktionspläne (Richtlinie 2010/31/EU) grundlegend von einer passiven Schutzhülle zu einem aktiven Regulator der Energiebilanz eines Gebäudes gewandelt. In modernen Gebäudekonzepten werden daher der Gebäudehülle nicht nur bauphysikalisch hochwertige Eigenschaften abverlangt, sondern auch selbst-adaptive Fähigkeiten zur Klimaregulation im Gebäudeinneren bis hin zur Gewinnung von solarer Energie (EU Kommission 2006).

Die Fassade besitzt durch den im Allgemeinen größten Oberflächenanteil an der Gebäudehülle ein wesentliches Gewinn- bzw. auch Verlustpotenzial in punkto Energie und Komfort. Sie soll nicht nur vor unerwünschten klimatischen Einflüssen schützen und für einen hohen thermischen, hygienischen und visuellen Komfort sorgen, sondern auch den ästhetisch-kulturellen Bedürfnissen durch ein identitätsstiftendes Erscheinungsbild Rechenschaft tragen. Nicht zuletzt soll sie die solare Energie aktiv und passiv bestmöglich nutzbar machen, und wird damit zu einem adaptiven multifunktionalen System (Schittich, C. (Hrsg.), 2006). Diese vielschichtigen Anforderungen stellen die Fassade vor große Herausforderungen, zeigen jedoch auch das enorme Potenzial zur Einsparung von Energie und zur Reduktion von CO₂ Emissionen.

Durch die Komplexität, sowohl ästhetische Gestaltung, formale Bedingungen als auch funktionale Aufgaben zu vereinen, steht die Fassadentechnik im Fokus aktueller Entwicklungen im Bauwesen. Es findet nicht nur eine Umorientierung in der Bereitstellung von nachhaltiger Energie durch fassadenintegrierte regenerative Technologien statt, sondern auch ein Umbruch bei der Lösungsfindung zukunftsfähiger Konzepte für Energieeffizienz. Der lebenszyklusorientierte Energie- und Informationsaustausch mit der Umwelt gilt dabei als ausbaufähige Strategie für künftige Gebäude- und auch Fassadenkonzepte. Dabei soll der Bedarf und der Verbrauch von Ressourcen und Energie trotz wechselnder Bedingungen durch anpassungsfähige, interagierende Funktionen des Gebäudes optimiert bzw. ausgeglichen werden.

In der Natur finden sich viele, über die Evolution gut ausgereifte Beispiele, die Entwicklungspotenziale zu dieser Strategie liefern können. Biologische Organismen zeigen unterschiedlichste Ansätze auf, wie Energieinput und -output durch permanente Kommunikation und raffinierte Anpassungsmechanismen in Balance gehalten werden. Eingebunden in ein nachhaltiges Kreislaufsystem, sind gut abgestimmte Multifunktionalität und Adaptivität inhärente Eigenschaften biologischer „Energiekonzepte“. Die Anforderungen einiger biologischer Organismen gleichen denen des Gebäudes bzw. der Gebäudehülle in physikalischer und regulativer Hinsicht, und können daher als Inspirationspool für weitere nachhaltige Ansätze zur Energieeffizienz dienen.

1.2 Zielsetzung des Projekts

Die Suche nach evolutionär optimierten Effizienz- und Anpassungsstrategien in der Natur ist das Leitmotiv für die Grundlagenstudie *BioSkin – Forschungspotenziale für bionisch inspirierte energieeffiziente Fassadentechnologien*. Dazu wird die Bionik als interdisziplinäre Wissenschaftsdisziplin und Bindeglied zwischen Naturwissenschaften und technischen Wissenschaften als Methode und Ideengenerator eingesetzt, um wirksame Potenziale für die Entwicklung von neuen energieaktiven Fassadensystemen aufzuspüren (Abbildung 1).

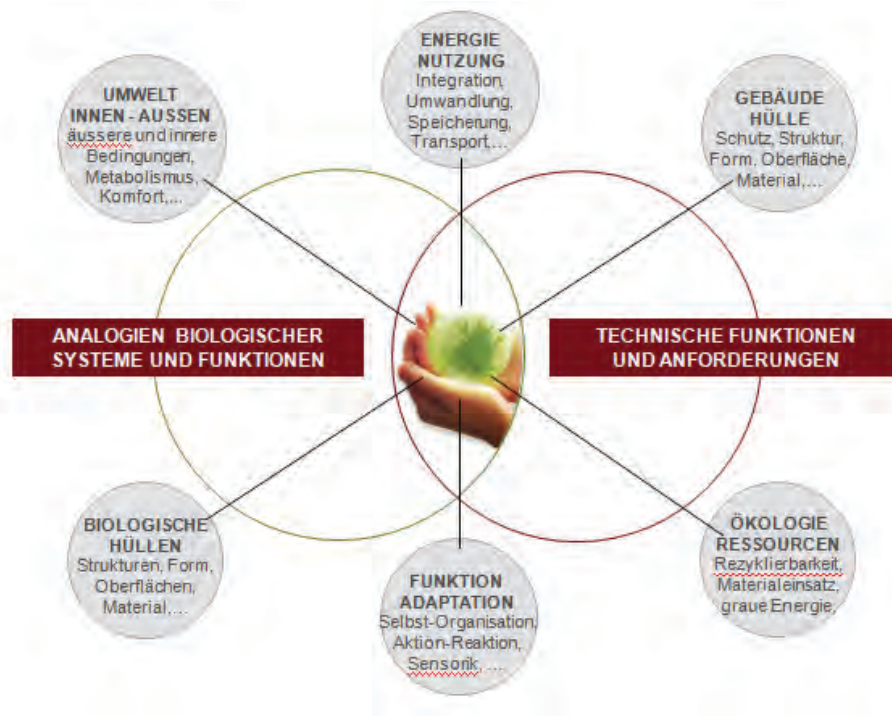


Abbildung 1: BioSkin Leitmotiv – Analogieforschung für energieeffiziente Fassaden der Zukunft

Die zentrale Frage der Grundlagenstudie ist, inwiefern biologische Funktionsprinzipien innovative Potenziale aus der Bionik für alternative nachhaltige Lösungen zur Leistungssteigerung von adaptiven multifunktionalen Fassaden übertragbar sind. Es wurde dabei der Fokus auf jene Prinzipien gelegt, welche die additive Komponenten- und Bauteilsystematik der Multifunktionsfassade durch selbst-adaptive und integrative Konzepte ergänzen oder ersetzen könnten, um das technische System zu vereinfachen ohne dessen Funktionsfähigkeit zu vermindern. Des Weiteren wurden integrative Ansätze für Ästhetik und Funktion sondiert, um die architektonischen Ansprüche für energieeffiziente Fassaden im Sinne einer flexiblen Gestaltbarkeit zu berücksichtigen. Drei Hauptindikatoren für eine zukunftsfähige innovative Fassade dienten dabei als Evaluierungsinstrument:

- Integrative Multifunktionalität (Einbettung von Funktionen ins Bauteil oder Material oder Geometrie, Material-Strukturoptimierung, architektonischer Mehrfachnutzen)
- Selbstregulierende Adaptation (bestmögliche Nutzung verändernder lokaler Bedingungen durch Anpassungsfähigkeit und Interaktion der Bauteile oder Materialien)

- Ressourcenschonung und Verortung (Materialrecycling, regionale Nutzung und Einsatzoptimierung von nachhaltigen Materialien)

Für die Studie wurde der bionische Top-Down Ansatz, also die systematische Analogiesuche nach Energieeffizienzstrategien biologischer Organismen, gewählt, welcher auf Basis von exakten Fragestellungen zu Funktionsfähigkeiten passende Analogien in der Natur sucht, deren Funktionsprinzipien sondiert und deren Übertragungsfähigkeit evaluiert. Vielversprechende biologische Funktionsprinzipien werden in weiterer Folge durch mehrere Abstraktions- und Selektionsprozesse einer technischen Konzeptentwicklung zugeführt und mithilfe von Erstanalysen auf deren Machbarkeitspotenzial hin geprüft.

Dabei wurden folgende Gesamtziele verfolgt:

- Evaluierung des „bionischen“ Potenzials für nachhaltige und energieeffiziente Gebäudehüllen bzw. Fassadenkonzepte durch den Transfer von Prinzipien biologischer Vorbilder.
- Evaluierung der Anwendbarkeit der Analogieforschung in der Bionik und interdisziplinärer Methoden zur Übertragung biologischer Prinzipien in technische Entwicklungen im Rahmen der Forschungsaufgabe „emergente Fassade“.
- Identifikation effektiver Analytik zur gezielten Sondierung von biologischen Prinzipien, Strukturen oder Funktions- bzw. Verfahrensweisen für Fassadentechnologien.

Herausforderungen und Nicht-Ziele

Das Ziel, nach Energieeffizienzstrategien biologischer Organismen zu suchen, diese zu selektieren und zu transferieren, um daraus bionische Potenziale aufzuzeigen, welche die komplexen und durchaus auch widersprüchlichen Anforderungen der modernen Fassade durch selbstregulierende und integrative Konzepte ergänzen oder ersetzen könnten, stellte das Projektteam sowohl methodisch als auch inhaltlich vor eine große Herausforderung.

Die Zusammenführung von bionischem und dem technischen Know-how für klima-adaptive energieeffiziente Fassadensysteme der Zukunft war ein neuartiges Unterfangen für das Projektteam. Zum Zeitpunkt des Projektstarts konnte man auf wenig bis keine Literatur und Erfahrung in diesem Kontext zurückgreifen. Um eine systematische Untersuchung erfolgreich durchführen zu können, wurde für die Studie daher ein Innovationsprozess entwickelt, der die grundlegenden Bedingungen zur Durchführung (zB Erarbeitung von Zielkriterien, qualitative Evaluierung, Selektionsprozess, etc.) bis hin zum effizienten Herausfiltern der, für die technischen Problemlösungen relevanten Aspekte begleitete.

Die zwei wesentlichsten Ziele im Prozess wurden durch die Einbindung eines interdisziplinären Teams aus internationalen Expert/innen der Architekturbionik, Fassadenforschung, Chemie, Biologie, Materialwissenschaften, Botanik und Ökologie, und durch die Integration unterschiedlichster Methoden aus der Innovationsforschung, Produktentwicklung und wissenschaftlichen Analytik gestützt:

- Interdisziplinarität

Die Identifikation, Selektion und Übertragung biologischer Funktionsprinzipien auf technische Konzepte verläuft über mehrere Abstraktions- und Modifikationsschritte und ist nicht trivial. Ihre Umsetzung verlangt von den Projektbeteiligten ein hohes Maß an Interdisziplinarität und ein Basisverständnis der unterschiedlichen Fachtermini. Ein funktionierender Wissensaustausch und der Wille zur Kooperation zwischen den Naturwissenschaften (Biologie, Physik, Chemie, etc.) und Ingenieurwissenschaften (Verfahrenstechnik, Bautechnik, Architektur, etc.) sind unabdingbar und müssen einen besonderen Stellenwert in einem Bionikprojekt einnehmen.

- Methodenentwicklung

Es mussten Methoden zur Identifikation, Übertragung und Evaluierung zum Teil angepasst oder erst entwickelt werden, und entsprechend interdisziplinäres Know-how im Team aufgebaut werden. So konnte diese Studie neben den Erkenntnissen für die Fassadenforschung auch einen Pioniersbeitrag in das internationale Netzwerk der Bionikforschung im europäischen Raum einbringen. Dieses zeigt sich auch am regen Interesse an der Studie (siehe Verbreitung, Kapitel 3.4) und dem Beitrag von BioSkin für die in Vorbereitung befindliche VDI Richtlinie 6226: Bionik – Architektur, Ingenieurbau, Industriedesign (VDI 6226).

Nicht-Ziele der Grundlagenstudie waren:

- Statik/ Bautechnik

Im Projekt wurden keine bautechnischen, statischen oder mechanischen Beanspruchungen und Belastbarkeiten untersucht. Dies betrifft Untersuchungen wie zB: Leichtbaueigenschaften (Tragfähigkeit, Standfestigkeit, Steifigkeit bzw. Festigkeit des Materials, Gewicht, etc.), Montage, Beanspruchungen durch Witterung.

- Akustik

Behaglichkeitskriterien für den akustischen Komfort wurden vernachlässigt, da kein direkter Zusammenhang mit Energieeinsparung oder Energieverlust gesehen wurde. Dennoch wird bei der Auswahl der möglichen Potenziale auf diese Kriterien Rücksicht genommen, sofern ein direkter Zusammenhang hergestellt werden konnte.

- Technischer Reifegrad der Lösungen

Die Ergebnisse der Grundlagenstudie stellen eine Liste an bionischen Ansätzen und Optionen entlang der vier Entwicklungsphasen des Projekts dar, die vorwiegend das Ziel haben, das Potenzial der Bionik für Energiefragen für Fassaden aufzuzeigen. Es war kein Ziel der Studie, konkrete technische Lösungsansätze für eine Aufgabenstellung zu entwickeln bzw. eine Vorstudie für eine industrielle Produktentwicklung im gewünschten Detaillierungsgrad zu fertigen. Dennoch sind einige der bionischen Konzepte durchaus bereits durch numerische Analysen als grobe Vorstudie für mögliche Weiterentwicklungen verwendbar.

1.3 Struktur und Aufbau des Projekts

Um die in der Grundlagenstudie BioSkin angestrebten Gesamtziele zu erreichen, sind vier Entwicklungsphasen bzw. Arbeitspakete entlang der Projektlaufzeit definiert worden.

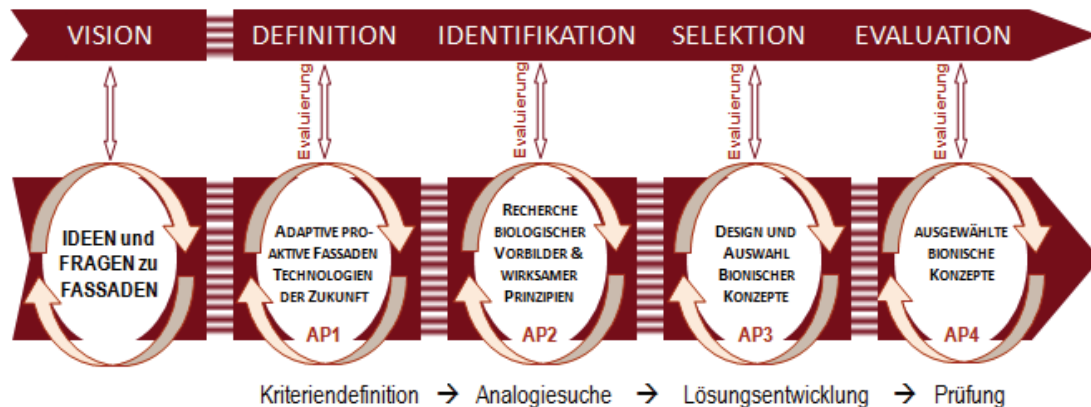


Abbildung 2: Projekttablauf in BioSkin basierend auf dem Top-Down Ansatz in der Bionik

Die **VISION** und die **DEFINITION** sind in Phase 1 (**AP1**) – „Adaptive pro-aktive Fassadentechnologien der Zukunft“ festgelegt worden. Auf Basis der Erhebung des Status Quo über die energetischen Funktionsaufgaben von modernen Fassadentechnologien und einer Aufstellung von gewünschten Anforderungen an eine visionäre nachhaltige Fassade der Zukunft sind Funktionsprofile in einer Matrix zusammengeführt worden. Diese sind als Ausgangsbasis bzw. Fragestellungen für Phase 2 detailliert aufbereitet worden.

Phase 2 (**AP2**) - „Recherche biologischer Vorbilder & wirksamer Prinzipien“ hat sich auf die **IDENTIFIKATION** biologischer Vorbilder bzw. geeigneter Analogien von biologischen Strukturen, Systemen und Prozessen konzentriert. Die potenziell wirksamsten Beispiele bzw. Prinzipien sind in dieser Phase durch Abstrahierung und Bewertung der Realisierbarkeit ausgewählt und in biologische Kenndatenblätter übertragen worden.

Die **SELEKTION** potenzieller bionischer Konzepte ist in Phase 3 (**AP3**) – „Auswahl und Design bionischer Modelle“ erfolgt, indem mittels Kreativitätsmethoden Grundmodelle „bionischer“ Fassadenkonzepte auf Basis der biologischen Kenndatenblätter entwickelt worden sind. Deren Übertragbarkeit auf die Fassadentechnik ist zuerst qualitativ evaluiert worden, und anschließend mittels quantitativer Untersuchungsmethoden (z.B. numerisch dynamische Simulationen) geprüft und bei positiver Beurteilung als Best Case Modelle aufbereitet worden.

Als letzten Schritt hat in Phase 4 (**AP4**) – „Anforderungen ausgewählter bionischer Konzepte“ die **EVALUATION** der Konzepte und die Aufbereitung der Best Case Modelle stattgefunden, welche in einem Katalog online aufrufbar zusammengefasst ist. Die bionische Potenzialerhebung wird so für weiterführende Forschung und Entwicklung als Datensammlung zur Verfügung gestellt.

Alle Arbeitsschritte des Projekts sind in Abbildung 2 als Überblick grafisch dargestellt, und in Abschnitt 2.4.1 im Detail beschrieben.

1.3.1 Kurzbeschreibung des Aufbaus des Endberichts

Der vorliegende Endbericht ist in sechs Hauptkapiteln sowie dem anschließenden Literatur-/Abbildungs- / Tabellenverzeichnis unterteilt:

1. Einleitung: Die Einleitung beschäftigt sich mit einer allgemeinen Einführung in die Thematik, der Ausgangssituation bzw. Motivation zur Durchführung des Projekts und den Zielsetzungen sowie der Struktur des Projekts.
2. Hintergrundinformationen zum Projekthalt: In den Hintergrundinformationen wird umfassend auf die Vorarbeiten zum Projekt und auf den Stand der Technik zum behandelten Thema im Rahmen dieser Studie eingegangen, relevante Verweise zu Hintergrundinformationen aufgelistet, sowie auf den Innovationsgehalt gegenüber dem Ist-Stand eingegangen. Auch werden hier im Detail die angewendeten Methoden erklärt und Erläuterungen zur Vorgehensweise und verwendeter Daten bzw. Informationen beschrieben.
3. Ergebnisse des Projekts: Das umfangreichste Kapitel ist Kapitel 3, da hier alle wesentlichen Ergebnisse und Erkenntnisse der Studie zusammengefasst sind. Diese reichen von der Entwicklung der Fragestellungen, der Analogiesuche von biologischen Vorbildern, über die Erkenntnisse aus den identifizierten vielversprechendsten biologischen Funktionsweisen und der Übertragung dieser in bionische Entwürfe bis hin zur Potenzialanalyse ausgewählter bionischer Konzepte.
4. Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms: In diesem Kapitel sind die Ergebnisse des Projektes in Zusammenhang mit der Einpassung in das Programm, sowie der Beitrag zum Gesamtziel des Programms „Haus der Zukunft Plus“ dargestellt. Weiteres wird auf die Einbeziehung der Zielgruppen eingegangen sowie zu den Umsetzungspotenzialen Stellung genommen.
5. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen
6. Ausblick und Empfehlungen

2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

2.1 Vorarbeiten und Stand der Technik

2.1.1 Vorarbeiten und begleitende Arbeiten

Bei den Vorarbeiten zur Erhebung des Status Quo innovativer Fassadentechnologien wurde inhaltlich weitläufiger ausgeholt, um einen übergeordneten Gesamteindruck im Sinne der bionischen Interdisziplinarität zu schaffen. Daher galten die Vorarbeiten einer Positionierung der Fassade im modernen Bauen, sowie der Entwicklung eines integralen Bildes zu den Grundmotivationen ‚Energieeffizienz und Nachhaltigkeit‘, ‚Moderne Fassadenanforderungen und multifunktionale Konzepte‘ und ‚Trends zur nächsten Generation von energieeffizienten Fassaden‘ (ab Abschnitt 2.1.2).

Dazu wurden folgende Vorarbeiten und begleitenden Arbeiten entweder aufbereitet oder durchgeführt:

- Aufbereitung von Erkenntnissen aus vorangegangenen Studien- und Forschungsprojekten zu Fassadentrends und--technologien sowie zu nachhaltigem Bauen,
- Expert/innen-Interviews mit Vertreter/innen aus Forschung und Industrie im Bereich Fassade, Bionik und Bauwesen,
- Organisation eines von AIT veranstalteten Workshop zum Thema „Fassade der Zukunft“ als Sondierung vor der Einreichung der Studie,
- Umfassende Recherchen und Austausch in internationalen Fachnetzwerken,
- Teilnahme und Wissensaustausch bei internationalen Symposien und Konferenzen zu innovativen Fassadentechnologien und zu Bionikforschung i. A.,
- Anknüpfung an eine parallel laufende Dissertation zum Thema Bionische Fassaden (siehe auch S. 20).

Grundlegende Fragestellungen waren: Welche Funktionen, Interaktionen, Herausforderungen muss eine moderne Fassade erfüllen? Was sind "innovative Fassaden der Zukunft"? Was bedeuten Komfort, Energieeffizienz, Multifunktionalität, Flexibilität, Sozial- und Umweltverträglichkeit,... für eine moderne Fassadentechnik? Welche Material- und Komponentenanforderungen werden gesucht?

Einige der Vorarbeiten, aus denen Erkenntnisse für die Studie gewonnen wurden, sind hier kurz vorgestellt:

- Auftragsprojekt der MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung – Energie und SEP-Koordinationsstelle: *Energieeffizienz für Glasfassaden in der Architektur*, Studie und Broschüre (Gosztonyi S., AIT, 2007).

- KinG – Kompetenznetzwerk innovative Gebäudetechnik: *Energieeffiziente HighTech – Fassaden der Zukunft*, Future Corner Workshop, organisiert von AIT, 27.03.2008 (Abbildung 3): Der Fokus lag in der Aufarbeitung bestehender Anforderungen, Visionen, Herausforderungen und Trends aus Sicht der Architektur mit den Schwerpunktfragen: Was bedeuten "innovative Fassaden der Zukunft" für die Architektur? Welche Visionen gibt es? Welche energieeffizienten Lösungen für Fassaden werden von Architekt/innen akzeptiert und eingesetzt? Welche Chancen und Risiken im Einsatz von energieeffizienten Fassadentechnologien werden gesehen? Welche Lücken und Barrieren bestehen?



Abbildung 3: KING-Workshop zu energieeffizienten Hightech-Fassaden der Zukunft, 27.3.2008

Ziel und Zweck des Workshops war, die technischen Entwicklungen zu energieeffizienten Fassaden aus der Sicht der Architektur zu beleuchten und Austausch zwischen den Experten/innen zu ermöglichen. Da der Workshop im direkten Vorfeld zum Start der Studie erfolgte, konnte die Erkenntnisse in die Projektphase 1 einfließen (siehe Kapitel 3.1)

Die Studie baute des Weiteren auf Erkenntnissen in internationalen Projekten auf, bzw. hatte Schnittstellen zu Projekten aus „Haus der Zukunft“ und „Neue Energien 2020“:

- SARA – Sustainable Architecture Applied to Replicable Public-Access Buildings (SARA/EU/TREN/FP6, 2004-2008),
- Baubionik Potenziale (Haus der Zukunft Plus, 2009-2012) (Gosztanyi et al, 2012),
- FUTUREbase (Haus der Zukunft Plus, 2010-2012) (Preisler et al, 2012).

Begleitende bzw. ergänzende Arbeiten zur Grundlagenstudie BioSkin:

- Inhalte dieses Endberichts (im Speziellen die Aufbereitung der Fragestellung, des Status Quo zu Fassaden sowie der bionischen Methoden, vgl. Kapitel 2.1.2, 2.3; sowie ergänzende Arbeiten in Phase 1, 3 und 4) geben sinngemäß Inhalte der

Dissertation zu „Biomimetic façades – Investigation of the potential from biological principles for adaptive energy-efficient facade design“ wieder, welche noch in Arbeit ist und voraussichtlich Mitte 2014 abgeschlossen wird (Gosztonyi, in Vorbereitung, 2014). Die Dissertation wurde parallel zur Entwicklung der Grundlagenstudie BioSkin begonnen und ergänzt die vom Projektumfang nicht abdeckbare, aber notwendige interdisziplinäre Vertiefung des spezifischen Know-hows und Methodenentwicklung.

- Austausch mit K-Projekt MPPF – *Multifunctional Plug & Play Facade*, COMET Programm (MPPF, 2008-2013): Das Forschungsprojekt MPPF, durchgeführt von einem Konsortium von 14 Partnern unter der Leitung der FIBAG, lief von 2008 bis 2013, also parallel zur Grundlagenstudie BioSkin. Aufgrund der Mitarbeit der Projektleiterin von BioSkin im Projekt MPPF wurde ein Wissensaustausch zu Fassaden und Bionik ermöglicht.

Im folgenden Kapitel werden jene Erkenntnisse aufgezeigt, welche bei der Festlegung der Zielkriterien in der ersten Projektphase dann auch Berücksichtigung fanden. Diese Erkenntnisse dienten im Laufe des Projekts auch als Evaluationshilfen.

2.1.2 Stand der Technik

Energieeffizienz und Nachhaltigkeit

Energieeffizienz - Der Gebäudesektor verbraucht europaweit rund 40% der großteils aus fossilen Brennstoffen aufbereitete Endenergie und ist damit einer der stärksten Verursacher von CO₂-Emissionen (EU Kommission, 2009). Zudem zeichnet sich z.B. durch den wachsenden Kühlenergiebedarf ein ansteigender Energieverbrauch in Gebäuden ab, dies auch in den gemäßigten mitteleuropäischen Klimaregionen.

Dieser Trend verdeutlicht den dringenden Handlungsbedarf in der Stärkung von Energieeinsparmaßnahmen im Gebäudesektor. Die politischen Rahmenbedingungen wurden durch das Inkrafttreten des „EU-Aktionsplans Energieeffizienz“ von 2006 (EU Kommission, 2006) und der daraus entwickelten europaweiten Implementierung der EU-Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ (EPBD 2002, December 2002) gelegt. Mit dieser Richtlinie bzw. der entsprechenden Energieausweispflicht wurde ein Meilenstein gesetzt, der die Verbesserung der energetischen Qualität von bestehenden und neuen Gebäuden sicherstellen soll.

Um jedoch die durch die Klimaschutzziele geforderte Nachhaltigkeit in der gebauten Umwelt realisieren zu können, reichen die bisherigen Energieeffizienz-Maßnahmen nicht aus. Auch auf politischer Ebene ist evident geworden, dass „massive Verringerungen der CO₂-Emissionen bis 2015 nötig sind, um auf den weltweiten Temperaturanstieg von 2°C beschränken zu können.“ (EU Kommission, 2006). Studien der EU-Kommission belegen, dass der Gebäudesektor bis zum Jahr 2020 ca. 30% weniger Energie verbrauchen könnte, wenn das enorme Energieeinsparpotenzial bei Gebäuden ausgeschöpft würde (EU Kommission, 2007).

Das Gebäude muss sich daher vom Niedrigenergie- bzw. Passivhaus hin zum Null-Emissions-Gebäude (Net Zero-Energy Building) bzw. Plus-Energie Gebäude weiterentwickeln. Um dieses Ziel erreichen zu können, muss ein Innovationssprung weg von dessen Rolle als ressourcenverbrauchender passiver Energieverbraucher hin zum ressourcenschonenden aktiven Energieproduzenten und smarten ‚Klimafilter‘ geschafft werden (vgl. Wirth, 2011, 2012). Die Einhaltung eines hohen Komfort- und Qualitätsanspruchs, als auch die Integration in lebenszyklusorientierte Modelle bilden dabei im Sinne der Nachhaltigkeit verbindliche Rahmenbedingungen.

Nachhaltigkeit - Der Begriff „Nachhaltigkeit“ ist ein in den letzten Jahren häufig missbräuchlich strapazierter Begriff. Um diesem Wildwuchs im Baubereich entgegenzuwirken, wird derzeit an der europäischen Norm CEN/TC 350 „Sustainability of construction work“ zur Definition und Bewertung von Nachhaltigkeit gebauter Umwelt gearbeitet (CEN/TC 350, 2010). Um Nachhaltigkeit von Gebäuden tatsächlich einfordern zu können, müssen die drei Säulen der sozialen, ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit berücksichtigt werden. Die Umsetzung dieser Zielsetzung basiert auf dem Verständnis des komplexen Zusammenspiels und der Ausbalancierung der drei Bereiche und findet im Gebäude als künftiges Qualitätsmerkmal eine unverzichtbare Übertragung.

Im Rahmen aktueller Entwicklungen zur Nachhaltigkeit von Gebäuden findet nicht nur eine Umorientierung in der Bereitstellung von Energie durch gebäudeintegrierte, regenerative Technologien statt, sondern auch ein Umbruch bei der Lösungsfindung zukunftsfähiger Konzepte für Energieeffizienz und Nachhaltigkeit. Der lebenszyklusorientierte Energie- und Informationsaustausch mit der Umwelt gilt dabei als besonders ausbaufähige Strategie für künftige Gebäudekonzepte (vgl. Wind & Heschl, 2008). Dabei soll der Bedarf und der Verbrauch von Material, Ressourcen und Energie trotz wechselnder Bedingungen durch recyclingfähige Stoffe, sowie anpassungsfähige interagierende Funktionen des Gebäudes optimiert bzw. ausgeglichen werden (Plattform Zukunft Bau, 2010).

In der Natur finden sich viele, über die Evolution gut ausgereifte Beispiele, die Entwicklungspotenziale zu dieser Strategie liefern können. Biologische Organismen zeigen unterschiedlichste Ansätze auf, wie Energieinput und -output durch permanente Kommunikation und raffinierte Anpassungsmechanismen in Balance gehalten werden. Eingebunden in ein nachhaltiges Kreislaufsystem, sind gut abgestimmte Multifunktionalität und Adaptivität inhärente Eigenschaften sämtlicher biologischer „Energiekonzepte“. Die Anforderungen einiger biologischer Organismen gleichen denen des Gebäudes bzw. der Gebäudehülle in physikalischer und regulativer Hinsicht, und können daher als Inspirationspool für neue nachhaltige Ansätze zur Energieeffizienz dienen.

Moderne Fassadenanforderungen

Lösungen zur Optimierung der Gesamtenergieeffizienz und Verbesserung der Nachhaltigkeit von Gebäuden berücksichtigen die Wechselwirkungen zwischen Umwelt (=Bedingungen), Mensch (=Anforderungen) und Gebäude bzw. Gebäudetechnik (=technische Umsetzung) als dynamisch agierende Funktionsparameter im Gebäude-/Energiekonzept. Moderne

Gebäudehüllen werden daher nicht nur bauphysikalisch hochwertige Eigenschaften abverlangt, sondern auch adaptive Fähigkeiten zur dynamischen Klimaregulation im Gebäudeinneren bis hin zur Gewinnung von solarer Energie (Deutsches Bundesministerium für Verkehr, 2011). Die Fassade steht dabei aufgrund der Komplexität, sowohl ästhetische Gestaltung, formale Bedingungen als auch funktionale Aufgaben zu vereinen, im Zentrum der Entwicklungen (siehe Abbildung 4)

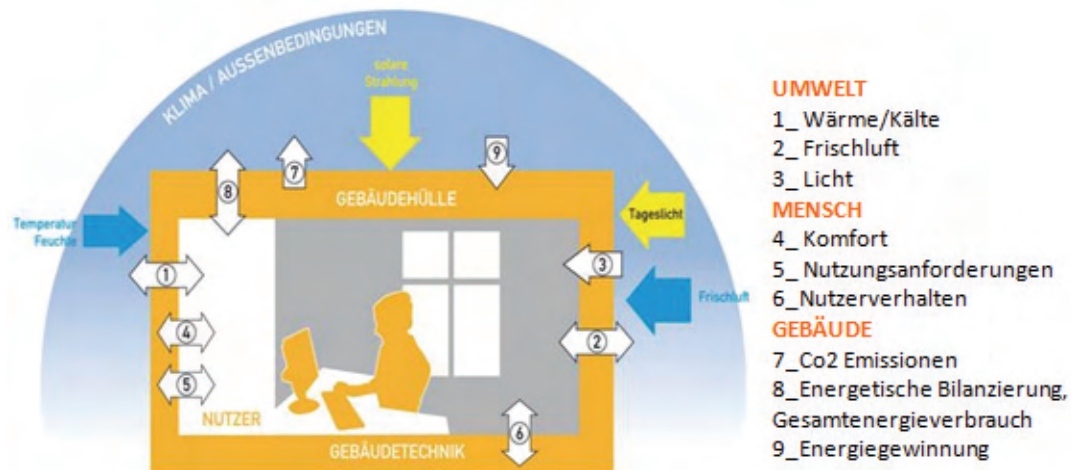


Abbildung 4: Energetische Anforderungen an die Gebäudehülle [Grafik aus Broschüre (MA 27, 2007)]

Moderne Fassaden müssen also anpassungsfähig sein und auf äußere sowie innere Bedingungen und Anforderungen reagieren können. Die Umsetzung solcher Strategien erfolgt derzeit vorrangig durch sogenannte "passive bauliche" und „aktive energetische" Maßnahmen, bzw. durch hybride Systeme, welche beide Ansätze verbinden (Gosztanyi, S.; Geissler, S.; Spitzbart, C., 2008). So wird zum Beispiel die Regulation des solaren Eintrags von Licht und Wärme, sowie der Frischluftzufuhr je Bedarf und Saison von einer rein bautechnischen Aufgabe immer häufiger zu einer gebäudetechnischen Aufgabe durch integrierte aktive Komponenten. Durch die Integration solarer Energietechnologien in die Fassade wird ein weiteres, immer stärker diskutiertes Spannungsfeld zwischen Architektur, Energiebereitstellung und urbane Flächennutzung eröffnet (vgl. Amtmann, M.; Gosztanyi, S.; Lechner, A.; Mach, T., 2012). Der konstante Energie- und Informationsaustausch zwischen Innen und Außen und die architektonische Qualität im städtischen Umfeld sind dabei Grundlage, Problemstellung und Zielsetzung zugleich.

Moderne Fassadensysteme erreichen bereits einen sehr hohen Standard in der Erfüllung von komplexen Anforderungen, wie z.B.:

- Vermeidung von Überhitzung durch hochwertige transparente Bauteile, wie z.B. Beschichtungen mit selektiven Eigenschaften, Sonnenschutzgläser oder automatisch gesteuerte Verschattungselemente,
- Minimierung der thermischen Verluste durch hocheffiziente Isolierverglasung und Wärmedämmung, sowie Nutzung passiver solarer Systeme wie z.B. der transparenten Wärmedämmung, die Sonnenenergie aktiv aufnimmt,

- Anpassung optischer, thermischer oder energetischer Eigenschaften von Fassadenoberflächen durch z.B. Smart Materials (z.B. chromogene, thermoelektrische, elektrorestriktive Glastechnologien).

Sie nutzen dazu häufig eine kombinierte Integration von materialbezogenen, gebäudetechnischen und solaren Komponenten. Dabei lassen sich folgende Entwicklungstrends herausfiltern:

- **MULTIFUNKTIONALITÄT:** Multifunktionalität durch die Mehrfachnutzung von Fassadenkomponenten, die neben der eigentlichen Aufgabe der Wärmedämmung, Witterungsschutz, Ästhetik, etc. auch haustechnische und klimaregulierende Aufgaben übernehmen (vgl. Haselsteiner, E., 2011).
- **SOLARE AKTIVIERUNG/ ENERGIE-HARVESTING:** In die Gebäudehülle werden aktive solare Energiesysteme (Photovoltaik, Solarthermie, Hybridsysteme, Mikrowindanlagen, etc.) integriert, um sie für die nachhaltige Energiegewinnung nutzbar zu machen (Hier findet sich immer häufiger das Prädikat "Gebäude-Kraftwerk") (vgl. Rennhofer, M., et al., 2011) (Rennhofer, M. et al., 2013)
- **ADAPTIVITÄT:** Aktive, sich an verändernde Bedingungen selbstanpassende Funktionselemente oder Funktionsmaterialien sollen künftig verstärkt zum ökologischeren und ökonomischeren Betrieb von Neubau und Revitalisierungen eingesetzt werden (vgl. Knaack, U.; Klein, T. (eds), 2008) (Ritter A., 2007).

Dennoch erfahren diese Systeme durch die Eigenheiten in deren Bauweise, deren Materialität oder der Integrations- und Steuerungsbedingungen der Komponenten eine Limitierung in der Robustheit, Zuverlässigkeit und Einsatzfähigkeit (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Herausforderungen an moderne Fassaden (eigene Darstellung)

Anforderungen	Herausforderungen	Problembereiche
Umwelt	Ausreichende Analyse von Standort und lokalen Ressourcen (Topographie, Orientierung, Verschattung durch Vegetation, Umgebung), Komfortqualität und Energiequellen	Verfügbarkeit – Unsicherheiten; Begrenzung der Nutzbarkeit natürlicher Ressourcen (Metabolismus); Bedarf vs Bedürfnisse (Diskrepanz zw Nutzung und der Energieeffizienz)
Gebäudeform, Gebäudehülle	Ästhetische Erscheinung versus energetisch-optimierte Hüllform (Neue Formgebung durch komplexere Anforderungen an Gebäudehüllen); Fertigungsprozesse ändern sich	Komplizierte Formen verlangen aufwendige Planung, Umsetzung; Abweichen von Standardlösungen, hohe Kosten, Planungsprozesse und Bauabwicklung ändern sich (integrales Design – Prototyping – Know-How)
Funktion	Funktionsvielfalt der Gebäudehülle (Klimatische Konditionierung, Aktivierung durch Solarsysteme, Wärmeschutz, etc.), Integration von gebäudetechnischen Anlagen in die Fassade	Hoher Fertigungsaufwand und höhere Kosten (Prototypen); keine zertifizierten Fassaden-Gesamtsysteme; keine einheitlichen Prüfverfahren, Zertifizierungssysteme; Dezentrale Komponenten (Fertigung, Montage- und Wartungsaufwand, Fehleranfälligkeit erhöht)

Anforderungen	Herausforderungen	Problembereiche
Konstruktion	Wahl neuer Tragwerke und Aufbauten (funktionale Schalen und Schichten); modulare Systeme; Interaktion von aktiven Haustechnik-Komponenten im bautechnischen System (Vereinfachung/Komplexität von Montage, Statik, Brandschutz, etc.)	Planungsaufwand, Abweichen von Standardlösungen, Potenziell höherer Wartungsaufwand, Kosten, höherer Energieaufwand möglich
Material – Smart Materials	High Tech Materialien (z.B. hocheffiziente Isolierverglasungen, Speichermaterialien, wie z.B. Aerogele, PCM) Ökologische Materialien (Recyclingfähigkeit)	Aufwendigere Herstellung und graue Energie-Bilanzierung; zu spezifisches Funktionsdesign (Ultra-High-Tech); Recycling bzw. lebenszyklusorientierte Prozesse nicht gelöst (Rohstoffgewinnung – verarbeitung vs. Nachhaltigkeit)
Ökologie Ökonomie	Optimierung des Energieverbrauchs bei Herstellung, Betrieb, Entsorgung; Einsatz von Smart Materials und ökologischen Materialien, Austauschbarkeit und Wiederverwertung	Teilweise großer Aufwand bei Herstellung und Entsorgung (Sondermüllgefahr); Ersatzprodukte Baustoffe; Hohe Rohstoffpreise, Ressourcenverfügbarkeit, Kostenoptimierung durch Vorfertigung,, Modularität und Trennbarkeit
Energie	Dezentrale Energiegewinnung und -speicherung, Minimierung des Verbrauchs	„Materialschlacht“ bzgl Dämmqualität, Tendenz zu Material und Komponentenüberladung anstatt Planungskompetenz, begrenzte Ressourcen und limitierende Bedingungen für Energieproduktion

Herausforderungen in der Planung - Bei einem gut abgestimmten Fassadenkonzept können die Einflussgrößen aus der Umwelt und die Anforderungen der Gebäudenutzer/innen die Energiebilanz des Gebäudes positiv beeinflussen; bei unzureichender Planungssorgfalt aber auch verschlechtern.

Aus den heute determinierten quantitativen Anforderungsstandards an die Fassade lassen sich energetisch zu erreichenden Materialkennwerte (U-Wert, g-Wert, etc.) für ein Gebäude- und Energiekonzept ableiten, die sich aus der Festlegung des Niveaus für Innenraumkomfort und Energieverbrauch ergeben. Die kalkulierten Kennwerte aus der Planung stimmen jedoch häufig nicht mit den gemessenen Werten im Betrieb des Gebäudes überein, da dynamische Faktoren nicht als Kennzahl einfließen (z.B. Nutzer/innenverhalten). Die künftige Aufgabe hierbei besteht darin, den Wettbewerb um die besten physikalischen Werte kritisch zu beleuchten bzw. eine integrale Herangehensweise zu finden, um die Nachhaltigkeit von Planungsmaßnahmen auch im Betrieb prüfen zu können.

Für die Fassadenplanung bedeutet dies, die unterschiedlichen Interventionsebenen von Formgebung über Konstruktion bis hin zur Materialität und Nutzung ganzheitlich zusammenzuführen, um das Gesamtsystem zu optimieren (vgl. Wibke, 2009). Dabei zeigen sich einige Hürden in der Planung und Praxis, die es z.B. mithilfe neuer Planungsmodelle und neuen Produktions- und Betriebsmethoden zu überwinden gilt.

Multifunktionale Fassadenkonzepte

Was in vielen modernen Fassadenkonzepten als eine Weiterführung des Konzepts der „Polyvalenten Wand“ von Mike Davies aus den frühen 80er Jahren (vgl. Knaack, U. et al, 2007) anmutet, hat sich in unterschiedlichsten Auslegungen als integrales energieeffizientes System für Nullenergie- oder Plusenergiegebäude unter dem Begriff „Multifunktionsfassade“ etabliert (vgl. Klein, 2013).

„Multifunktionsfassade“ oder „integrale Fassade“ werden jene Systeme genannt, welche die Fassade durch Integration von dezentralen Haustechnikkomponenten, funktionalen Bauteilen und „Smart Materials“ sowie Solartechnologien fit für eine aktive Rolle der Zukunft machen (Abbildung 5). Derzeit werden Multifunktionsfassaden als High-Tech Lösungen vorwiegend für den Markt mittel- und hochpreisiger Neubauten beworben.

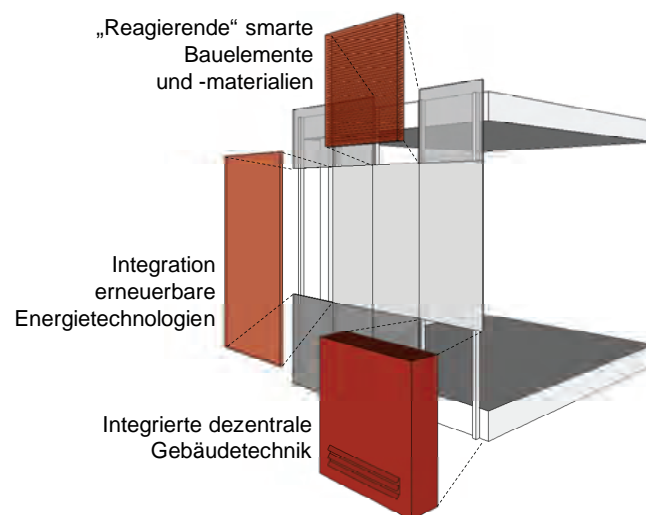


Abbildung 5: Multifunktionsfassade oder integrale Fassade – Integration von aktiven Komponenten (Solartechnologien, Haustechnik, Smarte Materialien [S. Gosztanyi, 2013])

Die integrierten Elemente oder Komponenten decken dabei mehrere Funktionen ab und/oder können einen Mehrfachnutzen als Fassadenbauteil übernehmen. Häufig sind funktionsintegrierte Fassaden auch modulare Systeme, welche über modulare vorgefertigte Elemente auf unterschiedliche Standortkonditionen und Nutzungswünsche angepasst werden können.

Die Vorteile von Multifunktionsfassaden im Allgemeinen sind (a) der Raumgewinn durch Verlagerung von haustechnischen Aufgaben in die Fassadenebene (v.a. Raumhöhe durch Wegfall von abgehängten Deckensystemen, Reduktion von Schächten und Kanälen), (b) der höhere Vorfertigungsgrad einzelner Komponenten oder/und des Fassadensystems und eine damit verbundene Senkung der Kosten und Fehleranfälligkeit bei Montage, (c) die logistische Vereinfachung von Sanierungsprozessen durch die Verlagerung von Versorgungsfunktionen in die Fassade, sowie (d) die hohe Qualität der Einzelkomponenten und (e) ein adaptiver Nutzerkomfort durch individuelle Regelung dezentraler Haustechnik.

Die Nachteile sind i.A. (a) der erhöhte Automatisierungsbedarf und die damit verbundene Steigerung der Fehleranfälligkeit im Betrieb, (b) der erhöhte Aufwand in Herstellung, Montage und Betrieb und damit kombinierte höhere Kosten, (c) die ungenügend vorhandene Standardisierung von Einzelkomponenten und die damit einhergehende schlechtere Austauschbarkeit (Kompatibilität), (d) die größere Wartungsintensität durch Vielzahl dezentraler Komponenten und (e) die Gewährleistung des Zugangs zu allen dezentralen Funktionskomponenten und des damit verbundenen wirtschaftlichen und logistischen Aufwand im Facility Management, sowie (f) der möglicherweise höhere Energieverbrauch durch einen individualisierten (ineffizienten) Betrieb oder Nutzungsverhalten.

Alle, in Tabelle 2 vorgestellten Multifunktionsfassadentypen beinhalten in unterschiedlicher Intensität die genannten Trends innovativer Fassadenkonzepte. Deren Anpassungsfähigkeit an dynamische Bedingungen (=Adaptivität) und deren Integrationsfähigkeit (=Integration von dezentraler Gebäudetechnik bzw. von solaren Energietechnologien) wurde besonders berücksichtigt. Um die unterschiedlichen Trendansätze systematisch zu erfassen, wurden die Fassadensysteme nach deren Hauptmerkmal gegliedert und deren wesentlichste Vor- und Nachteile angegeben. Die hier vorgestellten Beispiele haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und dienen nur als exemplarische Auswahl.

Tabelle 2: Typologien ausgewählter multifunktionaler Fassadensysteme (alle angegebenen Produkte/Systeme sind im Literaturverzeichnis angeführt)

Typologie	Hauptmerkmale	Vorteile / Nachteile	Exemplarische Beispiele*
Passive Solarfassaden (oder „Multi-Layer Fassaden“)	Multifunktionsfassaden mit integrierten passiven Fassadenelemente, wie zB transluzente Wärmedämmungen oder Speichermaterialien. Sind meistens aus einem mehrschichtigen Aufbau mit einer solaraktiven (z.B. absorbierenden) Schicht und einer solarpassiven (z.B. speichernden) Schicht	<ul style="list-style-type: none"> - Vorteile: Keine beweglichen Teile, keine MSR nötig, geringer Wartungsaufwand, „low tech“ Ansatz ermöglicht ökologische Qualität - Nachteile: Adaptivität auf Eigenschaften der Elemente limitiert (zB. keine Nachführung); solare Gewinne versus thermische Qualität des Aufbaus nicht für alle Bedingungen gut gelöst 	<ul style="list-style-type: none"> - Transluzente Wärmedämmsysteme (TWD) für Wand und Glas (vgl. gap-solution, Lucido®) - hochwirksame Wärmedämmstoffe im Nanometerbereich (z.B. Aerogele, VIP) - Speichermaterialien (z.B. Phase Change Materials, vgl. GlassX) - Trombe-Wand oder Polyvalente Wandaufbau (von Davis M.)
Grünfassaden	Sonderform der <i>passiven Solarfassaden</i> mit Schwerpunkt auf flächige Begrünung zur positiven Beeinflussung des Mikroklimas und passiver Kühleffekte (Lösungsansätze zur Steigerung des Mikroklimas in der direkten Umgebung zur Fassade).	<ul style="list-style-type: none"> - Vorteile: Aufwertung Stadtbild (urbane Grünflächen), klimatisch und energetisch wirksam, Lärmschutz, sehr gute Lebenszyklusqualität - Nachteile: Pflege und Wasserbedarf, keine aktive Nutzung der Solarenergie im oben genannten Sinn möglich, Kostenfaktor versus Energieeinsparung (Kosten vergleichbar mit Vorhangsfassade) 	<p>Fassadengebundene Begrünung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - flächige oder offenporige Grünschicht (z.B. System Vertigreen-Zinco) - Vorgehängte Kassetten- oder Wannensysteme (z.B. System Fassadengarten-Optigrün) - Vorkultivierte Fertigteilsysteme (vgl. System Vertiko, Sempergreen®) <p>Bodengebundene Begrünung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Traditionelle Begrünung durch Kletterpflanzen (vgl. FBB)

Typologie	Hauptmerkmale	Vorteile / Nachteile	Exemplarische Beispiele*
Ökofassaden	Sonderform der <i>passiven Solarfassaden</i> mit Schwerpunkt auf den Einsatz ökologischer natürlicher Baustoffe oder Elemente, die energetisch relevant sind (meist Dämmstoffe, Holzkonstruktionen).	<ul style="list-style-type: none"> - Vorteile: sehr gute Lebenszyklusqualität durch ressourcenschonendes nachwachsendes Material, integrierbar in WDVS, hoher Vorfertigungsgrad - Nachteile: abhängig vom gewählten Rohstoff; meistens größere Wandstärken, häufig geringere Bauhöhen, kostenintensiver, Verarbeitung vor Ort aufwendiger, genaues fachkundiges Arbeiten nötig 	<ul style="list-style-type: none"> - Natürliche Rohstoffe für Dämmung (z.B. Schafwolle, Hanf, Faserdämmstoff, etc.) - Natürliche Rohstoffe für Konstruktion (Holzbau, Lehmbau (vgl. Lehm-Passivhaus-System Natur & Lehm, S-House)
Komponentenfassaden (oder „Integralfassaden“)	Fassadenintegration von technischen Systemen : (a) dezentrale Haustechniksysteme für Lüftung, Klimatisierung, Heizung, Beleuchtung (Verlagerung von haustechnischen Aufgaben in die Fassadenebene), (b) adaptive Fassadenelemente, wie zB bewegliche Sonnenschutzsysteme, Lichtlenksysteme, (c) solare Energietechnologien (siehe <i>Energiefassaden</i>).	<ul style="list-style-type: none"> - Vorteile: hohe Adaptivität und hohe funktionale Qualität durch Steuerbarkeit der Komponenten, Vorfertigungsgrad durch Baukastensystem hoch, Raumgewinn durch Wegfall/Verringerung von Technikzentrale, Schächte, Kanäle, Deckensystemen, teilweise individuelle Regelung des Komfortbereichs einer Einheit - Nachteile: Wartungsintensität höher durch mechanische Einzelteile, intelligente Automation nötig, Kosten höher, ökologische Qualität muss gesondert bewertet werden, keine Standards vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> - Je Funktion gibt es unterschiedlichste Produkte am Markt - Gesamtlösungsansätze für Komponentenfassaden (Baukastensysteme) (vgl. e² Fassade, TEmotion Fassade, LEDS Fassadensystem) (vgl. F&E: wie z.B. MPPF – Multifunctional Plug&Play Facade)
Energiefassaden (oder „Aktive Solarfassaden“)	Sonderform der <i>Komponentenfassaden</i> , spezialisiert auf Integration von solaren Energietechnologien, wie zB Photovoltaik, Solarthermie- oder Solarluftkollektoren (Sonderform wären TSC-Systeme), Hybridsysteme und Mikrowindturbinen.	<ul style="list-style-type: none"> - Vorteile: Umwandlung von Solarenergie in Strom/Wärme, Multifunktionale Fassadenelemente - Nachteile: Investition höher, Amortisation abhängig von Gebäudetypus und Verbrauch und alternativer nachhaltiger Energieversorgung vor Ort; 	<ul style="list-style-type: none"> - Beispiele sind in diversen Technologie-Plattformen angegeben, wie z.B. IEA SHC Task 41 „Solar Energy and Architecture“ (www.iea-shc.org/task41) zu finden.
Adaptive Fassaden (oder „Hybridfassaden“)	Neue Ausformung der <i>Komponentenfassaden</i> , welche durch Optimierungs- und Minimierungsstrategien von Element- und Komponenteneigenschaften in Richtung Autoreaktion und verbesserte Adaptivität und Materialeffizienz abzielt.	<ul style="list-style-type: none"> - Vorteile: eingebettete Multifunktionalität in Baustoffe verspricht geringere Wartung, Vorfertigungsgrad steigt, ökologische und funktionale Qualität könnte steigen, autoreagierende Regelung - Nachteile: noch im Forschungsstadium, keine Erkenntnisse zu Langzeitperformance im Betrieb vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> - Smart Structures (z.B. Faltsysteme, Projekte zu Membran-Leichtbau) - Smart Materials (z.B. effektive oder selektive Beschichtungstechnologien, adaptive hochwirksame Wärmedämmstoffe im Nanometerbereich (Aerogele, VIP), Speichermaterialien für höhere Energiedichten, funktionale Textilien und Membranen) - Systementwicklungen für (adaptive) thermische Speicherung oder verbesserte Schaltbarkeit (z.B. Verglasung) - Bionische Systeme (vgl. bionischer Sonnenschutz Flectofin®) (Flectofin, 2012)

Tabelle 2 gibt sinngemäß Inhalte der Dissertation von (Gosztanyi, in Vorbereitung) sowie einem Kapitel zum Thema Multifunktionsfassaden im Endbericht des Projekts FUTUREbase

(Preisler, A. et al, 2012) wieder. Weiteres beruht der Inhalt auf Recherchen und qualitativer Evaluierung von Fachliteratur, Ableitungen aus aktuellen Forschungsprojekten (vgl. Haselsteiner, E., 2011) sowie aus Gesprächen mit Vertreter/innen der Fassadenforschung und –industrie.

Trends zur nächsten Generation von energieeffizienten Fassaden

Eine smarte Leistungsfähigkeit und ein nachhaltiger Lebenszyklus werden entscheidende Kriterien für energieeffiziente Fassaden der nächsten Generation sein. Die konstruktive Gestaltung, die Materialwahl und die Funktionalität von Fassaden werden nicht nur einer Beurteilung im Rahmen einer gesamtheitlichen energetischen Betrachtung des Gebäudes standhalten müssen, sondern sie werden auch über deren Einsatz an grauer Energie, der Lebensdauer sowie der Wiederverwertbarkeit bewertet. Darin sind einige innovative Trends eingebettet, wie z.B. die Schaffung von modular vorgefertigten Lösungen (vgl. Staib, G.; et al., 2008), die durch die Optimierung von eingesetztem Material einen positiven Beitrag zur Ökobilanzierung ermöglichen sollen, oder computergestützte Entwicklungen von komplexen Freiformen und morphologischen Geometrien von Gebäudehüllen (vgl. Watts, 2011), die mithilfe automatisierter 3D Modellierung und generischer Algorithmen die Randbedingungen Klima, Lokalität und Anforderung bestmöglich zusammenbringen (vgl. Hensel, M. et al. (Hrsg.) 2008; Strauß, H., 2013). Auch die Entwicklungen von smarten, dezentralen Mikro-Elementen und Mikro-Technologien, die in Fassaden eingebettet werden und diese zu einem proaktiven klimareagierenden System des Gebäudes machen, definieren einen Trend in der fassadenorientierten Forschung (vgl. Loonen, R.C.G.M. et al. 2013). Begleitend dazu werden hochqualitative Sensortechnologien und smarte Regelungstechnologien entwickelt, welche eine situationsbezogene optimierte Interaktion der einzelnen Komponenten und Bauteile ermöglichen.

In diesem Kontext nimmt die Sanierung von Fassaden eine besondere Rolle ein. Ein mögliches Trendpotenzial stellt das Upcycling von Material und Komponenten dar, bei welchem - inspiriert durch natürliche Ökosysteme und basierend auf Lebenszykluskonzepten wie dem Cradle-to-Cradle Prinzip nach (McDonough, W.; Braungart, M. 2002), veraltete Komponenten in neuartige Lösungen verarbeitet werden und damit eine Aufwertung erfahren (vgl. Martin, C.L.; Stott, C. 2011).

Da wirtschaftliche Überlegungen und der Designprozess stark bestimmende Faktoren für die Qualität und Nachhaltigkeit von Fassaden sind, wird der Mehrwert einer Fassade für den Neubau oder für eine Sanierung letztendlich auch über den steigenden Anspruch an eine Verbesserung der Standortqualität, der Lebensqualität und auch der wirtschaftlichen Qualität bestimmt. Um das derzeitige Nutzer-Investor-Dilemma in diesem Kontext zu überwinden, sind neue Wirtschaftsmodelle gefragt, welche Ressourcenschonung, Qualität und Effizienz mit ökonomischen Modellen verbinden (vgl. Knaack, U. et al (Hrsg.), 2013, S.45ff).

Durch die steigende Komplexität und Aktivierung der Fassadensysteme werden auch die Herausforderungen größer werden, dennoch ein robustes und funktionsfähiges System gewährleisten zu können (siehe Abbildung 6). Die einzelnen Bauteile und Komponenten sind

aufgrund von Alterungsprozessen und chemischer Wechselwirkungen im Verbund von unterschiedlicher Lebensdauer. Damit ist die Funktionsgewährleistung des Fassadensystems über eine bestimmte Lebensdauer schwer einschätzbar. Vorfertigung und Modularität wird in diesem Zusammenhang ein wesentlicher Faktor zur Kosten- und Betriebseffizienz werden.

Daher sind vermehrt innovative Entwicklungen gefragt, welche in robuster Art und Weise ein Maximum an Energieeffizienz und Komfort mit einem Minimum an Ressourcenverbrauch und grauer Energie verbinden. Um die Nachhaltigkeit dieser Systeme gewährleisten zu können, sollte idealerweise der Ansatz einer recyclingfähigen Light-Tech Gesamtlösung verfolgt werden, sprich durch inhärente Eigenschaften der Struktur oder des Materials selbst werden die gewünschten Anforderungen erfüllt (Fachmagazin für europäischen Recyclingmarkt, 2010) (McDonough & Braungart, 2002).

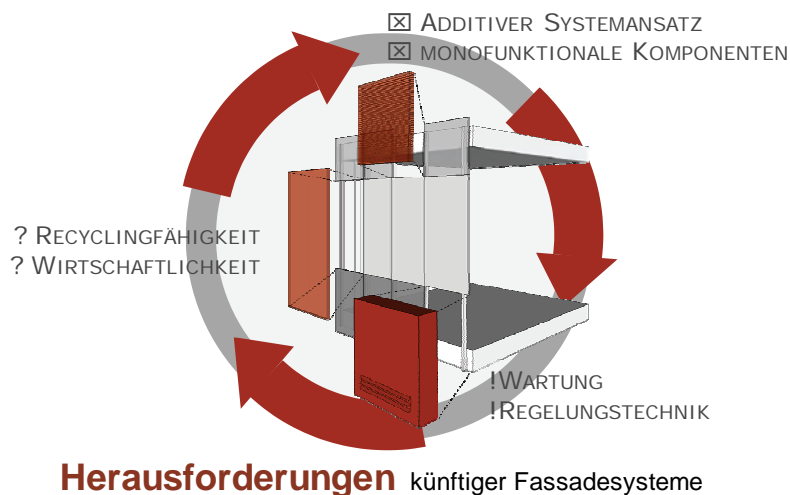


Abbildung 6: Herausforderungen künftiger Multifunktionsfassaden – Entwicklungsfelder für die Nachhaltigkeit [S. Gosztanyi, 2013]

2.2 Innovationsgehalt des Projekts

Angesichts der genannten Herausforderungen liegt in der Materialentwicklung und Systemoptimierung von Fassaden hohes Innovationspotenzial. Die Eigenschaften ‚Interaktion‘, ‚Intelligenz‘ und ‚Integration‘ stehen hierbei als Innovationsmotoren an der Spitze. Dahinter stehen Komponenten und Materialien der nächsten Generation, welche als systemisch funktionierendes Ensemble smart mehrere Funktionen interaktiv und adaptiv in sich vereinen, ohne die Robustheit und eine nachhaltige Produktionseffizienz zu verlieren. Ein weiteres Zielkriterium stellt die ‚nachhaltige Selbstständigkeit‘ des Systems dar: Die Fassade nutzt dabei regional vorhandene regenerative Quellen, um sich auf unterschiedliche externe und interne Veränderungen anpassen zu können, ohne dabei unnötig Energie und Ressourcen zu verbrauchen.

Das Know-how und die Entwicklung solcher komplexer interaktiver Systeme und Materialien ist derzeit eher in Branchen wie der Raum- und Luftfahrt, Nano- und Biotechnologie, Medizintechnik, Informations- und Kommunikationstechnologien, Automobilindustrie, usw. zu

finden. Eine Auseinandersetzung mit diesen der Baubranche fremden Technologien zeigt, dass hohe Innovationskraft durch die Anwendung von Bionik in den Entwicklungsprozessen, also der Nutzung des enormen Ideenpotenzials der Natur, geschaffen wurde. Die evolutionstechnisch optimierten „Ideen der Natur“ bieten auch Chancen für innovative Fassadensysteme der Zukunft.

Das Projekt nutzt daher die Bionik, um nach Alternativlösungen für Performance, Integrationsfähigkeit, Energieeinsparung, am Lebenszyklus orientierte nachhaltige Modelle und praktikable Lösungen für den Bestand zu suchen.

Folgende Trends dienen dem Projekt als hypothetische Ausgangsbasis:

Ausgangsbasis 1: Intelligente Fassadenkonzepte der nächsten Generation finden

- Performative Fassadensysteme (Weiterentwicklung einer adaptiven, dynamischen Multifunktionsfassade unter Berücksichtigung von Lebenszyklus Kriterien bei Produktion, Betrieb und Recycling, integrierte Funktionalität in Material, Modularität und Vorfertigung).
- Dynamische funktionale Eigenschaften, in z.B.:
 - Smart Materials und Smart Functions (z.B. Self-Controls, solaraktive Funktionen in Baumaterial, Speichermaterialien, adaptive Wärmedämmung, selektive Transmission, uvm.) für:
 - Optimierung des Wärmeeintrags und Tageslichteinfalls durch adaptive Funktionsschichten oder -elemente (z.B. selbstregulierende Verschattungen und Beschichtungen, formadaptive Materialien, licht- und thermogesteuerte Anpassungen von Materialeigenschaften).
 - Minimierung der thermischen Verluste und Maximierung der Speicherkapazität durch dynamische Wärmedämmung und -speicherung (z.B. adaptiver U-Wert, hocheffiziente Isolierverglasung und Wärmedämmung in Kombination mit speicherfähigen Materialien (wie z.B. PCM)).
 - Veränderung der optischen, thermischen oder energetischen Eigenschaften von Fassadenoberflächen durch passiv oder aktiv reagierende Materialien.

Ausgangsbasis 2: Bionik als Pool für Innovationen nutzen

- Vielfalt an innovativen Ansätzen durch Interdisziplinarität in der Bionikforschung, bzw. Verknüpfung von Lösungen aus bionischen Bereichen der funktionalen Oberflächenbionik, Klima- und Energetobionik, Fluid Dynamics, Sensorik, Nanotechnologie, Funktionsmaterialien.
- Lernen von der Natur – Biologische Organismen sind imstande, trotz geringstem Material- und Energieaufwand maximale Funktionalität zu gewährleisten. Durch strukturelle Differenzierung eines Grundbaustoffes auf unterschiedlichen hierarchischen Ebenen können sie selbstregulierend auf wechselnde Bedingungen reagieren. Die

Prinzipien dieser Anpassungsmechanismen beinhalten hohes Lernpotenzial für verbesserte innovative Technologielösungen.

- Großer Biodiversitätspool der Natur (1,5 – 30 Mio. Tierarten, 0,4 - 1,5 Mio. Pflanzenarten, 0,1 - 1,5 Mio. Pilze und Flechten, 0,05 - 2,5 Mio. Bakterien & Cyanobakterien)¹, wie z.B.:
 - Biologische Vorbilder bieten für Fragestellungen Lösungsansätze an, wie z.B. die multifunktionale und selbstregulierende Anpassungsfähigkeit an Witterung, Jahreszeiten und Nutzung ohne hohen „technischen“ Aufwand.

Ausgangsbasis 3: Neue Methoden und Prozesse ermöglichen

- Entwicklung von neuen Planungsprozessen durch die Übertragung von Prozessen aus der Bionik (evtl. auch neue Verfahrensweisen in der Produktion)
- Steigerung des Innovationspotenzials der Bauindustrie, welches historisch gesehen ein Nahverhältnis zur Bionik hat (vgl. vernakulare Architektur).
 - Aufholen der Innovationskraft im Vergleich zu anderen Branchen (Automobilindustrie, Medizin, Nanotechnologie,...) durch den Austausch von gewonnenen Erkenntnissen.
 - Zusammenführung interdisziplinärer Kompetenzen und unterschiedlicher Fachdisziplinen; Aufbau von Netzwerken mit (inter)nationalem Know How im Bereich der innovativen Fassadentechnologien.
 - Profilierung der österreichischen Bauforschung durch weitere innovative und neue Forschungsaufgaben; Positionierung im internationalen Wettbewerb.

2.3 Verwendete Methoden

2.3.1 Top Down Prozess der Bionik

Die Wissensdisziplin Bionik zielt auf die systematische Aufbereitung biologischer Systeme, Materialien und Prozesse ab, um daraus innovative Prinzipien für technische Anwendungen ableiten zu können. „Bionik als Methode“ in der technischen Produktentwicklung erfährt in den letzten Jahren eine immer stärkere Aufmerksamkeit (Gramann & Lindemann, 2004; Gramann, 2004; Stricker, 2006). Die Bionik beschäftigt sich mit den Funktionsprinzipien biologischer Strukturen und Prozesse, die sich im Laufe der Evolution nahezu perfekt an ihre Umwelt angepasst haben. Mit zunehmend feineren Untersuchungsmethoden ist es möglich geworden, biologische Systeme auf allen Ebenen ihrer Hierarchisierung zu verstehen. Hier setzt der bionische Transfer von biologischen Funktionsprinzipien in innovative Produkte, Systeme und Verfahren an. Die Abstraktion funktioneller Strukturen aus Flora und Fauna auf technische Produkte, Systeme und Verfahren ist jedoch nicht trivial. Ihre Entwicklung verlangt von den Projektbeteiligten ein hohes Maß an Interdisziplinarität. Ein funktionierender Wissenstransfer zwischen den Naturwissenschaften (Biologie, Physik, Chemie, etc.) und Ingenieurwissenschaften (Verfahrenstechnik, Konstruktion, etc.) ist unabdingbar. Um

¹ T. Speck, Botanischer Garten, Universität Freiburg (BioSkin innovationsprozess, Präsentation auf 1. Expert/innenworkshop, BioSkin Projekt)

insbesondere Ingenieur/innen den Zugang zur Bionik zu erleichtern, werden derzeit Richtlinien vom VDI Verband Deutscher Ingenieure entwickelt. Sie setzen sich zusammen aus der Rahmenrichtlinie VDI 6220: Bionik; Konzeption und Strategie, VDI 6221: Funktionale bionische Oberflächen, VDI 6222: Bionische Maschinen und Roboter, VDI 6223: Bionische Materialien, VDI 6224: Bionische Optimierung, VDI 6225: Bionische Informationsverarbeitung und VDI 6226: Bionik – Architektur, Ingenieurswesen, Industriedesign (VDI 6226, 2013).

Das Projekt BioSkin hat jedoch aufgrund der damals noch fehlenden Standards für einen passenden Übertragungsprozess eine eigene, mehrphasige Arbeitsweise zur Übertragung biologischer Grundlagenforschung in innovative Konzeptentwicklung erarbeitet, welche sich am Produktentstehungsprozess nach Ehrlenspiel (aus Lorenz, 2008) sowie am Top-Down Prozess in der Bionik orientiert (siehe Abbildung 7).

Im Projekt wurden im Speziellen jene Erkenntnisse genutzt, bei denen auf energetische Zielkriterien eingegangen wurde. Das findet sich in den Bereichen:

- **Strukturbionik** - Untersuchung biologischer Materialien, Strukturen und Formbildungsprozesse hinsichtlich z.B. komplexer, hierarchisch aufgebauter Verbundmaterialien, pneumatischer Strukturen, Membranstrukturen, uvm.
- **Konstruktionsbionik** - Analyse von Konstruktionselementen und Funktionsmechanismen integrativer und multifunktionaler natürlicher Konstruktionen; Vergleich mit technischen Konstruktionen und Untersuchung von Anwendungsmöglichkeiten in der Technik.
- **Klima- und Energiebionik** – Untersuchung von potenziellen Energieeinsparungsprinzipien durch passive Maßnahmen im Bereich Gebäudetechnik in Anlehnung an die bei Tierbauten verwirklichten Prinzipien.

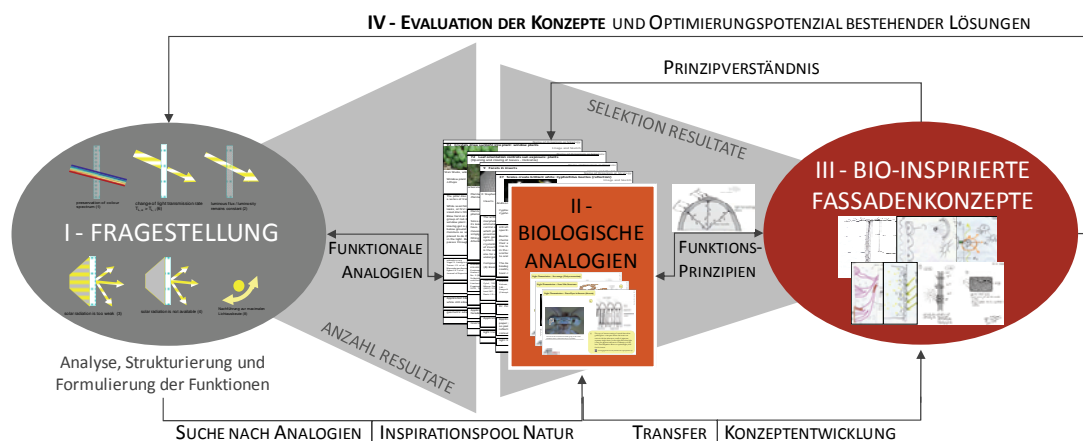


Abbildung 7: BioSkin Prozess (Top-Down Ansatz): Auf Basis konkret formulierter technischer Fragestellungen (I) werden biologische Vorbilder gesucht (II) und deren Prinzipien in bionische Konzepte übertragen (III) und die technische Idee (IV) geprüft

2.3.2 Innovationsprozess

Um eine Systematisierung der Teilergebnisse bzw. eine sinnvolle Aufbereitung von biologischen Prinzipien für technische Konzepte zu ermöglichen, wurde ein

Innovationsprozess entwickelt. In diesem Prozess werden die grundlegenden Voraussetzungen zur Evaluierung (z.B. Erarbeitung der Zielkriterien, Kontrolle der Qualität der erreichten Zwischenergebnisse durch Feedbackschleifen, Selektionsprozess, etc.), zum Entwickeln von Strategien der Übertragung und zum effizienten Herausfiltern der für die technischen Problemlösungen relevanten Aspekte aufbereitet. Dazu wurde die Interdisziplinarität des Teams, des Projektsupports und der Methodik genutzt.

Interdisziplinäre Methodenentwicklung – Das durch die Natur angeregte 'Neu(er)finden' von innovativen Lösungen für technische Anwendungen verlangt nach einer transdisziplinären Arbeitsmethodik. Sie stellt in der Bionik ein wesentliches Kriterium für Erfolg und Umsetzung von bionischen Konzepten dar. Aufgrund mangelnder Vorlagen und Richtlinien wurden ein eigener Methodenmix entwickelt, welcher je Projektphase angepasst wurde. Die Methoden orientieren sich an Methoden aus der Produktentwicklung und der Kreativitäts- und Innovationsforschung. Im Projekt wurden folgende Tools und Methoden entwickelt:

- Aufbau einer durchgehenden Systematik (z.B. tabellarische Aufbereitung der Ergebnisse allen Phasen, sowie Zuordnung in ein übergeordnetes System über z.B. Farbcodes je Funktionsbereich),
- Integration bzw. Anpassung von interdisziplinär geprägten Methoden aus der Kreativitäts- und Innovationsforschung, Produktentwicklung, Grundlagenwissenschaften,
- Entwicklung eines Evaluierungs- und Übertragungsprozesses (vgl. Integration von Methoden in (VDI 6226, 2013) (siehe auch Kapitel 3.3).

Internationales Expert/innen-Supportteam – Aufgrund der transdisziplinären Aufgabe ist ein permanenter direkter Wissensaustausch zwischen Bionik-Expert/innen und Fachexpert/innen unentbehrlich. Der Erfolg der Grundlagenstudie BioSkin begründete sich daher wesentlich auf die Einbindung von international renommierten Expert/innen aus den Bereichen Architekturbionik, Fassadentechnik, Botanik, Biochemie, Physik, Materialwissenschaft und Ökologie (siehe Tabelle 3). Dieses Expert/innenteam hat die Abstraktions- und Modifikationsschritte des Identifizierens, Vergleichens und Übertragens von biologischen Prinzipien in technische Konzepte über die gesamte Projektlaufzeit wissenschaftlich begleitet und die Qualität der Teilergebnisse evaluiert. Es sind während der Projektlaufzeit drei Expert/innen-Workshops durchgeführt worden, um den Fortschritt in den einzelnen Phasen zu evaluieren und auch den nötigen Input zur Bearbeitung der nächstfolgenden Phase einzubringen.

Der enorme Nutzen, den das Projekt durch das interdisziplinäre Expert/innenteam erhielt, hat sich nicht nur durch die gute Evaluierung und dem fundierten Feedback aufgrund des umfangreichen Know-Hows des Teams gezeigt, sondern auch durch deren hervorragende Vernetzung zu internationalen Kompetenz- und Forschungsnetzwerken in der Bionik, welches zur Verbreitung der Ergebnisse sehr hilfreich war. Auch das Projektteam konnte von dem fundierten Wissen der renommierten Expert/innen profitieren und die Arbeit sowohl methodisch als auch inhaltlich entsprechend gut entwickeln. Aufgrund der ausgezeichneten

Vernetzung und des internationalen Bekanntheitsgrads der Expert/innen konnten die Studienergebnisse auch bestmöglich in internationalen Scientific Communities und in diversen Wirtschaftssektoren beworben werden und erlangten damit eine, für eine Grundlagenstudie ungewöhnlich große und internationale Aufmerksamkeit. Dies lässt sich auch an den Anmeldungen internationaler Firmen, Wissenschaftler/innen, Dissertant/innen sowie Student/innen auf der Online-Plattform des Projekts² ablesen.

Tabelle 3: Internationales Expert/innenteam im Projekt BioSkin

NAME	Expertise	Funktionen
DIⁱⁿ. Drⁱⁿ Petra Gruber Wissenschaftlicher Projektsupport, Inhaltliche Durchführung von Phase 2	Architektur und Bionik; Weltraumarchitektur, Traditionelle Bauweisen	Unternehmen transarch – transdisziplinäre Architekturforschung und Bionik; Lektorin am Institut für Architekturgeschichte; Koordinatorin des TU-Bionik Center of Excellence;
Mag^a. Drⁱⁿ Susanne Geissler Internationales Expertenteam	Expertin für integrierte Bewertungssysteme; nachwachsende Rohstoffe, erneuerbare Energieträger, effiziente Energienutzung, Klimaschutz, Zielsetzung ist, Belastungen für Mensch und Umwelt möglichst vorsorgend zu vermeiden.	Geschäftsführung ÖGNB Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Baue; Technisches Büro; Leitung des Geschäftsfeldes Gebäude und Raumwärme der österr. Energieagentur; Lehre zu nachhaltigen Rohstoffen und LCA Modellen an der Fachhochschule Wiener Neustadt für Wirtschaft und Technik; FH Technikum Wien.
Prof. Dr. Thomas Speck Internationales Expertenteam	International renommierter Experte für Bionik: Jahrelange Erfahrung in der Übertragung von Prinzipien aus dem Pflanzenreich in technische Produkte und Patente für Gebäude und Baukonstruktionen (z.B. Wassertransport in Lianen, Selbstheilungseffekte und Mechanismen übertragen auf eine technische Membran für Pneu uvm.)	Vorstand des Bionik-Kompetenznetzes BIONIKON (DE); Direktor des Botanischen Gartens der Universität Freiburg Institutsvorstand und Professor für Botanik/Bionik: "Funktionelle Morphologie und Bionik", Sprecher des Kompetenznetzes „Pflanzen und Tiere als Ideengeber für die Entwicklung biomimetischer Materialien und Technologien“
Prof. George Jeronimidis Internationales Expertenteam	Leitung des etablierten und größten Biomimetics Centre in UK, breit gefächerte Expertise in den Life Sciences als auch im ingenieurwissenschaftlichen Bereich, speziell im Bauwesen (Mechanical Engineering und Construction Engineering) , Produktentwicklung	Direktor des Biomimetics Centre (UK), Professor an der Universität of Reading (UK) Erfahrung in der Konsulententätigkeit für das Erzielen innovativer Lösungen. Zugang zum Bionis Netzwerk in Großbritannien (300 internationale Mitglieder); Lehre an der AA Architectural Association School, London
Dr. Sergio Altomonte Internationales Expertenteam	Umfassendes Know How in innovativen Fassadentechnologien (Auswirkung auf Physiologie, Metabolismus), High-performance Gebäudehüllen, Tageslichtsysteme und –komponenten (Physiologie, Belichtung), Transparente Isoliermaterialien, Adaptive Glastechnologien, Verschattungssysteme	Professor an der Universität of Nottingham (UK), Bereich Nachhaltige Gebäude, Forschungsbereichleitung Nachhaltiges Bauen (Fassadentechnologien) Unabhängiger Experte im SWIFT Projekt über “Switchable façade technologies”; internationale Forschungsaktivitäten in Italien, Australien und UK.

² www.bionicfacades.net

Internationale Evaluationsworkshops – Insgesamt wurden drei internationale Expert/innenworkshops abgehalten, welche zur Evaluierung der Teilergebnisse und Entwicklung und Diskussion der nächstfolgenden Projektphase dienten. Daher wurden die drei Workshops jeweils am Ende bzw. Start von zwei Projektphasen durchgeführt.

- **1. BioSkin Expert Workshop** (6. März 2009), University of Reading, Centre for Biomimetics, Großbritannien. Gastgeber: Prof. Dr. George Jeronimidis. Zielsetzung: Kick-Off Meeting, Definition der Rahmenbedingungen und Grundlagen für die Entwicklung des Anforderungsprofils, Hinweise zu branchenfremden Entwicklungen und Trends.
- **2. BioSkin Expert Workshop** (30.-31. März 2010), Universität Freiburg, Botanischer Garten, Plant Biomechanics Group Freiburg, Deutschland. Gastgeber: Prof. Dr. Thomas Speck. Zielsetzung: Evaluierung der Anforderungsmatrix, Präsentation Literaturrecherche und biologischen Fragestellungen; Erste Selektion der identifizierten biologischen Vorbilder; Diskussion zur Selektion biologischer Prinzipien und Analysemethoden für Übertragungsprozess.
- **3. BioSkin Expert Workshop** (21.-22. April 2011), AIT Austrian Institute of Technology, Energy Department, Sustainable Buildings Technologies, Österreich. Gastgeber: Projektleitung. Zielsetzung: Zusammenfassung von Phase 1 und 2; Präsentation zu aktuellen Entwicklungen im Projekt (Methoden- und Konzeptentwicklungen für die technische Übertragung), Präsentation der analysierten Entwürfe und Konzepte, Erstevaluierung der bionischen Konzepte; Diskussion zur Aufbereitung der Ergebnisse.

2.3.3 Evaluations- und Selektionsprozess

Zielindikatoren - Die Evaluation und Selektion der identifizierten Potenziale wurde durch definierte Zielkriterien entlang des Projektprozesses gesteuert. Diese umfassen Betrachtungen wie ‚Komfort und Bedürfnis‘, ‚eingebettete Multifunktionalität und Adaptivität‘, ‚Energieeffizienz‘ und ‚Umwelt und Ressourcen‘ (Tabelle 4).

Tabelle 4: Ziel-Indikatoren für den Identifikations- und Evaluierungsprozess im Projekt BioSkin

ZIELINDIKATOR	ÜBERLEGUNGEN
KOMFORT / BEDÜRFNIS	Wachsendes Bedürfnis nach optimaler Behaglichkeit - Die Definition nach dem "tatsächlichen Bedürfnis" ist dabei in Zentrum der Überlegungen: z.B. wurden Ansätze für den thermischen Komfort aus dem adaptiven Komfortmodell von (Humphreys & Nicols, 2002) berücksichtigt
MULTIFUNKTIONALITÄT / ADAPTIVITÄT / STEUERUNG_REGELUNG	Sind selbstregulierende Anpassungsfähigkeit an Witterung, Jahreszeiten und Nutzung möglich? Die Fassade benötigt adaptive Fähigkeit, um die ändernden Bedingungen und Anforderungen erfüllen zu können. Ist das bei Einsatz von Hilfsenergie nachhaltig sinnvoll? Gibt es Systeme, die keine zusätzliche Energie benötigen? Wie und welche Funktionen können von einer Komponente/ einem Material multifunktional erfüllt werden?
ENERGIEEFFIZIENZ / (ENERGIEGEWINNUNG)	Senkung der Stromspitzen in den heißen Jahreszeiten durch nachhaltige Alternativen zu mechanischer Klimatisierung (biologisch inspirierte Klimaregelung) Ist eine Energiegewinnung für die volle Funktionalität von Fassaden obsolet, wenn Energieeffizienz maximiert wird?

Selektionsprozess - Zur Selektion wurde zuerst aus der umfangreichen losen Sammlung eine grobe Einteilung der identifizierten Vorbilder durch das Rechercheteam vorgenommen. Dabei galten einerseits Rahmenbedingungen für die späteren Analysen (siehe auch Filterungsprozesse unten); Thermodynamische Prozesse und mechanische Prozesse wurden z.B. biochemischen Prozessen oder Verhaltensanpassungen vorgezogen. Andererseits wurde die Sammlung den Funktionsqualitäten in der Funktionsmatrix aus der ersten Phase gegenübergestellt und qualitative Beurteilung zu den Fragestellungen eingebaut: (1) thermodynamically impossible, (2) redundant question, (3) no direct answer/information found in biology, (4) not relevant in biology, (5) question too general to be answered.

Die qualitative Selektion von vielversprechenden Vorbildern wurde im Rahmen des 2. Internationalen Expert/innenworkshops vorgenommen. Da eine quantitative Machbarkeitsanalyse von ca. 240 Organismen nicht durchführbar ist, beruht die Selektion auf folgendem mehrstufigen Verfahren:

1. Aufbereitung der verfügbaren Information zum jeweiligen Organismus,
2. 2-tägiger Expert/innenworkshop, an dem das Transferpotenzial der Organismen für die Aufgabenstellung durch die Expert/innen evaluiert und selektiert wurde,
3. Nacharbeitung durch gezieltes Sondieren von bestimmten Prinzipien durch involvierte Expert/innen und Student/innen, um die interessantesten Prinzipien und Mechanismen verstehen und extrahieren zu können (ist zum Großteil in Phase 3 erfolgt).

Filterungsprozess - Um den Selektionsprozess möglichst effizient zu begleiten, wurden Filterungsprozesse für das BioScreening (=Übertragungspotenzial) aufgebaut. Dieser unterteilt sich in mehrere Schritte:

- Einschätzung des Übertragungspotenzials – Selektionsstufe 1 (siehe oben)
 - Selektion von Vorbildern, deren Funktionsprinzipien auf physikalischen Modellen beruhen (thermodynamische Prozesse, mechanische Prozesse)
 - Ausfiltern von biochemischen Prozessen, Verhaltensbiologie,
- Qualitative Filterung - Selektionsstufe 2
 - Hierarchische Filter (Sekundärziele, die eine untergeordnete Rolle im Projekt übernehmen, wie z.B. Signalübertragung und sensorische Ausrüstung von Organismen, strukturelle Anpassungen wurden gefiltert),
 - Evaluierung des Potenzials zur Multifunktionalität bei Fassadenanwendung.

▪ Qualitative Bewertung – Selektionsstufe 3

- Best-Off Check: Evaluierung der vorhandenen Daten für eine Analyse (Überprüfung der Machbarkeit für Analysen in Phase 3)
- Entwicklung von sechs Bewertungsstufen von "(1) nicht anwendbar" über "(3) unzureichende Referenzen/Informationen" bis hin zu "(6) hohes Potenzial" (siehe auch Seite 61, Tabelle 10, Spalte 3). Diese Bewertung wurde in den Interviews und im Expert/innenworkshop angewendet, um eine möglichst zeiteffiziente Selektion auf Basis des Know-hows der Expert/innen durchführen zu können.

2.3.4 Weitere eingesetzte Methoden

- **Creative Workshops** – Zur Übertragung der identifizierten biologischen Vorbildprinzipien wurde ein Workshop-Konzept mitsamt Übertragungsmethoden entwickelt. Details dazu finden sich unter Kapitel 3.3.3, Phase 3.
- **Recherchen** in Fachliteratur, wissenschaftlichen Internetportalen, Papers, etc.
- **Umfragen, Schlüsselinterviews, Interviews** in internationalen Fachkreisen
- **Grobanalysen** und **qualitative Bewertungen** der Zwischenergebnisse
- Erstellung von **Bewertungsmatrizen, Technologiematrizen (Kenndaten)**
- **Untersuchungen** und **Analysen** mittels numerisch dynamischer **Gebäude- und Komponentensimulationen** (TRNSYS, EnergyPlus, MATLAB, Optics, etc.)
- Erstellung von **Datenkennblätter** wirksamer Modelle, Konzepte und Materialien analog zu technischen Produktkennblättern zur Aufbereitung von Erkenntnissen
- Erstellung einer **Datensammlung**, welche online verfügbar ist (Zusammenführung der Ergebnisse) als Katalog.

2.4 Vorgehensweise und Erläuterungen zu verwendete Daten

Die Recherchen erfolgten über Datenquellen aus unterschiedlichsten Fachbereichen in den Naturwissenschaften und technischen Wissenschaften. Einerseits wurden dazu wissenschaftliche Journals, Publikationen und Online-Datenbanken als Quelle herangezogen, andererseits profitierte das Projekt vom know-how der involvierten Expert/innen. Die Einbindung einer interdisziplinären Jury von internationalen Expert/innen aus unterschiedlichsten Fachdisziplinen entlang des Projektprozesses unterstützte zusätzlich die Qualitätssicherung der Datenerhebung sowie die Durchführung des Übertragungsprozesses.

Zu sämtlichen recherchierten Daten aus den jeweiligen Projektphasen wurde das Copyright bzw. die Quellenangabe nach besten Wissen und Vorhandensein angegeben. Etwaige Zitationen durch Dritte konnten aufgrund der Datenmenge nicht detailliert nachgeprüft werden. Alle Quellen und weiterführenden Informationen zu Forschungsgruppen sind

entweder direkt im Text angeführt oder im Falle der biologischen Kenndatenblätter bzw. der Sammel Listen tabellarisch den einzelnen Organismen zugeordnet.

Die Entwicklung der bionischen Konzepte erfolgte durch projektinterne Entwurfsworkshops, an denen Mitarbeiter/innen des AIT Energy Departments teilnahmen als auch durch Entwurfsworkshops im Rahmen der Lehrveranstaltung „Energiekonzepte 2“ des Master-Studiengangs „Erneuerbare Urbane Energiesysteme“ am FH Technikum Wien. Die Urheber/innen der Entwürfe sind dokumentiert. Das geistige Eigentum verbleibt bei den jeweiligen Personen.

Es bestand, wie schon im Kapitel 2.1.1 erwähnt, ein Wissensaustausch zu anderen Projekten, wie z.B. FUTUREbase (Kapitel zum Thema Multifunktionsfassaden) (Preisler, A. et al, 2012) oder BAUBIONIK POTENZIALE (Methodische Entwicklung von bionischen Prozessen, Vernetzung) (Gosztonyi, S. et al, 2012). Die geteilten Inhalte wurden im jeweiligen Kapitel gekennzeichnet.

Der vorliegende Endbericht der Grundlagenstudie gibt auch sinngemäß erarbeitete Inhalte aus der laufenden Dissertation mit dem Arbeitstitel „Biomimetic façades – Investigation of the potential from biological principles for adaptive energy-efficient facade design“ von Susanne Gosztonyi wieder. Im Besonderen wurden Informationen zur Aufbereitung der Fragestellung und zum Status Quo von Fassaden aus Phase 1, sowie die Methoden zum bionischen Übertragungsprozess und zum Kreativitätsprozess für die Konzeptentwicklung in Phase 3 im Rahmen der Dissertation erarbeitet (siehe Kapitel 2.1.2, 2.3, Arbeiten in Phase 1, 3 und 4).

Alle Anhangsdokumente stehen öffentlich auf der Projektwebsite Bioskin (www.bionicfacades.net) zur Nutzung zur Verfügung. Die IPR-Rechte bzw. das geistige Eigentum der recherchierten Daten verbleiben bei den jeweiligen Autor/innen bzw. Institutionen, von denen die Daten erhoben wurden. Die Angaben zum Literaturverzeichnis erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

2.4.1 Entwicklungsphasen im Projekt

Für BioSkin wurde der Top-Down Prozess der Bionik angepasst, um die gewünschte Komplexität und Transdisziplinarität in der Aufgabenstellung des Projekts bestmöglich umsetzen zu können (Abbildung 8, siehe auch Kapitel 2.3.1).



Abbildung 8: Vorgehensweise in BioSkin (Top-Down Prozess)

Entlang der vier Hauptentwicklungsphasen ‚FRAGESTELLUNG‘, ‚ANALOGIESUCHE‘ und ‚KONZEPTE und ANALYSE‘ und ‚AUFBEREITUNG‘ wurden sechs Arbeitsstufen entwickelt:

- Stufe 1 – Strategien festlegen und Fragen entwickeln
- Stufe 2 – Biologische Suchmatrix definieren
- Stufe 3 – Analogien aus der Natur suchen
- Stufe 4 – Identifizierte Vorbilder strukturieren, abstrahieren und verstehen
- Stufe 5 – Prinzipien übertragen und Konzepte entwickeln
- Stufe 6 – Konzepte prüfen, mit existenten Lösungen vergleichen und aufbereiten

Phase I – Energie-Funktionen einer ‚Fassade der Zukunft‘ (FRAGESTELLUNG)

Als Startpunkt der Studie wurde die Fassade als physikalische Barriere, die innere und äußere Umgebung trennt und gleichzeitig ausgleichend regulieren soll, anhand von Komfortbedürfnissen und Energieeffizienzkriterien sondiert und in 37 Funktionsziele für eine fiktive „klima-adaptive energieeffiziente Fassade“ aufgeschlüsselt. Thermisch und visuell beschreibbare Faktoren der Behaglichkeit wurden dabei ins Zentrum gestellt, da die Erreichung einer hohen Behaglichkeit (Bedürfnis Nutzer) stets mit dem Einsatz von Energie verbunden ist. Bautechnische Anforderungen (z.B. Leichtbau, bautechnische Integration) und Akustik wurden aus den Suchfeldern aufgrund einer zu hohen Komplexität der Aufgabe und des geringeren Potenzials zur Energieeffizienzsteigerung herausgenommen.

Diese Funktionen wurden in mehreren Abstraktionsschritten zu 40 „bionischen Fragestellungen“ weiterentwickelt, und mitsamt deren Subfunktionen in eine Systematik übertragen, welche in die Hauptfunktionen ‚Licht‘, ‚Energie‘, ‚Luftfeuchte‘, ‚Luftaustausch‘, ‚Wärme‘ und ‚Kälte‘ unterteilt wurde. Die daraus entstandene Funktionsmatrix beinhaltet Fragestellungen für die Analogiesuche in biologischen Datenbanken und Literatur.

Phase II – Inspiration Natur: Recherche biologischer Vorbilder (ANALOGIESUCHE)

Die Suche nach biologischen Funktionsanalogien in wissenschaftlichen Datenbanken und Publikationen aus vorwiegend biologischen Wissenschaftsbereichen wurde mit Unterstützung durch das internationale Expert/innenteam und durch Interviews mit Bioniker/innen und Biolog/innen durchgeführt. Aus diesem Daten-Pool wurden zuerst ca. 240 Organismen identifiziert, welche in mehreren Selektionsschritten und vertiefenden Sondierungen auf 43 potentielle Vorbilder reduziert wurden. Dabei wurden jene biologische Vorbilder ausgewählt, deren Funktionalität für eine nähere Analyse innerhalb der Studie nachprüfbar war. Von diesen Vorbildern wurden biologische Kenndatenblätter mit näherer Beschreibung des Organismus und des Funktionsprinzips angefertigt.

Phase III – Bionische Konzeptentwicklung und Analysen (KONZEPTENTWICKLUNG)

Der Übertragungsprozess von biologischen Daten auf technische Konzepte stellt eine der Schlüsselherausforderungen des bionischen Arbeitens dar. Um diesen zu ermöglichen, wurden in der Grundlagenstudie eigene Tools und Hilfsmittel entwickelt – auch aufgrund mangelnder Literatur und standardisierter Methoden zu diesem Zeitpunkt. Die Funktionsprinzipien der ausgewählten biologischen Vorbilder wurden dazu zuerst mithilfe der morphologischen Analyse aufgeschlüsselt, um etwaige Übereinstimmungen und Ähnlichkeiten zwischen Organismen zu extrahieren. Die Analyse der zugrunde liegenden physikalischen Eigenschaften, Bedingungen und Verhaltensformen zwischen Organismen hilft, die Funktionsweise besser und vor allem auch vom Organismus losgelöst zu verstehen. Aus diesen Erkenntnissen heraus wurden 30 stark abstrahierte und grafisch pointierte Entwurfskarten entwickelt, die sogenannten „BioSkin Creative Cards“.

Die „Creative Cards“ dienten als Inspirationsbasis für die technische Konzeptentwicklung, welche in mehreren Entwurfworkshops im Projekt und im Rahmen einer Lehrveranstaltung im Masterlehrgang ‚Erneuerbare Urbane Energiesysteme‘ am FH Technikum Wien durchgeführt wurden. Die Einladung von Expert/innen und Student/innen aus unterschiedlichsten technischen Bereichen (Maschinenbau, Architektur, Physik, Elektrotechnik, Energietechnik, Haustechnik, etc.) schaffte eine kreative Vielfalt an Lösungen.

Phase IV – Aufbereitung bionischer Konzepte (AUFBEREITUNG)

Aus rund 37 bionischen Entwurfsideen für entweder einen Bauteil, einen Baustoff oder eine Systemlösung wurden in der 3. Phase vier Konzepte gewählt, die im Rahmen der Studie auf deren Funktionseigenschaften und technische Machbarkeit hin näher geprüft wurden.

Die Ergebnisse der Analysen wurden mit existenten Lösungen verglichen und systematisch in Katalogen und Datenblättern aufbereitet. Sie stehen für weitere F&E Arbeiten öffentlich zur Verfügung. Diese liefern umfassende Information für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsprojekte zum Thema innovative Fassadentechnologien.

3 Ergebnisse des Projektes

Ergebnisse im Überblick

- Anforderungsprofile an die Fassade der Zukunft in Form einer Matrix mit grundlegenden Anforderungsklassen und –parametern (functional data base).
- Kenndatenblätter mit Eckdaten und qualitativen Eigenschaften von ausgewählten biologischen Vorbildern (biological data base).
- Virtuelle Grundmodelle und Best Case Modelle bionisch inspirierter Fassadenkonzepte: Evaluierte bionische Funktionsmodelle für Fassaden der Zukunft (Best Case Modelle)
- Virtuelle Bauteilkataloge für bionisch inspirierte Fassaden: Sie beinhalten u.a. die oben angeführten Teilergebnisse der Studie, sowie Methoden und Tools für den bionischen Transferprozess.

3.1 Phase 1 | Energie-Funktionen einer ‚Fassade der Zukunft‘

3.1.1 Zielsetzung

Ziel der ersten Projektphase war die Entwicklung von konkreten Fragestellungen zur Hypothese, Fassadenfunktionen durch bionische Ansätze nachhaltig verbessern zu können. Dazu wurde eine Erhebung des Status Quo von modernen Fassadentechnologien durchgeführt und daraus energierelevante Funktionen und energetische Kennwerte extrahiert. Auf Basis dieser umfassenden Recherche und zusätzlicher Online-Umfragen wurden die wesentlichsten funktionalen Anforderungen an eine moderne Fassade aus der Perspektive der Energieperformance (Gewährleistung des thermischen, visuellen und hygienischen Komforts) erhoben und mit Ideen für eine "visionäre bionisch inspirierte Fassade der Zukunft" ergänzt.

AP1: Adaptive pro-aktive Fassadentechnologien der Zukunft



Abbildung 9: Gegenüberstellung von Vision und Status-Quo in Phase 1

Die Gegenüberstellung von Vision und Status Quo diente dazu, etwaige Lücken und Chancen im Bezug auf Energieeffizienz und Komfort berücksichtigen zu können bzw. mögliche Potenzialfelder aufzeigen zu können (Abbildung 9). Aus der Zusammenführung dieser Zielkriterien wurde eine Funktionsmatrix erstellt, welche als Basis für die Suche nach potenziellen biologischen Vorbildern in Phase 2 diente.

3.1.2 Methodische Vorgehensweise

Schritt 1: ENTWICKLUNG VON FRAGESTELLUNGEN

- Definition der Rahmenbedingungen (Go, No-Go Ziele, auch in Bezug auf Bionik)
- Erhebung des Status Quo zu Fassadensysteme, Trends und innovative Entwicklungen (Intelligente Funktionen und Materialien)
- Spezifikation und Strukturierung von Recherchen, Umfragen und Interviews
- Aufarbeitung des State-Of-the-Art zur energetischen Funktionalität von Fassaden hinsichtlich des thermischen, visuellen und hygienischen Komforts bzw. möglicher energetischer Einflussgrößen auf die Energieperformance
- Erarbeitung einer Vorlage für die Funktionsmatrix (functional database)

Schritt 2: ENTWICKLUNG EINES ANFORDERUNGSPROFILS

- Entwicklung von künftigen Funktionsanforderungen an Fassaden der Zukunft (Visionsentwicklung): Durchführung einer Online-Umfrage über ein Projektportal zur visionären Ideenfindung für eine „innovative Fassade der Zukunft“ bei unterschiedlichen Zielgruppen (Fachexpert/innen, Nutzer/innen, Architekt/innen, etc.)
- Integration von innovativen Ansätzen und Visionen in die Funktionsmatrix

Schritt 3: AUSARBEITUNG DER FUNKTIONSMATRIX (functional database)

- Auswahl der Funktionen aus den vorangegangenen Arbeitsschritten und Gliederung der Funktionen nach energetisch relevanten Kriterien
- Definition von Anforderungsklassen und -profilen (physikalische Kennwerte, bautechnische Anforderungen, architektonische Ziele, Komfortbedürfnisse, etc.)
- Entwicklung von Funktionskategorien in der Matrix: Ausgestaltung der Funktionsmatrix mit Beschreibungen der Anforderungsprofile, Klassifizierung von Haupt- und Subfunktionen und Entwicklung von Fragestellungen für die Analogiesuche in Phase 2

3.1.3 Ergebnisse

Entwicklung von Fragestellungen

Erhebung des Status Quo

Die Datengrundlage zur Erhebung des Status Quo bildeten ausführliche Literaturrecherchen zu Fassadentrends und –technologien im Rahmen einer Doktoratsarbeit (Gosztonyi, in Vorbereitung, 2014), sowie durchgeführte Expert/innen-Interviews und ein Fach-Workshop zum Thema „Energieeffiziente Hightech-Fassaden der Zukunft“ (KinG NETZWERK, FutureCorner, 27.03.2008, Wien, AIT). Weiteres wurden Erkenntnisse aus Projektberichten und Erkenntnisse bei wissenschaftlichen Planungsbegleitungen am AIT herangezogen und ergänzende Informationen aus internationalen Kongressen zu innovativen Fassadentechnologien ausgewertet. Die Erhebung zeigt einen Überblick über moderne

Fassadenlösungen für energieeffiziente Bauten, sowie deren Aufgaben, Typologien, Funktionen, aktuelle Trends und Herausforderungen, und kann in Kapitel 2.1.2 „Stand der Technik“ nachgelesen werden. Im Folgenden werden die wesentlichsten Erkenntnisse zusammenfassend wiedergegeben.

Begriffsdefinition zu modernen Fassaden - Moderne Fassadensysteme nehmen in den letzten Jahren an Vielfalt zu und führen mitunter zu Irritation bezüglich der Benennung und der Haupteigenschaften der jeweiligen Lösung. Jene Begriffe, welche im Rahmen der Recherche gehäuft unterschiedlich interpretiert gefunden wurden bzw. jene, die als Kriterien in der Funktionsmatrix herangezogen wurden, werden daher näher erläutert:

- **Funktionale Qualität** = Der Begriff „funktionale Qualität“ wird häufig auf jene Eigenschaften der Fassade bezogen, welche auf die Energiebilanzierung des Gebäudes Einfluss nehmen. Grundsätzlich geht der Trend moderner Fassaden weg von einer konstanten Gewährleistung bauphysikalischer Eigenschaften hin zur Anpassungsfähigkeit bzw. dynamischen Reaktion der Fassade auf sich ändernde Bedingungen oder Nutzungsanforderungen. Auf energetischer Ebene bedeutet dies, dass Transmission (z.B. Wärmeleitung), Konvektion (z.B. Lufttemperaturausgleich) und Strahlung (z.B. Wärmestrahlung) dynamisch auf die jeweilige Tages- oder Jahressituation angepasst werden können. Fassaden könnten bei diesem Ansatz künftig über deren Gesamtperformance im Betrieb bzw. über bestimmte Zyklen (z.B. adaptive U-Werte) und nicht über genormte konstante Laborwerte bewertet werden.
- **Multifunktionalität** = Als multifunktionale Fassaden oder integrale Fassaden (bzw. Komponentensysteme) werden heute jene Fassadensysteme genannt, welche neben hochqualitativen bauphysikalischen Eigenschaften auch haustechnische Aufgaben übernehmen. Dennoch ist *Multifunktionalität* kein modernes Prädikat für Fassaden, da generell die Mehrfachnutzbarkeit von Fassadenteilen und -materialien darin mit einbezogen werden muss.
- **Dynamische reagierende Komponenten (,responsive building elements‘)** = *Dynamisch reagierende* Fassadenelemente und Komponenten werden in der Studie grundsätzlich in passiv und aktiv reagierende Systeme unterteilt. Dabei bedeutet ‚passiv‘, dass die Fassadenelemente anpassungsfähige Material- oder Struktureigenschaften besitzen, die keinen mechanischen Antrieb oder haustechnische Hilfstechnik benötigen (z.B. Phase Change Materials, die die Fähigkeit besitzen, Wärme zu speichern und zeitversetzt abzugeben; Lichtlenksysteme, die fix installiert sind und durch deren Oberflächenbeschichtung oder -strukturierung je Einfallswinkel der Solarstrahlung lichtlenkende Eigenschaften besitzen). ‚Aktiv‘ sind dann jene technische Komponenten mit „aktiv reagierenden“ bzw. mechanisch aktivierten, sprich beweglichen Eigenschaften (z.B. beweglicher Sonnenschutz, Lüftungsklappen, dezentrale Haustechnikkomponenten).
- **Adaptivität** = Tageszeit-, jahreszeit- oder nutzungszyklusabhängige Anpassungsfähigkeit von dynamisch reagierenden Komponenten oder Elementen.

- **Intelligenz** = Der Begriff „Intelligenz“ bei Fassaden subsumiert in der Studie jene Lösungen, die mithilfe von intelligenter Automation dynamische Prozesse in der Fassade steuern können. Indirekt wird hier auch die intuitive Bedienungsfreundlichkeit der adaptierbaren Komponenten bzw. die Interaktion der Fassade mit dem Nutzer berücksichtigt.
- **Integration** = Zusätzlich zu den bekannten Integrationslösungen, wie gebäudeintegrierte Photovoltaikmodule (GiPV) oder Solarthermiekollektoren (GiST), werden hierbei auch Solarluftkollektoren, Mikrowindturbinen oder hybride Systeme berücksichtigt (z.B. Transpired Solar Collector (TSC), Hybrid-Kollektoren (PVT)).
- **Modularität** und **Ressourcenschonung** = Um die nachhaltige Qualität bei den identifizierten Fassadensystemen nachzuprüfen, werden sowohl die Modularität (Lösungen zur Austauschbarkeit für Wartung, Erweiterung oder Adaption der Funktionalität von Komponenten oder Fassadenelementen, Vorfertigungsgrad) als auch die Ressourcenschonung (Robustheit, Dauerhaftigkeit, Materialtyp, Recyclingfähigkeit) berücksichtigt.
- **Aktivierung** = Fassaden werden zu aktiven (solaren) Energiesystemen des Gebäudes durch die Integration von Photovoltaik, Solarthermie, uvm. (Hier findet sich häufiger das Prädikat "Gebäude-Kraftwerk" oder „Prosumer“).
- **Modularität** = Jüngste Fassadenentwicklungen orientieren sich stärker am Lebenszyklus des Gesamtsystems und der einzelnen Komponenten für den ökologischeren und ökonomischeren Einsatz bei Neubau und Revitalisierungen (hierunter fallen auch „Cradle to Cradle“ Strategien (EPEA Internationale Umweltforschung GmbH, 2010) (Interreg IVC Projekt, 2010).

Die sondierten Funktionen moderner Fassadensysteme fokussieren insgesamt auf gesteigerte Integrationsfähigkeit, Energieeinsparung, praktikable Lösungen für den Bestand und tendieren zur Entwicklung von lebenszyklusorientierten nachhaltigen Modellen. Begleitend dazu erlangen hochqualitative Sensortechnologien und smarte Regelungstechnologien eine stärkere Bedeutung, um eine dynamische Interaktion der einzelnen Komponenten und Bauteile zu ermöglichen.

Entwicklung eines Anforderungsprofils an die Fassade der Zukunft (Vision)

Bereits zu Beginn der Studie wurden bestimmte Zielvorstellungen für innovative Fassaden der Zukunft erarbeitet, welche in Folge zu Evaluierungsqualitäten weiter entwickelt wurden (vgl. Abbildung 10). Diese Qualitäten werden im Folgenden aufgelistet.

- klimaadaptiv und nachhaltig, wie z.B.:
 - Adaptionsfähigkeit an verändernde Bedingungen (z.B. Wetterbedingungen) durch Selbstregulation
 - Optimale bedarfsorientierte Ausnutzung natürlicher lokaler Ressourcen (Windkraft, Thermik, Erdwärme, Solarstrahlung, etc.) und lokaler Lage (Lage, Topographie, etc.)

- Integration von architektonischen Formen (Aerodynamische Formen zur Windlastreduktion und Nutzung von Windkraft, maximale Ausnutzung solarer Einstrahlung durch Struktur, etc.)
- Bevorzugter Einsatz von ressourcenschonenden, ökologischen Baustoffen, Materialrecycling, Verwendung von nachhaltigen Baustoffen nach dem C2C-Prinzip, geringer Produktions-, Wartungs- und Rezyklieraufwand
- energieeffizient und energieaktiv, wie z.B.:
 - Nutzung alternativer biologisch inspirierter Klimatisierungs- und Energieversorgungssysteme (z.B. Wassertransport, Pumpen, Lüftung, etc.) zur Reduktion des Energieverbrauchs
 - Passive Nutzung der Sonnenenergie für Energieumwandlung und Kühlung bzw. Heizung (z.B. dezentrale solare Energiespeicherung über Hülle, etc.)
 - Aktivierung als „Energiekraftwerk“ durch Nutzung z.B. solarer Energiequellen oder alternativer nachhaltiger Energiequellen (z.B. Biokraftwerk durch Algen)
 - Größtmögliche Energieeffizienz durch Synergien existierender und neuer Prinzipien (z.B. natürliche Photosynthese, anpassende Farbgebung, etc.)
- multifunktional und modular, wie z.B.:
 - Multifunktionale Nutzung der Fassadenfläche für z.B. Solarenergiegewinnung und -speicherung, Tageslichtnutzung und Sonnenschutz, etc.)
 - Anwendung von multifunktionalen Schichtaufbauten (vgl. Davies: Polyvalente Wand)
 - Modulare Einheiten und standardisierte Schnittstellen bzw. Komponenten, die eine effiziente Kombination integrierter Manipulatoren ermöglichen
 - Einsatz von Komponenten mit hoher Wiederverwertbarkeit (Austauschbarkeit von integrierten Manipulatoren und Elementen)
 - Vorfertigung von wirtschaftlich kosteneffizienten Komponenten und Elementen
- smart und kommunikativ, wie z.B.:
 - Intelligente Steuerungs- und Regelungsprozesse auf solarer und thermohydraulischer Basis
 - Aktivierung von Self-X-Eigenschaften (Selbstorganisation, Selbstreparatur, Selbstanpassung)
 - Verlagerung der intelligenten Steuerung und Regelung in die Gebäudehülle, Filterung von Funktionen in der Hülle je nach Nutzungsbedarf

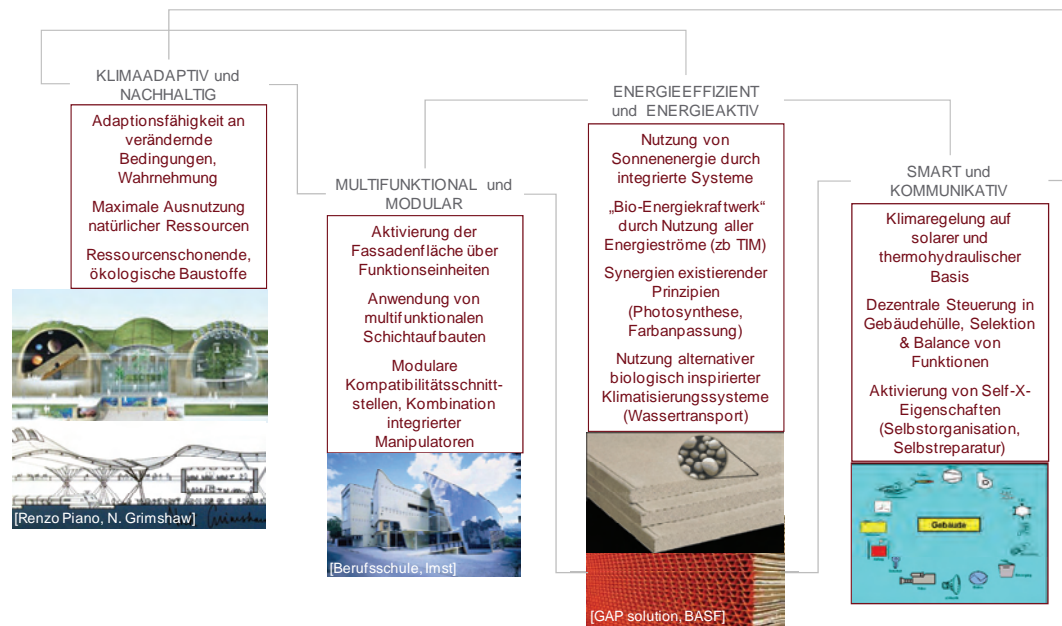


Abbildung 10: Erhebung von Ideen für Fassaden der Zukunft (Visionserhebung)

Diese Qualitätsbereiche bildeten auch die Basis für die Umfrage, zu der ein passwortgeschütztes Projektportal eingerichtet wurde, um ein offenes Brainstorming zu ermöglichen. Aus den Ideen zu Nutzerbedürfnissen (Behaglichkeit), Anforderungswünschen an Fassaden seitens Architekt/innen und Planer/innen (Chancen und Herausforderungen) und visionären Fassadenfunktionen ist eine Mindmap erstellt worden.

Diese wesentlichsten Ergebnisse bzw. Denkansätze aus der Umfrage lauten wie folgt:

- Mensch steht im Zentrum: Erfüllung der Bedürfnisse müssen zentrales Anliegen sein, der Energiebedarf soll mit den Bedürfnissen in Balance gebracht werden. Komfortanforderungen: Derzeit schmale Bandbreite bzgl. Festlegung des Komfortverständnisses (vgl. Standards); künftige Komfortmodelle sollen differenzierter auf Bedürfnisse und Bedingungen eingehen (Alter, Geschlecht, Kulturbezug, etc.).
- Anwendungsgebiet Mitteleuropa: Hohe Energieeffizienz ist nicht unbedingt immer mit CO₂-Reduktion verknüpft. Ziel ist, ein Gleichgewicht von Input - Output zu schaffen (Energieumwandlung ohne CO₂-Belastung im gesamten Lebenszyklus).
- Architektonische Vielfalt: Adaptive Attribute von Bauteilen sollen nicht nur auf Energieperformance ausgelegt sein, sondern auch formale architektonische Gestaltungskriterien berücksichtigt werden.
- Flexibilität in der Nutzung: Die Nutzung von Gebäuden wird flexibler werden (z.B. Umnutzung von Bürobau in Gewerbe- oder Wohnbau über deren Lebensdauer).
- Netz - Autarkie - Urbanität: Im Kontext des Ziels „Smarte nachhaltige Stadt“ sollen Fassaden als erweitertes Kraftwerkssystem (Gebäude-Kraftwerk) in das urbane Energienetz eingebunden werden und als aktive Player zur Energieproduktion beitragen.
- Ökonomische und ökologische Effizienz: Wo liegen die Grenzen in der Optimierung?

- **Material:** Welche Ressourcen werden für die energetische Nutzung und Transformation benötigt? Verbesserung von Baustoffen mit inhärenter Funktionalität, um Energieeffizienz, Leistung und Komfort zu verbessern, ohne den Material- bzw. Rohstoffaufwand (und die graue Energie) zu steigern (Suche nach neuen, nachhaltigen "intelligenten" Materialien über die Bionik).
- **Intelligenz:** Bessere Kontrolle der Energie-/Komfortperformance auf lokaler Ebene durch Acting – Sensing Systeme. Raumqualität soll nicht nur zentral für ein Gebäude, sondern auch innerhalb von Gebäudezonen oder Räumen konditionierbar sein.
- **Adaptivität:** In welchem Umfang und unter welchen Abhängigkeiten, Wechselwirkungen wird Adaptivität benötigt? Eine kritische Überprüfung des Grads Nutzen/Adaptivität muss entwickelt werden.

Die Erkenntnisse aus dem Status Quo und den oben beschriebenen „Fassadenvisionen für die Zukunft“, sowie die Ergebnisse aus den Interviews und dem Fachworkshop wurden in die Funktionsmatrix übernommen.

Ausarbeitung einer Funktionsmatrix mit energetisch relevanten Zielkriterien

Die Anforderungsprofile an eine „energieeffiziente klima-adaptive multifunktionale Fassade“ sind das zusammengefasste Ergebnis aus der vorher beschriebenen Erhebung des Status Quo und der Visionsideen. Ziel bei der Definition von energetisch relevanten Anforderungsfunktionen an ein künftiges Fassadensystem war, Innovationsfelder mit hohem Potenzial einerseits zur Reduktion des Energiebedarfs bzw. Senkung des Primärenergiebedarfs von Gebäuden zu identifizieren. Andererseits eine maximale Flexibilität der Einsatz/Nutzen-Balance zu berücksichtigen. Mögliche Benefits der angepeilten Funktionen wurden dabei mit Erkenntnissen aus wissenschaftlichen und fachspezifischen Publikationen ergänzt.

Die große Herausforderung war die Komplexität der Aufgabenstellung: Die Bedarfserhebungen und Recherchen ergaben, dass eine konkrete Beschreibung einer „energieeffizienten Fassade der Zukunft“ mit umsetzbaren Anforderungsprofilen bzw. Funktionsfähigkeiten und vielschichtigen Nutzungen nur abstrahiert erfolgen kann. Daher wurden die Funktionsaufgaben der Fassade grob in funktionale und formale Anforderungen untergliedert, wobei unter funktionalen Anforderungen energetisch relevante Aufgaben verstanden wurden; statische oder sicherheitstechnische Belange wurden in der Studie nicht berücksichtigt (Abbildung 11).

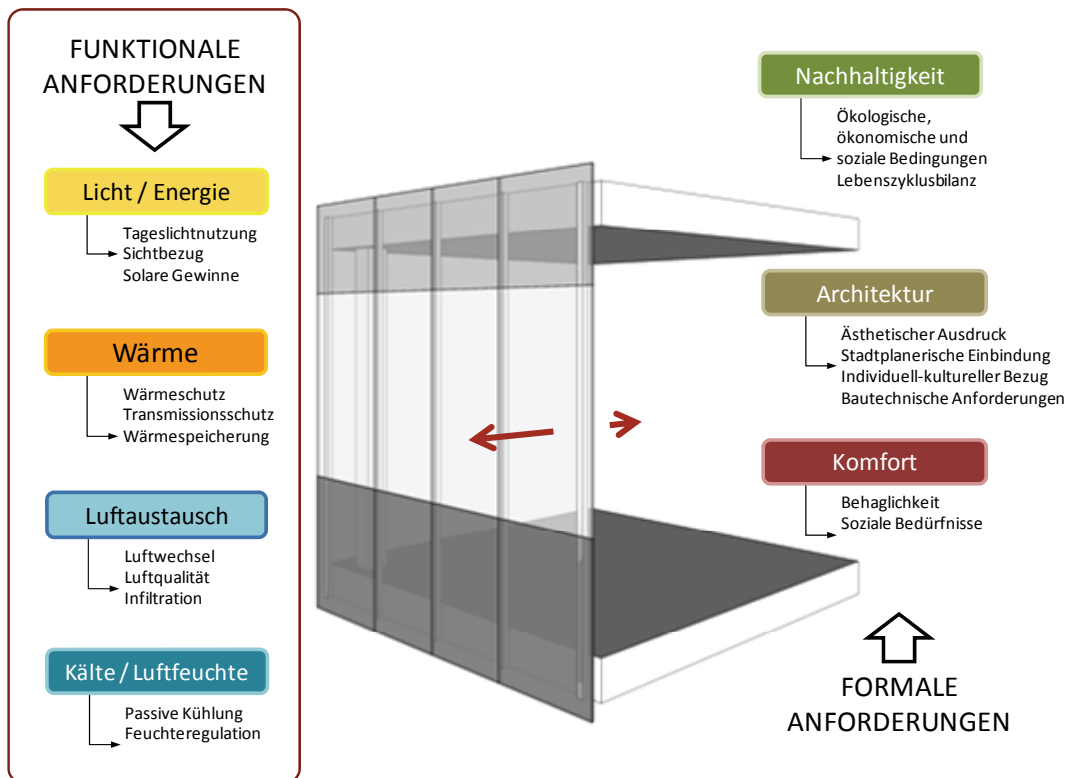


Abbildung 11: BioSkin, Phase 1 – Primäre energetisch relevante Anforderungen, klassifiziert nach Funktionsgruppen LICHT, ENERGIE, WÄRME, KÄLTE, GASAUSTAUSCH und LUFTFEUCHTE. [S. Gosztonyi, AIT]

Eine fundierte Auseinandersetzung mit allen Aspekten auf der formalen Anforderungsseite würde den Umfang dieser Grundlagenstudie übersteigen, da auch Expert/innen aus Disziplinen wie zB der Soziologie, Humanmedizin oder Wirtschaft benötigen werden würden. Da die vorrangige Zielsetzung der Grundlagenstudie auf eine technologisch machbare Reduktion des Energiebedarfs bzw. auf Einsparungspotenziale bei gleichzeitigem Erhalt des Komforts und Schaffung einer „selbstständigen Intelligenz“ der Fassade abzielt, wurden vorrangig Suchfelder im Bereich von thermischen, visuellen und hygienisch beschreibbaren Faktoren der Behaglichkeit ins Zentrum gestellt.

Festlegung von Suchkriterien – Um grundlegende Funktionsaufgaben von Materialien, Systemen und Prozessen in der Fassade für das Anforderungsprofil bewerten zu können, wurden folgende Fragestellungen aufgegriffen:

- Auf welche Bereiche hat die Fassade Einfluss oder durch welche Bedingungen wird die Fassade beeinflusst (Innenraumkomfort, Energieverbrauch, Solarstrahlung, etc.)? Durch welche Maßnahmen findet Energieeinsparung über die Fassade statt?
- Welche Funktionen sind steuerbar und energieaufwandsorientiert? Welche nicht?
- Welche Funktionen müssten definiert werden, um ‚reagierende Klimahüllen‘ zu entwickeln?
- Welche Auswirkungen hat der Einfluss von physiologischen, städtebaulichen und raumplanerischen Belangen auf die Anforderungen der Fassade?

- Welche Umgebungsbedingungen, Konstruktionen und Betriebsprozesse können zur Verbesserung der energetischen Eigenschaften von Fassadensystemen genutzt werden?
- Welche Gebäudenutzung bzw. Flexibilität in der Nutzung ist künftig notwendig, und welche Auswirkungen hat dies auf die Fassaden der Gebäude?

Die Funktionsmatrix – Fragestellungen für bionische Fassadenpotenziale

Die Funktionsmatrix an die Fassade der Zukunft beschreibt grundlegende Bedürfnisse, die sich zwischen optimalen Komfort (Bedürfnisse), energieeffizienten Betrieb (maximale Nutzung von Maßnahmen zur Konditionierung des Gebäudes) und energieautarken bzw. energiegewinnenden Systemen (nachhaltige Energieumwandlung) aufspannen.

- (i) Zunächst wurden 11 Hauptfunktionen für eine fiktive „klima-adaptive energieeffiziente Fassade“ entwickelt, denen eine ID und Farbcodes entsprechend der Funktionsart zugewiesen wurden. Zu diesen Hauptfunktionen wurden dann Subfunktionen entwickelt, zu welchen auch die Rahmenbedingungen, Zielsetzung, Benefits, und letztendlich abstrahierte Fragen für die Analogiesuche in der Biologie entwickelt wurden (siehe Tabelle 5).

Struktur der Matrix: Aufgrund der, in Abstimmung mit Phase 2 nötigen Abstrahierung der Funktionsziele als „biologische Fragen“ und der in der Biologie üblichen Aufteilung von Organismen in Struktur, Funktion und Material, sowie der Konzentration auf die wesentliche Energieverbrauchsfaktoren in Bezug auf die Behaglichkeit, wurde die Funktionsmatrix in Kategorien analog zu den Funktionen gegliedert. Die dazu nötigen Suchfelder wurden, vergleichbar zum Produktentstehungsprozess nach Ehrlenspiel [Lorenz, 2008], folgendermaßen untergeteilt:

- (ii) Definition von Hauptfunktionen, die energetische Auswirkungen haben: ‚Licht‘, ‚Energie‘, ‚Luftfeuchte‘, ‚Luft- oder Gasaustausch‘, ‚Wärme‘ und ‚Kälte‘
- (iii) Gliederung von Sub-Funktionen (Anforderungen), die die Hauptfunktion detaillierter beschreiben, wie z.B. Lichtdurchgang durch transparente Bauteile, sowie die Randbedingungen, unter denen das funktioniert.
- (iv) Die Sub-Funktionen wurden derart abstrahiert, dass sie für die Analogiesuche in Phase 2 und einer späteren Analyse in Phase 3 verwendet werden können. Dies erfolgte durch Begriffe, wie z.B. ‚Sonnenlicht sammeln‘, ‚Licht leiten‘ oder ‚Licht abstrahlen‘. Die Vereinfachung auf das Wesentliche ist wichtig, um die Sprachbarriere zwischen unterschiedlichen beteiligten Wissenschaftsbereichen möglichst zu vermeiden. Außerdem wird damit das Suchfeld erweitert, wodurch das Auffinden neuartiger Lösungen positiv beeinflusst wird.

Tabelle 5: BioSkin Funktionsmatrix – Hauptfunktionen und Subfunktionen (Auszug)

ID	KATEGORIE (HAUPTFUNKTION)	ZIELSETZUNG (SUBFUNKTION)	AUFGABENSTELLUNG
1	Tageslichtnutzung	Maximale Transmission des sichtbaren Lichts	Gewährleistung einer hochwertigen Tageslichtnutzung
2	Tageslichtnutzung	Selektive Lichttransmission durch Stoffe	Gewährleistung eines optimalen Sonnenschutzes
3	Wärmeschutz	Vermeidung von Überhitzung durch Wärmestrahlung	Gewährleistung eines optimalen Wärmeschutzes (bei transparenten Bauteilen)
4	Wärmedämmung	Hochwertige Wärmedämmfähigkeit, Vermeidung von Wärmeverlusten	Gewährleistung eines optimalen Wärmeschutzes (bei opaken Bauteilen)
5	Wärmespeicherung	Nutzung thermische Trägheit/ Einsatz thermischer Masse	Gewährleistung gleichmäßiger Innenraumtemperaturen
6	Natürliche Lüftung	(Passiver) Luftaustausch mit Wärmerückgewinnung	Ausreichender Luftwechsel ohne Wärmeverlust
7	Natürliche Kühlung	Erzeugung (passiver) Kühlung ohne Hilfsenergien	Optimaler Innenraumkomfort bei wechselnden Außenbedingungen
8	Luftfeuchtereulation	Regulation der relativen Feuchte	Optimaler Innenraumkomfort
9	Energieumwandlung	Regenerative Energieproduktion	Verlässliche Energiegewinnung aus erneuerbaren lokalen Energiequellen
10	Energietransport / -verteilung	Verlustfreier Transport von Energie ohne zusätzlicher Hilfsenergie	Bereitstellung und Verteilung von Energie (Wärme, Licht) ohne merkbare Verluste

Diese Funktionsmatrix wurde in mehreren Abstraktionsschritten und durch Diskussionen mit dem internationalen Expert/innenteam zu 40 „interdisziplinär verständliche Fragestellungen“ systematisiert und zusammengefasst.

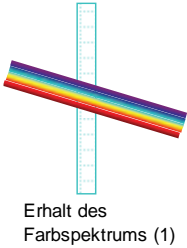
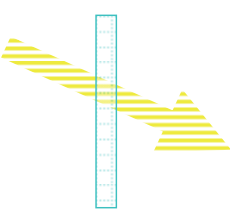
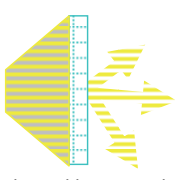
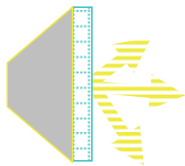
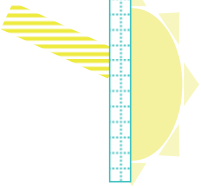
Die detaillierte Matrix ist im Anhangsdokument 1_1 (functional data base) zu finden.

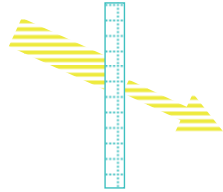
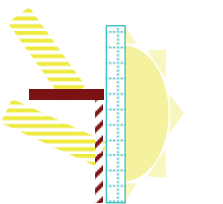

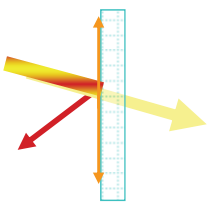
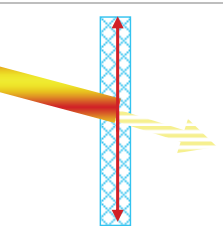
Ein Beispiel aus der Matrix wird im Folgenden exemplarisch vorgestellt.

Beispiel aus Funktionsmatrix: Kategorie Licht (Auszug)

Im Folgenden wird ein Auszug aus der Funktionsmatrix gezeigt, welcher die unterschiedlichen Anforderungen an transparente bzw. transluzente Stoffe in der Kategorie Licht aufzeigt (Tabelle 6). Transparenz hat insofern einen besonderen Schwerpunkt, da der Trend von Glasarchitektur ungebrochen, trotz massiver Probleme bei der Erreichung einer hohen Energieeffizienz, anhält.

Tabelle 6: BioSkin Funktionsmatrix (Auszug) – Zielsetzungen und Fragestellungen zur Kategorie Licht

Hauptfunktion	Aufgabenstellung	
TAGESLICHT-NUTZUNG DAY LIGHT USE	Gewährleistung einer hochwertigen Tageslichtnutzung durch ein transparentes/transluzentes Medium in den Innenraum	
	<i>Zielsetzungen (Subfunktion)</i>	<i>Fragestellungen</i>
<p>1</p>  <p>Erhalt des Farbspektrums (1)</p>	<p><u>Maximale Lichttransmission...</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ohne Veränderung des Tageslichtspektrum (sichtbarer Bereich) und der wahrnehmbaren Helligkeit (1_1) 	<p>Wie kann Tageslicht ohne Veränderung des Farbspektrums im sichtbaren Wellenlängenbereich durch Stoffe transmittiert werden? Wann, wie und warum wird kontrolliert das Farbspektrum durch Filterung verändert?</p>
<p>1</p>  <p>Lichtstrom bleibt erhalten (2)</p>	<p><u>Maximale Lichttransmission...</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ohne Verluste des Lichtstrom (Erhalt der Lichtstärke) (1_2) 	<p>Bei welchen biologischen Vorbildern kann Tageslicht ohne merkbare Verluste der Lichtintensität durch Stoffe transmittiert werden?</p>
<p>1</p>  <p>Solarstrahlung zu schwach (3)</p>	<p><u>Maximale Lichttransmission...</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - bei schwachen Lichtverhältnissen (1_3) 	<p>Wenn die Lichtverhältnisse ungenügend vorhanden sind, wie kann aus der vorhandenen Lichtstärke (Lichtstrom) Licht gewonnen werden? Wie bündeln Organismen Licht?</p>
<p>1</p>  <p>Solarstrahlung nicht vorhanden (4)</p>	<p><u>Maximale Lichttransmission...</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - bei ungenügenden Lichtverhältnissen (1_4) 	<p>Gibt es alternative Lichtgewinnung? (Fluoreszenz, Photolumineszenz, ...) die zur Lichtgewinnung genutzt werden könnten, wenn solare Strahlung zu schwach oder nicht vorhanden ist?</p>
TAGESLICHT-NUTZUNG DAY LIGHT USE	Gewährleistung eines optimalen Sonnenschutzes	
	<i>Zielsetzungen (Subfunktion)</i>	<i>Fragestellungen</i>
<p>2</p>  <p>Lichtverteilung (5)</p>	<p><u>Selektive Lichttransmission...</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - durch diffuse Verteilung (2_5) 	<p>Gibt es Lösungen, die Lichtquellen zerstreuen/verteilen, um gleichmäßige Leuchtdichten gewährleisten zu können?</p>

Funktion	Aufgabenstellung	
TAGESLICHT-NUTZUNG	Gewährleistung eines optimalen Sonnenschutzes	
DAY LIGHT USE	<i>Zielsetzungen (Subfunktion)</i>	<i>Fragestellungen</i>
<p>2</p>  <p>Änderung des Lichttransmissionsgrad $T_{L,e} > T_{L,i}$ (6)</p>	<p><u>Selektive Lichttransmission...</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - durch Veränderung des Transmissionsgrades / Reflexionsgrades (2_6) 	<p>Gibt es Stoffe, Systeme, deren Transparenzgrad verändert werden kann? Wie? Bleibt das Farbspektrum im sichtbaren Bereich erhalten? Wenn nicht, welche Nach-/Vorteile bringt das?</p>
<p>2</p>  <p>Änderung des Lichttransmissionsgrad durch geometrische, mechanische Formen (7)</p>	<p><u>Selektive Lichttransmission...</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - durch Veränderung der geometrischen Form, mechanischer Funktionalität (2_7) 	<p>Gibt es Systeme in der Natur, die durch die Form/Struktur/Oberflächenbeschaffenheit (geometrische Anordnung, keine Materialattribute) "gewollt" (selbst)abschatten?</p>
<p>2</p>  <p>Nachführung zur maximalen Lichtausbeute (8)</p>	<p><u>Selektive Lichttransmission...</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - durch Bewegung, Nachführung (2_8) 	<p>Wie reagieren biologische Organismen auf Lichtveränderungen (zB Verschattung, Sonnenverlauf)? (Stichwort: Kinetik)</p>
WÄRMESCHUTZ	Gewährleistung eines optimalen Wärmeschutzes	
HEAT PROTECTION	<i>Zielsetzungen (Subfunktion)</i>	<i>Fragestellungen</i>
<p>3</p>  <p>Filterung der Wärmestrahlung nach innen (9)</p>	<p><u>Vermeidung von Überhitzung durch Wärmestrahlung...</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - durch Filterung der Wärmestrahlung durch transparente Stoffe (3_9) 	<p>Wie kann bei maximaler Lichttransmission der Anteil der Wärmestrahlung komplett gefiltert werden?</p>
<p>3</p>  <p>Wärmedämmende und speichernde Eigenschaften, keine Durchsicht (10)</p>	<p><u>Vermeidung von Überhitzung durch Wärmestrahlung...</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - durch semitransparente wärmedämmende (und speichernde) Stoffe (3_10) 	<p>Gibt es transparente Stoffe, die eine hohe Absorption der Wärmestrahlung bei einer hohen Lichtdurchlässigkeit gewährleisten?</p>

3.1.4 Zusammenfassung

Strategien festlegen [I - PROBLEMDEFINITION]

Zielsetzung

Erhebung des Status Quo moderner Fassadenlösungen und –aufgaben und Entwicklung eines Anforderungsprofils an eine Fassade der Zukunft (functional data base)

Vorgehensweise

- *Start des begleitenden Innovationsprozesses und 1. Expert/innenworkshop*
- Erhebung des Status Quo von modernen Fassadensystemen
- Definition von Innovationsfeldern und Anforderungen an eine visionäre bionisch inspirierte Fassade (Vision)
- Erhebung von Funktionen einer Fassade der Zukunft (Innovationsfelder)
- Erstellung einer Struktur nach Kategorien und Subfunktionen (Funktionsmatrix)
- Erstellung der Funktionsmatrix mit energetisch relevanten Zielkriterien (*functional data base*)
- Grobselektion der Suchfelder für die Recherche in der Natur (Phase 2)

Top-Down Ansatz Bionik³ (allgemeine Formulierung des Ablaufs)

Phase 1 – Problemdefinition:

- Analyse des Problems (Hauptfunktionen, Subfunktionen, Abhängigkeiten, Rahmenbedingungen, etc.)
- Strukturierung der Fragestellungen
- Formulierung der Fragestellungen

Methoden

Recherchen, Interviews, Umfragen über Online-Fragebogen, Workshops, Mindmapping, Qualitative Analyse, Erstellung von Matrizen und einer Datenstrukturierung

Herausforderungen und Lessons Learned

- Eine detaillierte Analyse von Komponenten, Systemen und Materialien moderner Fassaden sowie die Klassifizierung von klassischen Fassadenfunktionen ist ein komplexes Vorhaben: Die Erfassung von transferierbaren Fragestellungen aus dem Status Quo moderner Fassadensysteme und die Definition „Fassade der Zukunft“ mit innovativem Anforderungsprofil musste abstrahiert werden und benötigte ein mehrstufiges Verfahren (Mindmapping, Online-Umfrage, Strukturierung bzw. Taxonomie der Ergebnisse). Die Fragestellungen müssen gut überlegt werden – zu viel Detaillierung führt nicht zum Ziel, sondern die Art der Frage ist wesentlich.
- Ausgehend vom begleitenden Innovationsprozess wurde eine eigene Systematik entwickelt, bei der je Projektphase interdisziplinär geprägte Methoden angepasst und ein anwendungsfreundlicher Prozess entwickelt wurde. Der Prozess berücksichtigt Methoden der Produktentwicklung und für die Implementierung bestehender Lösungen. Die verwendeten Methoden und Prozesse erlangten ein Interesse bei Industrie und Wissenschaft. Methoden aus BioSkin wurden auch in die VDI-Richtlinie „VDI 6226: Bionik – Architektur, Ingenieurbau, Industriedesign“ aufgenommen (VDI 6226, 2013).

Anhangsdokumente

1_1: Funktionsmatrix – Anforderungsprofile mit energetisch relevanten Zielkriterien [functional data base]

³ Im Rahmen des Projekts wurde ein Prozess entwickelt, der auf Literatur zum Top-Down Prozess in der Bionik (siehe 2.3.1) und technischen Produktentwicklungsprozessen beruht (vgl. Systemanalyse nach Ehrlenspiel, 2007, S. 88 aus Lorenz, 2008)

3.2 Phase 2 | Recherche biologischer Vorbilder

3.2.1 Zielsetzung

Ziel der zweiten Projektphase war die Suche nach vielversprechenden Funktionsanalogien in der Natur auf Basis der entwickelten Fragestellungen (Abbildung 12). In einem mehrstufigen Recherche- und Selektionsprozess wurde nach biologischen Funktionsanalogien in wissenschaftlichen Datenbanken und Publikationen gesucht und diese nach den festgelegten Selektionskriterien gefiltert.

AP 2: Recherche biologischer Vorbilder und Festlegung wirksamer Prinzipien



Abbildung 12: Analogiesuche in der Biologie und Übertragbarkeit der Prinzipien in Phase 2

Die Evaluierung der identifizierten Vorbilder wurde durch das internationale Expert/innenteam und durch Interviews mit Bioniker/innen und Biolog/innen unterstützt. Als Ergebnis liegt einerseits eine umfangreiche Datensammlung von rund 240 Organismen vor, die den Fragestellungen der Funktionsmatrix aus Phase 1 zugeordnet wurden und deren Funktionsprinzipien klassifiziert wurden. Andererseits wurden aus den selektierten, vielversprechendsten Vorbildern biologische Kenndatenblätter (*biological data base*) generiert, welche den Organismus, dessen Funktionsweise und Referenzen zu den forschenden Institutionen bzw. Forscher/innen angeben.

3.2.2 Methodische Vorgehensweise

Schritt 1: LITERATURRECHERCHE ZU LÖSUNGEN AUS ARCHITEKTUR UND BIONIK

- Recherchen zu Bionik und Architektur: Zusammenstellung des Status Quo zu Bionik und Architektur (Recherche vorhandene Lösungsansätze und Produkte)

Schritt 2: AUFBEREITUNG DER FRAGESTELLUNGEN FÜR ANALOGIESUCHE

- Entwicklung von „biologized questions“ – Aufbereitung der Fragestellungen in der Funktionsmatrix aus Phase 1
- Überprüfung der Terminologie für die Analogiesuche (Kommunikation zwischen Technik und Biologie ermöglichen)

Schritt 3: RECHERCHE VON BIOLOGISCHEN VORBILDERN

- Expert/inneninterviews aus Fachbereichen der Biologie
- Metarecherche in wissenschaftlichen Datenbanken, Publikationen zu biologische Vorbildern (Gesamtliste über rund 240 biologische Vorbilder)
- Präsentation der Gesamtliste beim 2. Internationalen Expert/innenworkshop
- Zuordnung der biologischen Funktionsprinzipien zu den Funktionen und Hauptfragen der Funktionsmatrix, Erweiterung der Liste, teilweises Update der Funktionen

Schritt 4: ABSTRAHIERUNG, QUALITATIVE FILTERUNG UND ZUSAMMENSTELLUNG VON HIGH POTENTIALS

- Sondierung und Evaluierung der Prinzipien biologischer Vorbilder (Überprüfung und Diskussion der recherchierten Organismen in Hinblick auf Funktionsweise und grundsätzliches Übertragungspotenzial für Anwendung)
- Qualitative Analysen zur Identifikation von Funktions-Gemeinsamkeiten vielversprechender selektierter Organismen und Auswahl von "high potentials" nach wirksamen Prinzipien (Anwendung von Selektionsfilter, siehe 2.3.3) und Abstimmung mit dem internationalen Expert/innenteam

Schritt 5: ERSTELLUNG VON BIOLOGISCHEN KENNDATENBLÄTTER

- Erstellung von biologischen 'Kenndatenblättern' mit Kennwerten und Referenzen zu den Organismen (*biological data base*)
- Inhaltliche und formale Überprüfung der Ergebnisse

3.2.3 Ergebnisse

Eine umfassende Literaturrecherche über bereits vorhandene bionische Lösungen in der Architektur bildete den ersten Arbeitsschritt in Phase 2. Die Ergebnisse ermöglichten ein gutes Abbild der laufenden Aktivitäten und Schwerpunkte in der Bionik, welche für die Aufgabenstellung relevant waren und auch als zusätzliche Information herangezogen werden konnten.

Literaturrecherche zu existenten Lösungen aus Architektur und Bionik

Das Feld der "Baubionik" wurde von Nachtigall (Nachtigall, 2003) im gleichnamigen Buch zusammengefasst, und legt den Fokus neben Bau und Klimatisierung vor allem auf Tragwerke und ökologische Aspekte. Das Feld der "Architekturbiologie" im Allgemeinen und schon existierende Lösungen aus der Bionik für Architektur und Bauwesen wurden von Gruber (Gruber, 2008) ausgiebig untersucht, mit dem Fokus auf die Integration der so genannten "signs of life" in die Architektur. Im Material- und Gebäudemaßstab wurde ein stark zunehmendes Interesse an bionischen Übertragungen festgestellt, das auf die Aktivierung von architektonischen Elementen abzielt (Drack, 2002).

Das Feld der Bionik ist sehr weit gestreut, und die Akteur/innen ordnen ihre Arbeiten oft nicht diesem Bereich zu, weshalb sie schwer auffindbar sind. Die Definition der Bionik ist methodischer Natur. Die Architekturbiologie ist deshalb nicht einer Richtung oder einem Baustil verpflichtet. Aus diesem Grund ist die Bezeichnung "bionische Architektur" fragwürdig und wird im Weiteren nicht verwendet. Die Verwendung von bionischen Produkten und Materialien in Gebäuden wird mit steigendem Marktanteil der Produkte unüberschaubar, deshalb können nur prototypische Produkte genannt werden. Die Zuordnung von Projekten, die Konvergenzen zwischen Natur und Technik nutzen (z.B. passive Lüftungssysteme), zur

Bionik ist zu hinterfragen, stellt aber möglicherweise den Beginn eines intensiveren Informationstransfers dar.

Die Untersuchung im Rahmen des Projekts basiert auf dem grundlegenden Vergleich von Gebäudehüllen zu Schalen und Häuten in der Natur. Die primäre Analogie zwischen Häuten von Organismen und Gebäuden besteht in der Schaffung einer differenten Umgebung, die sich z.B. in der chemischen Zusammensetzung oder Phase, oder der physikalischen Verhältnisse unterscheidet. Yeang (Yeang, 1999) hat für dichtbesiedelte Stadtumgebungen den Zusammenhang zwischen dem benötigten Komfort der Benutzer/innen, dem Grad der Differenz und der benötigten Technologie hergestellt. Die Hülle als Schnittstelle zwischen der äußeren und inneren Umgebung muss eine Reihe von Funktionen erfüllen, wie in Tabelle 7 dargestellt. Mechanische und konstruktive Aspekte sind ein wichtiges Thema in der bionischen Forschung und Entwicklung von Gebäudehüllen und Materialien, vor allem in Hinblick auf die Umsetzung komplexer Formen und Geometrien, die Aktivierung von Gebäudeelementen und die Integration von Adaptivität. Für das BioSkin waren folgende Funktionen des Austausches mit der Umgebung wesentlich: Exchange, Signal, Store.

Tabelle 7: Funktionsvergleich zwischen Häuten in der Natur und Systemen in der Architektur

	skin function in organisms	by/ what	architectural analogy
<i>primary function, happens in the intermediate space between the inside and the outside</i>			
construct	provide structure	shell / internal structure with soft body and skin	> building construction
protect	protect and enclose inner organs	soft or tensioned layer	> membrane systems
	mechanical Protection		> hard outer layer
	self-healing		> self-healing materials
	protection from radiation		> UV protection
	protection from dirt	surface characteristics, chemical action	> self-cleaning
	protection from micro-organisms	surface characteristics, chemical action	> oxidation surface
	production of insulation	outer layer (hair, feathers)	> thermal insulation
exchange	sensing	diverse information	> sensors
	harvesting of energy	thermal, solar energy	> solar systems
	control air exchange	oxygen, carbon dioxide	> diffuse systems
	thermoregulation		> thermal balance
	regulation of circulation		> thermal balance
	exchange of substances, prevent loss	nutrients	> filter systems
	water and humidity - sweating	water	> cooling
<i>integrated function, also use of a mechanism already there</i>			
signal	appearance in environment	colour, patterns	> communication
	signalling	colour change etc.	> communication

	skin function in organisms	by/ what	architectural analogy
integrated function in the intermediate space, can also happen elsewhere in the organism			
store	storage of energy	thermal energy	> heat storage
	storage of chemical energy	fat, sugar	> energy storage
	storage of humidity		> water storage

In Tabelle 8 sind wichtige Aspekte oder Qualitäten biologischer Hüllen aufgelistet, die für die Architektur von besonderem Interesse sind. Adaptivität, Veränderbarkeit, Bewegung, Aspekte des Informationsaustauschs mit der Umwelt, Aspekte des Zusammenlebens, der Multifunktionalität und der Integration sind Schlüsselthemen in der Bionik und in der Architektur.

Tabelle 8: Aspekte biologischer Hüllen und architektonische Analogie.

Aspect of biological skin		architectural analogy
Transformation properties, time related		
Adaptability for environmental and internal changes		> all aspects
Structural provision for growth	flexibility or shedding of skin/shell	> growth, form change
Structural provision for locomotion	flexibility or joints	> form change, locomotion
Communication and cohabitation properties		
Tactile aspects		> visual aspects, metaphor
Provision of environment for other organisms	symbiosis	> added value - urban scale
Multifunctionality and Integration		
Layered but connected systems		> layers
Dispersed integration	sensors, blood vessels, ventilation pores etc.	> integrated function
Distinct integration	organs, nails, etc.	> integration of subsystem

Mike Davies' "polyvalent wall system" (1978) markiert in diesem Kontext den Beginn der Suche nach funktioneller Integration, wenn auch noch in einem System von funktionell zugeordneten Schichten (Davies, 1990).

Bionische Forschung für den Bereich Architektur und Bauwesen findet derzeit hauptsächlich auf Universitäten statt, im Rahmen von Dissertationen und Forschungsprojekten. Braun (Braun, 2008) hat eine Reihe von Modellen aus der Natur auf ihre Übertragbarkeit in die heutige Fassadentechnologie hin untersucht, und einen prototypischen Entwurf einer adaptiven permeablen Außenhülle erstellt. Matini (Matini, 2007) hat biegsame bionische Konstruktionen entwickelt, die als Basis für verschiedene Umsetzungen dienen können. Badarnah (Badarnah, 2008) und Schleicher, Lienhard et al (Schleicher et al., 2009) arbeiten an Beschattungssystemen für Fassaden, die durch Blatt- und Blütensysteme in der Natur inspiriert sind. In den weltweit tätigen Ingenieurbüros Arup und Happold wird ein bionischer Ansatz propagiert: "Biomimicry" Prinzipien basierend auf den Arbeiten von Benyus (Benyus, 1998) werden von Arup (Arup, 2008) als Rahmen für eine Veränderung in ein "ökologisches

Zeitalter" verwendet. Craig (Craig et al., 2008) hat im Büro Happold mit der Methode "BioTriz" (Vincent et al., 2006) ein Konzept für Gebäudekühlung entwickelt.

Die Umsetzung bionischer Konzepte erfordert neue Materialien, der Bereich der "Smart Materials" scheint ein brauchbares Spektrum an Möglichkeiten zu liefern. Die meisten schon einsetzbaren bionischen Lösungen sind auf der Ebene der Materialien zu finden. Die Oberflächentechnologie scheint am weitesten entwickelt zu sein und ist schon in viele Produktbereiche der Bauindustrie vorgedrungen (Mikro- und Nanobeschichtungen, Selbstreinigung durch den Lotus-Effekt: z.B. Lotusan Farbe, Anti-adhäsive Oberflächen, Easy-to-clean Beschichtungen, etc.).

Zusammenfassend kann man sagen, dass bionische Lösungen im Maßstab des Gebäudes vorwiegend erst auf der Ebene von Studien und Prototypen existieren, aber dass sich die Architekturbionik in den letzten Jahren von theoretischen Konzepten hin zu detaillierteren Studien entwickelt hat. Das Verzeichnis der herangezogenen Literatur ist im Anhangsdokument 2_1 zu finden.

Aufbereitung von biologischen Fragestellungen (biologized questions)

Die Fragestellungen aus der Funktionsmatrix in Phase 1 musste in sogenannte "biologised questions" übersetzt werden. Technische Zielsetzungen und komplexe Grundfragen wurden in Hinblick auf eine sinnvolle Suche in der Biologie zusammengefasst oder aufgeteilt und vereinfacht, um eine Lösungsfindung zu ermöglichen. Bei der Übertragung war die Klärung von Begriffen in den verschiedenen Disziplinen und Sprachen notwendig (z.B. "generate energy" - wurde von Grundlagenforscher/innen in der Physik und Bauphysiker/innen unterschiedlich interpretiert).

Tabelle 9: "Biologised Questions" bezogen auf die Fragestellungen der Funktionsmatrix von Phase 1 (in Englisch aufgrund der internationalen Recherchen und Interviews)

aim		how does nature...
daylight	high quality use of daylight	transmit light at maximum (1)
		1 change/filter/control wavelength/colour spectrum
		2 transmit light with minimal loss of intensity/in full intensity
		3 direct/guide light
		3 bundle light
		3 intensify light - luminosity
		3 use light effectively
		3 transmit light over (long) distances within a medium
		4 generate light
daylight	optimal sunshade	transmit light selectively (2)
		5 disperse/scatter light
		5 generate constant luminance/light density
		6 change/control transmission factor/transmittance/transparency
		6 change/control reflectance/reflectivity
		7 generate sunshade
		7 avoid light
		8 react/adapt to changing light conditions
8 maintain constant light conditions		

aim		how does nature...	
heat	optimal thermal insulation	avoid overheating from thermal radiation (3) protect from heat (4)	
		9 transmit light and filter thermal radiation	
		10 transmit light and absorb thermal radiation	
		insulate	
		11 insulate (intrinsic material characteristics)	
		11 generate low thermal conductivity by material	
		12 insulate (material and structure characteristics)	
		12 generate low thermal conductivity by structure	
		avoid heat loss	
		13 exchange air without heat loss	
		13 exchange air (efficiency: volume flow, capacity, air exchange rate)	
		13 avoid air exchange	
		13 generate airproof systems	
	14 ventilate		
	14 exchange air (spatial solution)		
	14 actuate openings for ventilation		
	constant internal temperature within comfort-zone	use thermal inertia generate heat storage (5)	
		15 store thermal energy locally	
		15 store heat (material aspect)	
15 store heat (structure aspect)			
16 improve heat storage by structure			
17 control heat storage and dissipation (time)			
17 generate constant thermal conditions			
Ventilate	temperate internal climate in hot environment	generate permeability to air ventilate with heat recovery (6)	
		18 generate ventilation by structure	
		18 generate heat recovery (by structure)	
		19 generate ventilation by material (permeable)	
		19 generate heat recovery (by material)	
		20 ventilate passively	
		20 generate/use air pressure difference or temperature difference for ventilation	
		22 change/control air flow	
		23 provide constant air flow	
		Cool and humidity	temperate internal climate in hot environment
24 cool by radiation			
25 cool by structured systems			
26 cool by evaporation/evapotranspiration			
27 cool by generating thermal boundary layers			
27a maintain/control specific moisture contents			
energy	reliable generation of energy from local sustainable sources	generate energy (9)	
		28 use solar radiation	
		28 adapt the energy generation by solar radiation to changing need (day, season)	
		29 generate energy in places without direct solar radiation	
		29 generate energy	
		30 use osmosis for energy production/conversion	
		30 use selective permeable membranes for energy production/conversion	
		31 use free wind energy (except for locomotion)	
		32 produce energy by organisms	
		33 produce energy by chemical processes	
34 use earth to produce energy (geothermal energy, gravitation, magnetic fields)			

aim	how does nature...	
Energy supply and distribution of energy (light, heat) without losses	transport energy without loss distribute energy (10)	
	35	transport light without energy loss (loss of luminosity) over long distances
	36	direct/guide light to specific locations
	37	dissipate thermal energy locally
	37	transport thermal energy
	38	transport fluids over long distances
	38	avoid thermal loss when transporting fluids

Die breite Herangehensweise der Fragestellungen in Phase 1 war eine Herausforderung an den weiteren Verlauf des Projekts. Die Menge an Fragestellungen und die entsprechende Menge an Lösungsvorschlägen erforderte die Einführung von zusätzlichen Selektionsparametern, um einerseits die Bearbeitbarkeit zu gewährleisten, andererseits aber das Ziel - die Erstellung von bionischen Konzepten, welche die wichtigsten Fragen aus der Fassadentechnologie reflektieren sollten - nicht zu gefährden.

Die Zuordnung der biologischen Phänomene zu den Funktionen aus der Fassadentechnologie war aufgrund der Multifunktionalität und des hohen Integrationsgrads nicht eindeutig. Vor allem die Bereiche "Ventilation" und "Cooling" sind nicht getrennt voneinander betrachtbar. Einige Phänomene wurden im Lauf der vertieften Recherche anders zugeordnet als zu Beginn. Trotzdem stellt die funktionelle Differenzierung und Analogiebildung die einzig sinnvolle Möglichkeit dar, Übertragungen vorzunehmen.

Die Differenzierung in "Materials" und "Systems" aus der Biologie, ein Zugang der sich in früheren Projekten bewährt hatte, hat sich für den Bereich der Fassadentechnologie als nicht zielführend erwiesen, weil die aufgefundenen Vorbilder aus der Natur aus relativ ähnlichen Größenbereichen kommen. Es handelt sich bei den meisten Vorbildern um "Materialsysteme", die ihre Performance durch die Kombination ihrer Materialität an sich und ihrer auf mehreren Größenskalen vorhandenen Struktur erhalten. Aus diesem Grund wurde auf eine diesbezügliche Differenzierung im Weiteren verzichtet.

In Anhangsdokument 1_1 (functional data base) sind die "biologised questions" angeführt, samt den Funktionskategorien, denen sie zugeordnet sind. Ergebnis dieses Schritts sind insgesamt 74 Fragestellungen aus den Hauptkategorien ‚Licht‘, ‚Energie‘, ‚Luftfeuchte‘, ‚Luft- oder Gasaustausch‘, ‚Wärme‘ und ‚Kälte‘. Die fett hervorgehobenen Fragestellungen sind die für den jeweiligen Bereich wichtigsten und allgemeinsten, die für die Recherche verwendet wurden.

Analogiesuche: Recherche von biologischen Vorbildern

Die Recherchearbeit erfolgte mittels der Top Down Methode in der Bionik anhand einer festgelegten Struktur. Die verwendete "Top Down" Methode oder "problem-based approach", bedeutet die gezielte Suche nach Lösungen in der Natur ausgehend von einer technischen Fragestellung. Dabei wurden Interviews, Literatur- und Datenbankrecherchen durchgeführt.

Die Quellen waren die Online-Datenbank "AskNature" der Biomimicry Gruppe in den Vereinigten Staaten (öffentlich zugängliche Datenbank über "Strategien" der Natur mit derzeit 1285 Einträgen, Stand 2010), halbstrukturierte Expert/inneninterviews, persönliche Informationen der Projektkonsulenten Speck und Jeronimidis, persönliche Informationen der Arbeitsgruppe Speck in Freiburg, das persönliche Archiv von Gruber basierend auf den Bionik-Student/innenarbeiten der Abteilung für Hochbau und Entwerfen von 2001-2007 und die gezielte Suche in Überblickswerken der Bionik. Die Interviewpartner/innen wurden aus der Community der Bionikforscher/innen und auf Empfehlung der Konsulenten ausgewählt, und zum Großteil bei einem Forschungsaufenthalt der Rechercheautorin Gruber an der Universität Freiburg im Jänner 2010 befragt.

Die große Menge an Fragestellungen wurde für die Expert/inneninterviews zu einer bewältigbaren Anzahl von Themen zusammengefasst, und im Lauf der Interviews erst weiter detailliert. Die Interviewpartner/innen haben viele ähnliche Phänomene genannt, die aus der bekannten Bionik-Literatur stammen.

Die erste Zusammenstellung von Vorbildern aus der Natur ist in Anhangsdokument 2_2 dargestellt und wurde zusammen mit den Konsulenten für die weitere Bearbeitung gefiltert. Für manche Fragestellungen, wie z.B. "transmit light with minimal loss of intensity" sind in der gegenwärtigen biologischen Grundlagenforschung keine Informationen zu finden. Viele Fragestellungen haben sich aufgrund der Zusammenhänge der Phänomene als redundant herausgestellt. Manche Fragestellungen waren zu allgemein, um eine spezifische Antwort zu finden. Insgesamt wurden rund 240 Vorbilder aus der Natur identifiziert und den Fragestellungen aus der Funktionsmatrix bzw. den Haupt- und Subfunktionen zugeordnet

Abstrahierung, qualitative Filterung und Zusammenstellung von High Potentials

Für eine Filterung der Phänomene aus der Natur für die weitere Bearbeitung war eine Bewertung auf Basis der bis dahin erhobenen Daten nötig. Die Kriterien für die Bewertung waren das Vorhandensein bzw. Fehlen von biologischer Grundlagenforschung, der Zusammenhang mit biochemischen Prozessen (dieser Bereich wurde auf Anraten der Konsulenten Speck und Jeronimidis ausgeklammert, weil eine technische Übertragung biochemischer Prozesse im Rahmen des Projekts BioSkin nicht möglich schien) und die allgemeine Einschätzung des Übertragungspotenzials durch die Bionik-Expert/innen. Diese Kriterien wurden zusammengefasst, der die weitere Auswahl der Vorbilder mit beeinflusst hat. Zusätzlich wurde ein Selektionsprozess entwickelt, welcher die Filterung der potenziellen Vorbilder unterstützt (Tabelle 10, siehe auch Kapitel 2.3.3).

Tabelle 10: BioSkin Selektionsprozess – Beispiel anhand der Hauptfunktion „Licht/ Tageslichtnutzung“

HAUPTFUNKTION – SUBFUNKTION	BIOLOGIZED QUESTIONS (extract)	EVALUIERUNGSSTUFE, FILTER 3	BIOLOGISCHES FUNKTIONSPRINZIP
I. LICHT	direct/guide light	(1) nicht anwendbar	light transfer by fibres and crystals
I.I Gewährleistung einer hochwertigen Tageslichtnutzung – maximale Lichttransmission	bundle light use light effectively	(2) unzureichende Referenzen/ Informationen (3) zu allgemein	photonic structure light transfer by lenses and facets

I.1.1 ohne Verluste des Lichtstroms	(4) ausschließende Filterkriterien (5) mögliches Potenzial (6) Hohes Potenzial	selective pigmental light control signal transmission and conversion reflective structure
-------------------------------------	--	---

Die Selektion setzt eine ausführliche Literaturrecherche in wissenschaftlichen Datenbanken (z.B. Web of Science (Stock und Stock, 2003)) voraus. Um grundlegende Informationen für eine erste Bewertung der Organismen zu erhalten, reicht es oftmals *Abstract* und *Conclusion* der jeweiligen Fachartikel zu bearbeiten. Es empfiehlt sich die genutzten Fachartikel, Bücher, etc. in einer Literaturdatenbank abzulegen (z.B. JabRef).

Es empfiehlt sich generell, im Rahmen des Selektionsprozesses bionische Arbeitsgruppen zu kontaktieren, die sich der Thematik beschäftigen. In einer solchen Kooperation kann die/der Fragesteller/in einerseits Bionik-Input erhalten, andererseits eventuell sogar über universitäre Kooperationen neue Forschungsaufgaben definieren. Eine weitere Möglichkeit zur Selektion wäre, die Daten auf entsprechenden virtuellen Bionik-Plattformen zu veröffentlichen, um einen Austausch von Industrie und Wissenschaft zu ermöglichen (vgl. Biokon international⁴).

Bei einigen Vorbildern war die Feststellung der wirksamen Prinzipien aufgrund fehlender Information aus der Grundlagenforschung nicht möglich. Es wurden letztendlich rund 30 wirksame Prinzipien identifiziert: *air keeping (porous) structure, behavioural adaptation, bioluminescence, breathable structures, chemical energy processing, control air flow, convection system, countercurrent heat system, evaporation system, fat layer insulation system, fluid harvesting system, fractal system, gas transport system by geometry, geometric adaptation, group organisation, heat dissipation area, heat exchange system, light transfer by fibres and crystals, light transfer by lenses and facets, metabolic adaptation, non solar energy sourcing, non-reversible actuation system, phase transition, photonic structure, photosynthesis, reflective coating, reflective structure, reversible actuation, selective pigmental light control, signal transmission and conversion, static shading structure, thermal coupling to environment, thermogenic system.*

Die gesamte Sammlung an Vorbildern wurde in der Folge nach diesen wirksamen Prinzipien geordnet.

Aus den sich ergebenden Gruppen von ähnlichen Vorbildern wurden jeweils ein bis zwei "high potentials" zur weiteren Bearbeitung ausgewählt. Diese Vorgangsweise sollte die gewünschte Breite der Lösungsvorschläge sicherstellen.

Vor der Abhaltung des 2. Internationalen Expert/innenworkshops wurde aufgrund der großen Menge an Lösungsvorschlägen eine Priorisierung von Funktionszielen aus der Funktionsmatrix durchgeführt, die eine Fokussierung auf die Hauptkategorien *Licht, Gas-/Luftaustausch* und *Kälte/ Kühlung* erlaubte. Aufgrund dieser effektiven Vorgangsweise

⁴ *BIOKON international* ist eine Non-Profit-Organisation. Sie setzt sich aus Wissenschaftler/innen und Institutionen zusammen, deren primäres Ziel ist, internationale Arbeitskooperationen im Bereich der Bionik zu initiieren und zu fördern (www.biokon-international.com).

konnten aus 105 "high potentials" für die weitere Bearbeitung in Phase 3 rund 40 Vorbilder ausgewählt werden. Diese Sammlung aus der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung wurden dann im Expert/innenworkshop überprüft und die Übertragbarkeit der Prinzipien in die Technik evaluiert. In Anhangsdokument 2_2 ist die finale Auswahl der recherchierten Vorbildern dargestellt.

Bionische Selektionskriterien: Material/ Strukturen/ Systeme bzw. Prozesse

Eine Trennung biologischer Vorbilder in "Materialien", "Strukturen" und "Systeme/Prozesse" kann nicht erfolgen, da natürliche Organismen keine Trennung in diesem Sinne aufweisen. Biologische Strukturen bestehen aus materialbezogenen, hierarchisch in unterschiedlichen Skalierungen aufgebauten Strukturen, die sich je Anforderung und Bedarf anpassen können. Die selektierten Vorbilder sind trotz des relativ überschaubaren inneren Aufbaus multifunktionale und hochintegrierte "Materialstrukturen". Diese Erkenntnis schaffte für das Projektteam neue Fragen zum Verständnis und zur Übertragung biologischer Phänomene auf die Aufgabenstellung: Können Fassaden mit ähnlichen Material-Struktureigenschaften entwickelt werden? Fassaden werden aus wirtschaftlichen, technischen und produktionsbezogenen Gründen meist aus singulären, monofunktionalen Komponenten erstellt, die anschließend zu einem multifunktionalen System zusammengesetzt werden. Die Erkenntnis aus der Biologie wirft nun die Frage nach neuen Design- und Produktionsweisen auf, die derzeit zum Großteil erst in der technischen Entwicklungsphase sind (z.B. Parametric Design, Evolutionäre Design-Algorithmen, Rapid Prototyping, 3D Prints, Contour Crafting, etc.).

Erstellung von biologischen Datenblättern (biological data base)

Als abschließender Arbeitsschritt dieser Phase erfolgte die Erstellung von biologischen Datenblättern. Die Vorbilder sind nach deren wirksamen Prinzipien gruppiert und den Hauptfunktionen der Funktionsmatrix aus Phase 1 zugeteilt. Für alle Vorbilder, die für eine Auswahl zur Debatte standen, sind biologische Datenblätter erstellt worden, die in Anhangsdokument 2_3 zusammengefasst sind (siehe Beispiel in Abbildung 13).

Das ursprüngliche Vorhaben, Kennwerte und Kerneigenschaften von Materialien und Systemen in eine Matrix zu verarbeiten, wurde im Rahmen der Diskussionen mit den Expert/innen aus mehreren Gründen verworfen: Die ausgesuchten Phänomene stammen aus unterschiedlichen Bereichen, in denen unterschiedliche physikalische Bedingungen und Kennwerte wichtig sind, sodass ein Vergleich nicht zielführend zu sein scheint. Weiteres ist die Wichtigkeit bestimmter physikalischer Parameter von der technischen Übertragung abhängig, die erst mit der Erstellung der Konzepte in Phase 3 feststehen wird. Im Lauf der Konzepterstellung in Phase 3 erfolgte bei Bedarf eine tiefergehende Recherche in der Literatur bzw. Kontaktaufnahme mit den jeweiligen Forscher/innengruppen der übertragenen Phänomene. Die Abschätzung der Kombinierbarkeit der Vorbilder aus der Natur wurde ebenfalls für das Stadium der Analogiebildung als nicht aussagekräftig verworfen, sondern in Phase 3 (Analyse der Prinzipien) verschoben.

Stattdessen wurden Kernkriterien, die für eine Übertragung in die Fassadentechnologie wichtig sind, festgestellt und in eine Bewertungsmatrix eingebracht. Diese Bewertung wurde von dem Expert/innenteam durchgeführt und erlaubte eine grobe Abschätzung der Übertragbarkeit in die Technik.

Lessons Learned

Für die Metarecherche bzw. Analogiesuche in diversen Datenbanken waren die Zusammensetzung des interdisziplinären Projektteams sowie die intensive Mitarbeit des internationalen Expert/innenteams von großer Bedeutung. Die Suche im Pool der biologischen Diversität mit unzureichenden biologischen Fachkenntnissen ist sehr mühsam und zeitaufwendig. Leuchtende Käfer, fluoreszierende Pflanzen oder andere aufregende Phänomene sind schnell gefunden. Wesentlich für eine erfolgreiche bionische Arbeit ist jedoch die Kenntnis, ob der gefundene Organismus bzw. das dahinterliegende Funktionsprinzip tatsächlich Potenzial für neue technische Lösungsansätze bietet und ob dies übertragbar ist. Allein das Wissen um die biologische Funktionalität selbst verlangt nach einem spezifischen Wissen im jeweiligen naturwissenschaftlichen Fachbereich. Um die nötigen Fragen zu klären, müssen daher Expert/innen aus der Biologie, bestenfalls aus der Bionik, herangezogen werden. Die Qualität der gefundenen Daten und die Qualität der Evaluierung hängen in dieser Phase größtenteils von diesem Faktor ab. Daher sollten die Recherchen immer in enger Zusammenarbeit zwischen Biolog/innen und Techniker/innen bzw. Bioniker/innen erfolgen.

Die Anhangsdokumente 2_2 und 2_3 stellen die "biological data base" dar, die Grundlage für Phase 3 im Projekt.

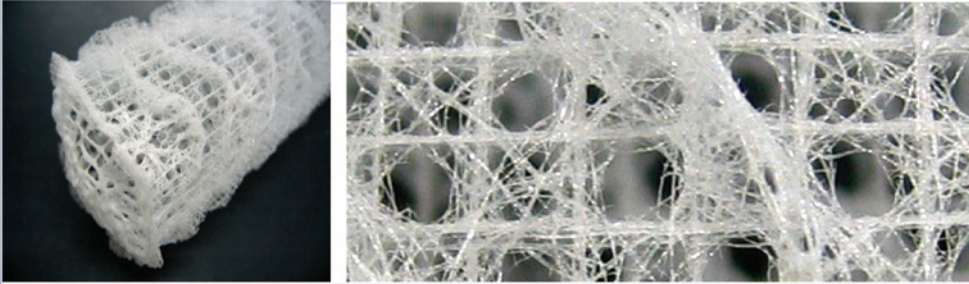
Name of Organism or Strategy	
6 Fibres guide light: Venus flower basket	
Images	
	
NEON_ja commons.wikimedia.org/ [03/2010]	
Organism term	
Venus flower basket (glass sponge) <i>Euplectella aspergillum</i> Owen, 1841	
Keywords / Features	
fiber optic, fiber structure, glass fiber	
Short description	
<p>The venus flower basket is a deep-sea organism belonging to the family of glass sponges. Its skeleton consists of a subtle structure made of glass-like fibres that are made at ambient temperatures.</p> <p>"Here we present a detailed study of the optical properties of basalia spicules from the glass sponge <i>Euplectella aspergillum</i> and reconcile them with structural characteristics. We show these biosilica fibers to have a distinctive layered design with specific compositional variations in the glass organic composite and a corresponding nonuniform refractive index profile with a highindex core and a low-index cladding. The spicules can function as single-mode, few-mode, or multimode fibers, with spines serving as illumination points along the spicule shaft. The presence of a lens-like structure at the end of the fiber increases its lightcollecting efficiency. Although free-space coupling experiments emphasize the similarity of these spicules to commercial optical fibers, the absence of any birefringence, the presence of technologically inaccessible dopants in the fibers, and their improved mechanical properties highlight the advantages of the low-temperature synthesis used by biology to construct these remarkable structures." (Aizenberg et al. 2004)</p>	
References	
asknature.org [12/2009] Sundar V.C., Yablon A.D., Grazul J.L., Ilan M., Aizenberg J.: Fibre-optical features of a glass sponge. <i>Nature</i> 424(6951) 899-900, 2003. Aizenberg J., Sundar V., Yablon A., Weaver J., Chen G.: Biological glass fibers: Correlation between optical and structural properties, <i>Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Natl Acad Sciences</i> , 2004, 101, 3358-3363, 2004.	
Selection of experts	
Joanna Aizenberg, Bell Laboratories Lucent Technologies, Murray Hill, New Jersey 07974, USA	
Link to Facade Specification Matrix	
3	

Abbildung 13: Beispiel eines biologisches Kenndatenblattes der *biological data base*, Phase 2 , BioSkin (alle Datenblätter sind im Anhangsdokument 2_3 zu finden). [P. Gruber, transarch]

3.2.4 Zusammenfassung

Analogien suchen [II - IDENTIFIKATION]

Zielsetzung

Recherche biologischer Vorbilder auf Basis der Funktionsmatrix und Entwicklung von biologischen Datenblättern (biological data base) mit einer einheitlichen Gliederung von Kenndaten biologischer Vorbilder und einer Potenzialeinschätzung übertragbarer Prinzipien für die Aufgabenstellung.

Vorgehensweise

- 2. internationaler Expert/innenworkshop (Kombination mit Phase 3)
- Literaturrecherchen zu bionischen Lösungsansätze im Bauwesen
- Metarecherche zu biologischen Vorbildern
- Auflistung identifizierter biologischer Vorbilder und Selektion wirksamer Prinzipien
- Systematisierung der selektierten Vorbilder in einer Vorlage (Datenblattstruktur)
- Erstellung von 'Kenndatenblättern' mit übergeordneten Gemeinsamkeiten & Kennwerten von biologischen Vorbildern und Prinzipien = "biological data base"

Top-Down Ansatz Bionik⁵ (allgemeine Formulierung des Ablaufs)

Phase 2 – Analogiesuche:

- Kollektion von existenten technischen Ansätzen aus branchenfremden Bereichen (z.B. über Patente)
- Analogiesuche in der Biologie - Bioscreening zur Identifikation von bionischen High Potentials
 - *Input von Expert/innen aus Bionik ist essentiell*
- Systematisierung und Aufbereitung der identifizierten biologischen Funktionspotenziale

Methoden

Entwicklung von Suchkriterien, Metaresearch (Recherchen in Fachliteratur, Fachportalen, Datenbanken, Papers, Berichte, etc.), Expert/innenbefragungen, Workshops, Entwicklung von Selektionsfilter, Templates für Datenaufbereitung (Kenndatenblätter)

Herausforderungen und Lessons Learned

- Der Ablauf der Recherche in Phase 2 war einerseits von der Menge an Fragestellungen und der dementsprechend identifizierten Vorbilder, andererseits durch die Datenqualität zu den Vorbilder geprägt. Einen großen Teil der Arbeit neben der eigentlichen Recherche nahm die Auswahl geeigneter Vorbilder ein, welche in mehreren Abstraktionsschritten mit Feedbackschleifen seitens Expert/innenteams erfolgte. Dabei mussten die funktionalen Eigenheiten biologischer Organismen sondiert werden, um eine oder mehrere mögliche Zuordnung zu den Fragestellungen zu schaffen oder sie zu verwerfen. Die umfangreiche Datensammlung erforderte auch die Entwicklung von Suchfunktionen und Selektionskriterien.
- Die geplante Gliederung und Bewertung wirksamer Eigenschaften von biologischen Vorbildern in "Materialien" und "Systeme" konnte aufgrund der Erkenntnis, dass natürliche Organismen keine Trennung in diesem Sinne machen, nicht erfolgen. Diese Feststellung hat auch Fragen nach neuen Design- und Produktionsweisen aufgeworfen, welche nicht in diesem Projekt detaillierter betrachtet werden können, jedoch bereits im Rahmen eines Innovationsprozesses stattfindet.

Anhangsdokumente

2_1: Literaturverzeichnis zu Architektur und Bionik - Zusammenstellung Referenzen

2_2: Sammlung von biologischen Vorbildern – Liste vielversprechender Prinzipien auf Basis biologischer Material/ Systemlogik [biological data base, Teil 1]

2_3: Biologische Kenndatenblätter - Beschreibung der Phänomene inklusive der wirksamen Prinzipien und Referenzen der selektierten Vorbilder [biological data base, Teil 2]

⁵ Im Rahmen des Projekts wurde ein Prozess entwickelt, der auf Literatur zum Top-Down Prozess in der Bionik (siehe 2.3.1) und technischen Produktentwicklungsprozessen beruht (vgl. Systemanalyse nach Ehrlenspiel, 2007, S. 88 aus Lorenz, 2008)

3.3 Phase 3 | Bionische Konzeptentwicklung und Analysen

3.3.1 Zielsetzung

Phase 3 widmete sich der Entwicklung von bionischen Konzepten auf Basis von identifizierten Funktionsprinzipien aus Phase 2, sowie der Evaluierung ausgewählter Konzepte (Abbildung 14). Die Kernfrage war hierbei, ob und inwiefern die entwickelten bionische Konzepte zu einer möglichen Energieeinsparung in einem fiktiven Modellgebäude beitragen können. Dazu wurden zu den vielversprechendsten Entwürfen Analysen durch numerische Methoden durchgeführt, um die Plausibilität der Konzepte zu prüfen. Da es sich bei den bionischen Konzepten um Entwürfe von teils neuartigen, noch nicht existenten Funktionen und Materialien handelt, basiert die Evaluierung auf Annahmen, die zumindest eine Abschätzung des Potenzials erlaubten, jedoch noch detaillierte Analysen in Folgeprojekten benötigen würden.

AP 3: Auswahl und Evaluierung geeigneter Fassadenmodelle



Abbildung 14: Gegenüberstellung von Konzeptentwicklung und wissenschaftlicher Analyse in Phase 3

3.3.2 Methodische Vorgehensweise

Die Phase 3 ist in DESIGN und ANALYSE unterteilt.

DESIGN/ Schritt 1: VORBEREITUNGEN FÜR ÜBERTRAGUNG DER BIOLOGISCHEN PRINZIPIEN

- Entwicklung eines Übertragungsprozesses durch Anpassung von Übertragungsmethoden aus der Bionik und dem Produktdesign (z.B. Mindmapping, Morphologische Analyse, Entwurfsdesign, etc.)
- Entwicklung von Tools für den Entwurfsprozess, wie z.B. BioSkin Creative Cards
- Aufbereitung der biologischen Prinzipien: Vertiefte Recherchen zu den Funktionsweisen der selektierten Vorbilder und Aufbereitung der Prinzipien (funktionelle Klärung des Funktionsprinzips)

DESIGN/ Schritt 2: ENTWURF UND AUSARBEITUNG VON BIONISCHEN KONZEPTEN

- Planung, Organisation und Durchführung von mehreren Entwurfsworkshops
- Entwurfsarbeit - Entwicklung bionischer Konzepte
- Qualitative Selektion von vielversprechenden Entwurfskonzepten
- Vorstellung des Übertragungs- und Evaluierungsprozesses sowie der Entwürfe beim Expert/innen-Workshop

ANALYSE/ Schritt 1: DEFINITION DER ANALYSENBEDINGUNGEN

- Auswahl adäquater Analysemethoden für Untersuchung (z.B. MATLAB, therm. Simulation, etc.)

- Definition und Modellierung von Referenzgebäuden und Randbedingungen für die Potenzialanalyse in Schritt 3

ANALYSE/ Schritt 2: FUNKTIONSANALYSE VON GRUNDMODELLEN

- Beschreibung und mathematische Modellierung der Funktionsweise der gewählten Konzepte und Analyse der Funktionsweise bzw. der Effektivität des Prinzips
- Qualitative Abschätzung des Übertragungspotenzials der Prinzipien (Funktionalitätsprüfung von virtuellen Grundmodellen)
- Selektion der besten Grundmodelle

ANALYSE/ Schritt 3: POTENZIALANALYSE VON BEST CASE MODELLEN

- Analyse des Anwendungspotenzials der Grundmodelle auf Gebäude (Best Case Models), basierend auf Annahmen zu Standort, Klima, Gebäudetyp, etc.
- Evaluation der Ergebnisse aus der Analyse der Best Case Modelle
- Grobeinschätzung des Energieeinsparungspotenzials

3.3.3 Ergebnisse DESIGN

Entwicklung von Methoden und Aufbereitung von Prinzipien für den Übertragungsprozess

Der Übertragungsprozess von biologischen Prinzipien auf technische Konzepte stellt eine der Schlüsselherausforderung des bionischen Arbeitens dar. Die selektierten High Potentials aus Phase 2 mussten aus der „biologischen“ Fachsprache in eine „technische“ Fachsprache übertragen werden, dh. derart aufbereitet werden, dass die Zusammenhänge und Funktionsmerkmale der Prinzipien auch für Nicht-Biolog/innen nachvollziehbar sind.

Dieser Transferprozess wurde durch die Nutzung von unterschiedlichsten Methoden aus der Bionik, aus Innovationsprozessen und aus dem Produktdesign ermöglicht, um die Kommunikation zwischen den Fachbereichen der Naturwissenschaften und der technischen Entwicklung zu vereinfachen (siehe auch Abbildung 18).

Aufgrund mangelnder standardisierter Methoden zum Projektzeitpunkt wurden eigene Tools und Hilfsmittel entwickelt, welches zum Teil auch durch Know-how Transfer mit dem internationalen Studienlehrgang Bionik an der Fachhochschule Bremen erfolgte. Auch Methoden aus der Produktentwicklung und Architektur wurden adaptiert bzw. Know-how über wissenschaftlich-analytische Methoden und Innovationsmethoden sondiert, um daraus passende Prozesse sowie Tools für das Projekt ableiten zu können.

Im Folgenden werden hier die wesentlichsten Hilfsmitteln vorgestellt.

Selektion und morphologische Analyse der Funktionsprinzipien

Die Diversität an Lösungsansätzen, die biologische Strukturen und Prozesse bieten, muss gegebenenfalls eingeschränkt werden oder sollte, wenn möglich, bereits während der

Analogiesuche selektiv eingeschränkt werden. Die Funktionsweisen der Vorbilder wurden nach folgenden Kriterien geordnet bzw. selektiert:

- (i) Streichungen von komplexen Funktionsweisen, die in der Studie schwer analysiert werden können (z.B. sensorische Kommunikationssysteme).
- (ii) Phänomene, deren Funktionsprinzipien auf physikalische Phänomene beruhen, wurden für eine Untersuchung berücksichtigt. Physikalische Funktionsweisen sind als Modell eher umsetzbar als chemische Prozesse.
- (iii) Organismen, deren Anpassungsmechanismen oder funktionellen Prozesse Potenzial für ein „bionisches Produkt“ haben, wurden nur dann herangezogen, wenn das Funktionsprinzip im Detail geklärt ist. Wenn ein Phänomen teilweise ungeklärt ist, jedoch schon in diesem Stadium hohes Potenzial zu erwarten ist, wurde eine weiterführende Grundlagenforschung angeregt, welche nicht Aufgabe der Studie selbst war.
- (iv) Letztendlich sollte die Möglichkeit, Organismen nach Multifunktionalität zu selektieren, nicht ungenutzt bleiben. Hierbei wurden Strukturen und Prozesse, die eine Vielzahl der technischen Anforderungen bedienen, eher in den Fokus gerückt, als jene, die das Kriterium der Multifunktionalität nicht erfüllen.

Auf Basis dieser Kriterien und mithilfe der Mindmapping-Methode wurden die ausgewählten Funktionsprinzipien anhand deren funktioneller Eigenschaften gruppiert, um anschließend mithilfe der morphologischen Analyse Ähnlichkeiten bzw. Überlappungen zwischen den Organismen sondieren zu können. Dabei wurden die Eigenschaften der selektierten Organismen tabellarisch aufbereitet, um die Prinzipien bzw. auch mögliche Kombinationen mehrerer Prinzipien sichtbar zu machen (Tabelle 11).

Tabelle 11: Mehrdimensionale Matrix (Vorlage Morphologischer Kasten) [S. Richter, AIT]

Ziele	Funktionsprinzip	Kategorie a		Kategorie n..i
		Organismus a	Organismus b	Organismus n..i
Teilfunktion	Funktionelle Beschreibung			
	Funktionelle Skizze			
	Schlagwörter			
Teilfunktion n..i				

Die morphologische Analyse hat den Vorteil, dass die Funktionen und Anforderungen der biologischen Lösungsansätze übersichtlich und frei von persönlicher Bewertung gegenüber gestellt werden können. Die technischen Anforderungen und biologischen Lösungsansätze wurden hierfür in eine mehrdimensionale Matrix übertragen.

Diese Form der Analyse ermöglichte, eventuelle Synergien zwischen den Funktionsprinzipien mehrerer Organismen bzw. Divergenzen oder Übereinstimmungen zu identifizieren. Dadurch konnten zugrunde liegende physikalische Eigenschaften, Bedingungen und Verhaltensformen zwischen Organismen entdeckt werden, die halfen, die Funktionsweisen besser vom Organismus losgelöst zu verstehen (Abbildung 15).

Task	Aim	?	Sponge <i>Thethy aurantium</i>	6 - Venus flower basket <i>Euplectella aspergilum</i>
DAY LIGHT USE	transmit light at maximum	Functional Principle	Silica fibres transmit light from the surface to the centre of the sponge.	Lens-like structure at the fibre end collects light
		Sketch		
		Habitat	Marine water	Marine water
	transmit light selectively	Keywords	light transfer by fibres and crystals	lenses
		Functional Principle	Fibres act as high- ($\sim 615\text{ nm}$) and low-pass (>1310 nm) filter (?)	
		Sketch		
	guiding light	Habitat	Marine water	Marine water
		Keywords	light transfer by fibres and crystals, multimode waveguide	
		Functional Principle	Fibre bundles are arranged of single fibres, light is transferred inside the sponge and at the same time transmitted between fibres	Fibres transport light and transmit it through its spines.
guiding light	Sketch			
	Habitat	Marine water	Marine water	
	Keywords	light transfer by fibres and crystals, light distribution	light transfer by fibres and crystals, light distribution	

Abbildung 15: Auszug aus der Analyse, morphologischer Kasten. Beispielhaft werden die Funktionsprinzipien von z.B. der Seeorange (*Tethya aurantium*, Nr. 6a) beschrieben (vgl. 2.3.3.). [S. Richter, AIT]

Die, zur morphologischen Analyse und für die Entwurfsarbeit erstellten Funktionsskizzen und Beschreibungen erleichterten den Wissenstransfer zwischen den Naturwissenschaften (Biologie, Physik, Chemie, etc.) und Ingenieurwissenschaften (Verfahrenstechnik, Produktentwicklung, etc.). Die Information dazu beruht auf vertiefte Studien der wissenschaftlichen Literatur, die durch die Recherchen in Phase 2 bereitgestellt wurde.

Die Beschreibung und die Skizzen der Funktionsprinzipien von selektierten Organismen findet sich jeweils auf Seite 2 jener biologischen Datenblätter wieder, die zur Analyse ausgewählt wurden (siehe Anhangsdokument 2_3) bzw., sind diese auch auf der Projektplattform www.bionicfacades.net unter „Daten“ zu finden.

Zuordnung der Prinzipien zu gemeinsamen Funktionscharakteristika

Jene Evaluierungsregeln, die in Phase 2 als Selektionsverfahren für die Vorbilder entwickelt wurden, wurden nun ergänzt: Die Einschätzung des Übertragungspotenzial (Filter 1), die qualitative Filterung (Filter 2) und die qualitative Bewertung (Filter 3) wurden durch einen weiteren Filter ergänzt: Die funktionale Zuordnung der Charakteristika der selektierten Vorbildprinzipien (Filter 4: funktionale Zuordnung **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) (vgl. Kapitel 2.3.3). Diese Zuordnung diente dazu, einen Überblick der unterschiedlichen Phänomene zu haben und diese den Hauptfunktionen der Funktionsmatrix aus Phase 1 gegenüber stellen zu können (vgl. Abbildung 16).

Damit konnten die zusammengefassten und abstrahierten Prinzipien aus der morphologischen Analyse möglichen Lösungsansätzen für eine Fassadenfunktion zugeordnet werden. Diese Übersicht bildet auch die Basis für die Entwurfsarbeit bzw. Vorbereitung der ‚BioSkin Creative Cards‘.

technical function targets	daylight			heat protection			exchange	climate		energy	count
	transmit light at maximum	transmit light selectively	guide light	efficient thermal insulation	management of constant indoor temperature	selective transmission of heat	sufficient air exchange without heat loss	passive cooling	regulate / maintain humidity	transport of energy without loss	
<i>biological principles</i>											
structural colours	x	x	x							x	5
reflective coatings	x	x	x	x					x		5
breathable membranes/structures				x			x	x	x		4
air keeping porous structures				x	x						2
light control by perforated membranes	x										1
static shading structures		x			x			x			3
light transfer by lences and facet's	x										1
fractal systems								x			1
optical systems (eyes)		x									1
light transfer by fibres and crystals	x		x	x							3
(gas, air) active transport system		x		x			x			x	4
gas exchange system					x						1
fluid collection systems								x			1
evaporation systems								x			1
convection current on plant surfaces									x		1
heat dissipation areas				x	x			x			3
fat layer insulation systems				x	x						2
selective pigmental light control	x	x		x				x			4
pigmental colour control		x									1
signal transmission and conversion	x										1
signal transmission and convection					x						1
reversible actuation systems		x		x				x			3
non-reversible actuation system		x									1
concurrent/countercurrent heat system					x	x	x	x		x	5
electromagnetic transport systems										x	1

Abbildung 16: Auszug aus der Aufbereitung der Funktionsprinzipien der selektierten Organismen

Entwicklung von „BioSkin Creative Cards“

Um ein möglichst universales (also fachunabhängiges) Verstehen der biologischen Funktionsprinzipien für eine erweiterte Gruppe an Personen (die bisher nicht in den Prozess eingebunden waren) zu ermöglichen, wurden von den biologischen High Potentials sogenannte Entwurfskarten, „BioSkin Creative Cards“, mit vereinfachten Darstellungen und Kurzerklärungen angelegt, welche die wesentlichsten Eigenschaften des Prinzips konzentriert begreiflich machen sollen. So wurden für jeden ausgewählten Organismus einfache Funktionsskizzen angelegt und die Bedingungen und Schlüsselfunktionen des Organismus prägnant erklärt (Abbildung 17).

Die „BioSkin Creative Cards“ dienten als methodische Entwurfshilfe für die Konzeptentwicklungen, welche in mehreren Entwurfsworkshops im Projekt selbst und im Rahmen einer Lehrveranstaltung im Masterlehrgang ‚Erneuerbare Urbane Energiesysteme‘ am FH Technikum Wien durchgeführt wurden. Die Einladung von Expert/innen und Student/innen aus unterschiedlichsten technischen Bereichen (Maschinenbau, Architektur, Physik, Elektrotechnik, Energietechnik, Haustechnik, etc.) schaffte eine kreative Vielfalt an Lösungen.

Die Creative Cards wurden auch erfolgreich im Bereich des Industrial Designs getestet und dienten als Basis für ein bionisch inspiriertes Leuchtendesign des Designerduos taliaYsebastian, welches als Ausstellung im MAK (Wien) ab Januar 2013 zu sehen war (siehe auch „Einbeziehung der Zielgruppen“ unter Kapitel 4.3.).

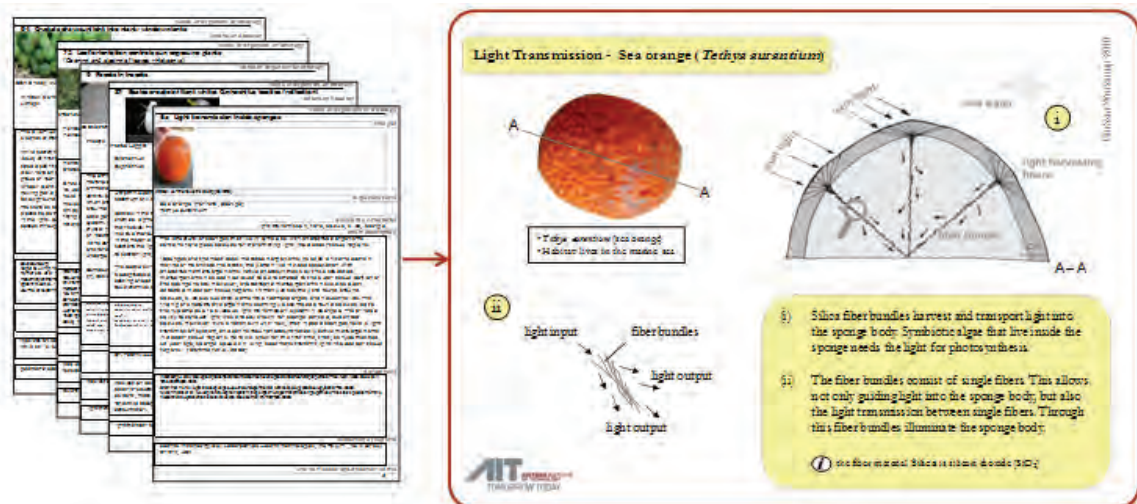


Abbildung 17: BioSkin Creative Cards – Transfer der Prinzipien aus den biologischen Kenndatenblättern in grafische aufbereitete Entwurfskarten mit Beschreibung der Schlüsselfunktionen und Funktionsskizzen [S. Richter, S. Gosztonyi, P. Gruber]

Entwürfe von bionischen Konzepten

Am 8. Juni 2010 fand der 1. BioSkin Entwurfsworkshop statt, an welchem 12 Expert/innen aus unterschiedlichsten Fachdisziplinen (Maschinenbau, Architektur, Physik, Geologie, Gebäudetechnik, Energiemanagement, Mathematik) teilnahmen. Die Entwicklung des Workshopkonzepts ließ ein hohes Maß an Kreativität und Ideenentwicklung durch den Fokus auf visuelle und zeichnerische Techniken zu (Abbildung 18). Die Teilnehmer/innen erarbeiteten in diesem Workshop ca. 25 Entwurfsskizzen für mögliche bionische Fassadenkonzepte (vgl. Abbildung 19).

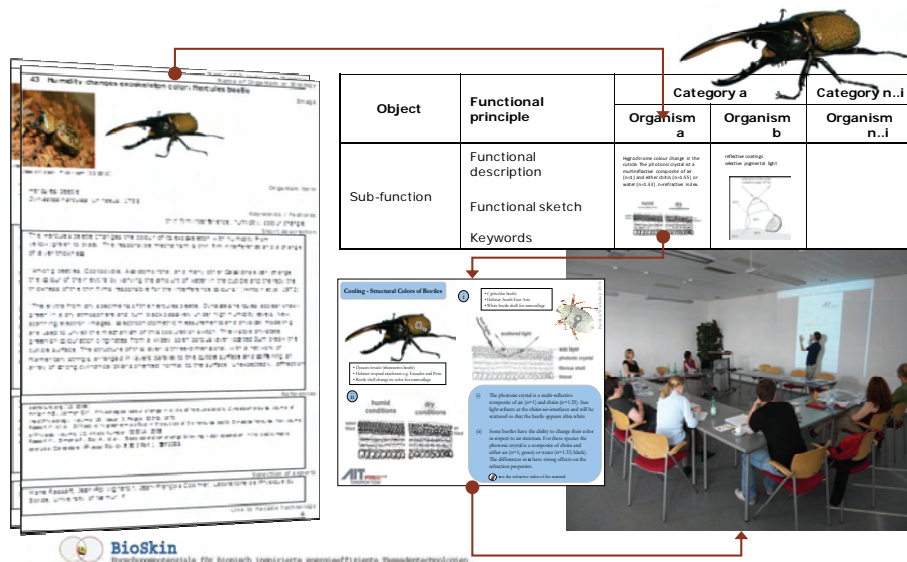


Abbildung 18: BioSkin Entwurfsablauf - Auf Basis ‚biologischer Kennblätter‘ (links) wurden Prinzipien mithilfe der ‚morphologischen Analyse‘ (oben) extrahiert und anschließend in ‚Creative Cards‘ (Mitte) für interdisziplinäre Entwurfswshops im Rahmen des Projekts aufbereitet. [Grafik: S. Gosztonyi]

Weitere Entwurfswshops konnten im Rahmen von Bionik-Übungen an der Fachhochschule Kärnten, Masterstudiengang „Bionik/Biomimetics in Energy Systems“ und

am FH Technikum Wien, Masterstudiengang „Erneuerbare Urbane Energiesysteme“ abgehalten werden. Ein Vorteil der Student/innenarbeiten bestand auch darin, dass z.B. die vertiefte Auseinandersetzung mit der Fachdisziplin Bionik an der Fachhochschule Kärnten gegeben war und das Niveau der Konzeptideen dadurch hoch war.

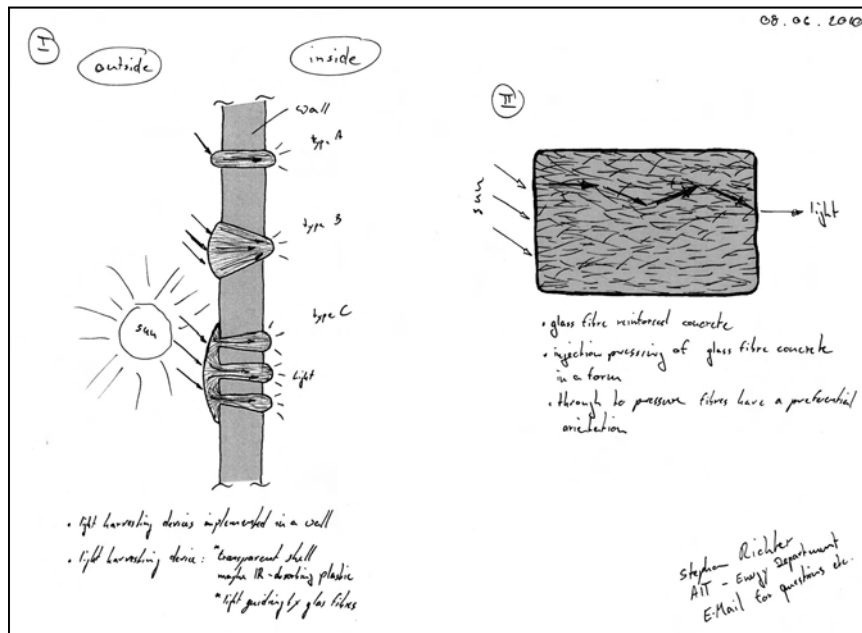


Abbildung 19: Beispiel Entwurfskonzept zu Tageslichtnutzung, basierend auf dem Funktionsprinzip ‚Lichttransmission durch Fasern und Kristalle‘, BioSkin Workshop [S. Richter, 2010]

Insgesamt wurden rund 50 Entwurfsskizzen für mögliche Fassadenlösungen erarbeitet. Aus den Entwürfen wurden vom Projektteam, basierend auf den Evaluierungskriterien (siehe Filterstufen 2.3.3) und einer Prüfung der einzelnen Entwürfe hinsichtlich grundsätzlicher Plausibilität und Machbarkeit, 15 bionische Konzepte zusammengestellt, von welchen vier in virtuelle Grundmodelle weiterentwickelt, und speziell zwei auf deren Anwendungspotenzial in Gebäuden geprüft wurden (siehe Tabelle 12, selektierte virtuelle Grundmodelle sind **fett** markiert). Details dazu können im Anhangsdokument 3_1**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** nachgelesen werden.

Tabelle 12: Liste der bionischen Entwürfe in BioSkin

#	SYSTEM-LEVEL	MASSNAHME	FUNKTION	SYNERGIEN	BIONISCHES KONZEPT / ANWENDUNGSEIDEN
01	Technik	Gebäude-technik	Nachführung	11, 12	TracingSystem Nachführungssystem / Passive Antriebstechnik, einsetzbar für alle Belange, die Adaption über simple Hydraulik ohne Hilfsenergie benötigen, zB. adaptive Verschattung, Blendschutz, Öffnungsklappen, etc.
02	Technik	Gebäudehülle	Luftaustausch		PassiveFlap Öffnungsklappen, die über passive Aktuatoren (zB. Feuchte, Temperatur) gesteuert werden (Öffnungsfunktionen–Licht/Lüftung)
03	Technik	Gebäudehülle	Kühlung		WaterHarvestDevice Passives Wassersammelsystem (Aufbereitung, Speicher für Kühlsysteme)

#	SYSTEM-LEVEL	MASSNAHME	FUNKTION	SYNERGIEN	BIONISCHES KONZEPT / ANWENDUNGSDIENEN
04	Baustoff	Konstruktion	Tageslicht		DaylightDirectingMaterial Lichtlenkende Systeme (Synergien mit Aerogel und Xerogel), Faserbündel im Mauerwerk; Lichtaufnahme und -transport n. innen
05	Komponente	Fassade	Tageslicht/ Wärmeschutz	17	<u>AdaptiveShading01</u> Nachführende Verschattung über formadaptive Materialeigenschaften (Bi-Metall, Dehnung, formadaptive Faserwerkstoffe, etc.) Aktuator: Temperatur, Lichtstärke, etc.
06	Komponente	Fassade	Tageslicht/ Wärmeschutz	1	<u>AdaptiveShading02</u> Nachführende Systeme: Adaptive Verschattung durch Positionsveränderung von mehrlagigen Schichten/Layer
07	Komponente	Fassade	Tageslicht/ Wärmeschutz	1	<u>AdaptiveShading03</u> Nachführendes System: Adaptiv durch mechan. Klappmechanismus
08	Bauteil	Fassadenform	Tageslicht/ Wärmeschutz		<u>EnergySavingFacade</u> Statisches Verschattungssystem: Fassadenformoptimierung, Faltfassade
09	Bauwerk	Gebäude- hüllform	Tageslicht/ Wärmeschutz		<u>EnergySavingForm</u> Statisches Verschattungssystem: Gebäudeformoptimierung
10	Baustoff	Fassade	Kühlung		ColourChangeSurface Farbverändernde Fassadenoberfläche (Tonminerale, Photon. Kristalle, Salz in Wabenstruktur etc.) – passive thermodyn. Effekte
11	Komponente	Fassade	Kühlung/ Wärmeschutz	10, 19	<u>AdaptivIsolation</u> Fassade mit variablem Wärmeleitwert - je nach Bedarf Wärme ableitbar oder speicherbar; Verbinden zweier Materialien mit unterschiedlichen Längenausdehnungskoeffizienten, ähnlich dem Prinzip eines Thermobimetalls
12	Bauteil	Gebäude / Fassade	Kühlung/ Wärmeschutz	1,10,17	<u>HeatExchangeFacade</u> Wärmeabgabe erfolgt durch Radiation und Konvektion in feinmaschigen Rohrleitungssystem, kühlendes Medium könnte Luft, Erdreich oder auch ein Gewässer sein.
13	Bauteil	Fassade	Kühlung	6	EvaporativeCoolingFacade Durch Evaporation/integrierte Mikrokapseln/Faser, die Feuchte nach außen transportieren können (=schwitzen) und eine gekühlte Fassadenoberfläche damit schaffen.
14	Bauteil	Fassade	Lüftung		<u>VentFlapsFacade</u> Passive Lüftung über Klappen, die sich bei bestimmten Druckdifferenzparameter (Winddruck auf Fassadenoberfläche, etc.) öffnen/schließen; Kombination mit Energiegeneration über Wind?
15	Bauteil	Gebäude- hüllform	Lüftung		<u>VentShapeFacade</u> passive Lüftung durch statische Gebäudeformoptimierung und Nutzung des Luftdruckunterschieds (Bernoulli); Lüftung über Gebäudehülle - Beitrag zur Lüftung, passive Kühlung, Nachtspülung.

3.3.4 Ergebnisse ANALYSE

Ziel der Analysen war, eine Auswahl der vorliegenden Entwürfe auf deren grundsätzliche Tauglichkeit für den Fassadeneinsatz zu prüfen. Die Fragestellungen lauteten z.B.: Wie

funktioniert das Prinzip? Welche Rahmenbedingungen sind zu berücksichtigen? Wäre eine Effizienzsteigerung bzw. Energieeinsparung grundsätzlich möglich? Ist ein multifunktionales Potenzial vorhanden?

Um diese Fragen beantworten zu können, wurden zwei Analysestufen eingerichtet: Die Funktionsanalyse und die Potenzialanalyse. Die entwickelten bionischen Konzepte wurden mittels geeigneter Analysemethoden zuerst hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Machbarkeit und Funktionsweise untersucht (Funktionsanalyse). Anschließend wurde bei den vielversprechendsten Konzepten das energetische Energieeinsparungspotenzial im Anwendungsbereich Gebäude/ Fassade abgeschätzt (Potenzialanalyse).

FUNKTIONSANALYSE: Überprüfung der Machbarkeit der virtuellen Grundmodelle

Zur Überprüfung der Funktionalität des Entwurfs, losgelöst von einer Gebäudeanwendung, wurden Randbedingungen und charakteristische Parameter definiert. Dazu wurden aus vier ausgewählten Konzepten vereinfachte mathematische Grundmodelle entwickelt, welche die Funktionsprinzipien auf Basis vereinfachter Annahmen beschreiben. Die anschließenden Analysen zur Funktionsweise wurden mithilfe des numerischen Tools MATLAB durchgeführt.

Über diesen Weg konnte die funktionale Sinnhaftigkeit des Konzepts sowie deren Bedingungen betrachtet werden. Erst dann konnten die vielversprechendsten Grundmodelle einer Potenzialanalyse unterzogen werden, bei welcher Anwendungsszenarien in fiktiven Gebäuden und Umgebungen den Kontext bildeten.

POTENZIALANALYSE: Anwendungspotenzial der virtuellen Grundmodelle

Mittels geeigneter Analysemethoden aus der Gebäudesimulation wurden zwei ausgewählte virtuelle Grundmodelle hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit im Gebäudebereich untersucht. Dabei wurde das energetische Einsparungspotenzial durch die angenommenen Eigenschaften der Grundmodelle eingeschätzt.

Da die Grundmodelle aufgrund ihrer Neuartigkeiten großteils auf Annahmen und fiktiven Parametern basieren, können die Analysen nur als eine grobe Potenzialeinschätzung betrachtet werden. Die Annahmen wurden, soweit möglich, auf Basis existenter analoger Produkte getroffen. Bei positiver Einschätzung können diese Annahmen im Rahmen von fortführenden industriellen Forschungsarbeiten durch evaluierte Parameter ersetzt werden. Dabei ist die Bestimmung von Materialcharakteristika und Produktbedingungen unerlässlich, welches im Rahmen dieser Grundlagenstudie nicht durchführbar war. In der Studie wurden Marktrecherchen zu analogen Produkten durchgeführt, um möglichst realistische Werte als Annahmen zu verwenden.

DEFINITION DER ANALYSEBEDINGUNGEN

Vor den Potenzialanalysen wurden Anwendungsszenarien und zwei Gebäudemodelle (Referenzgebäude) definiert, mitsamt deren Standortbedingungen (klimatische Ausgangsbedingungen), Nutzungsszenarien (Gebäudetyp, Nutzungsprofil), sowie nötigen Bedarfswerte (z.B. Heiz- und Kühlenergiebedarf).

Hinweise zum Berechnungsverfahren

Die ausgewählten bionischen Konzepte wurden als vereinfachte mathematische Modelle beschrieben, in [MATLAB] modelliert und im Rahmen der Funktionsanalyse analysiert. Um deren Potenzial für eine Gebäudeanwendung einschätzen zu können, wurden die Modelle anschließend in Anwendungsszenarien übergeleitet und mittels thermisch dynamischer Gebäude- und Anlagensimulation [TRNSYS 17], erweitert mit den TESS Bibliotheken mit stündlicher Auflösung, untersucht.

Es werden in den Analysen keine konkreten Werte und Ergebnisse ausgegeben, da es sich hierbei um grundlegende Evaluierungen auf Basis von Annahmen handelt und diese maximal als Vergleichswerte betrachtet werden können. Die Erkenntnisse aus den Analysen sollen zur Ersteinschätzung des Potenzials dienen. Konkretere Erkenntnisse konnten nicht in der vorliegenden Grundlagenstudie erarbeitet werden, da dazu z.B. Entwicklungsaufwand von neuen Materialien nötig wäre.

Alle Annahmen in den Anwendungsszenarien beziehen sich auf Daten der OIB Richtlinie 6 (OIB RL 6, 2011), diverser Literatur zu Gebäude und Klimadaten, sowie Annahmen, die bei der Beschreibung der Konzepte aus vergleichbaren existenten Produkt- und Materialbeschreibungen entnommen wurden.

DEFINITION AND MODELLIERUNG VON REFERENZGEBÄUDE

Zum Zweck der Potenzialanalysen wurden Anwendungsszenarien entwickelt und modelliert, welche ein möglichst breites Spektrum von Bauten abdecken sollen: Als Bautypus wurde ein typischer Wohnbau sowie ein Bürobau als Referenzmodelle gewählt. Die beiden Bautypen weisen im Modell idente Gebäudegeometrien (quaderförmiger Grundriss, 5 Geschosse) auf, unterscheiden sich jedoch im Verglasungsanteil, dem HKLS System, sowie den Nutzungsprofilen. Beide Referenzmodelle wurden hinsichtlich ihrer bauphysikalischen Qualität in 3 Stufen variiert: Die Qualitätsstufe „MEE – Medium Energy Efficient“ beschreibt ein Gebäude entsprechend den Vorgaben der OIB Richtlinie 6 (OIB RL 6, 2011), „NEE – Not Energy Efficient“ entspricht der österreichischen Bauweise aus den 1960er Jahren. Es wurden weiteres drei verschiedene Standorte bzw. Klimaszenarien gewählt: Wien, Wien im Jahr 2050 und Singapur.

Gebäudegeometrie

Beide Referenzmodelle sind fünfstöckige Gebäude, die bei einem rechteckigen Grundriss eine Bruttogeschoßfläche von 600 m² aufweisen. Der Verglasungsanteil beträgt beim Bürogebäude 60%, beim Wohnhaus 30% (Abbildung 21). Die fünf Stockwerke sind im Grundriss ident und werden mittels einem „Fünf-Zonen Modell“ bestehend aus einer Kernzone und vier Randzonen in der thermischen Simulation abgebildet (siehe Abbildung 20).

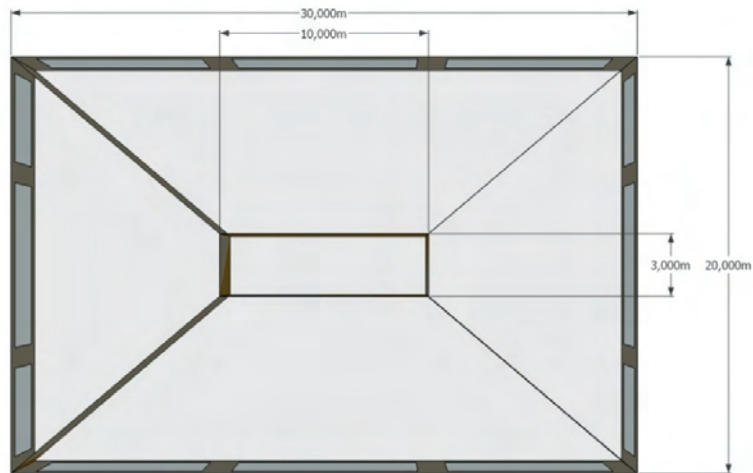


Abbildung 20: Grundriss Regelgeschoss mit fünf thermischen Zonen [S. Gosztonyi, M. Brychta, AIT]

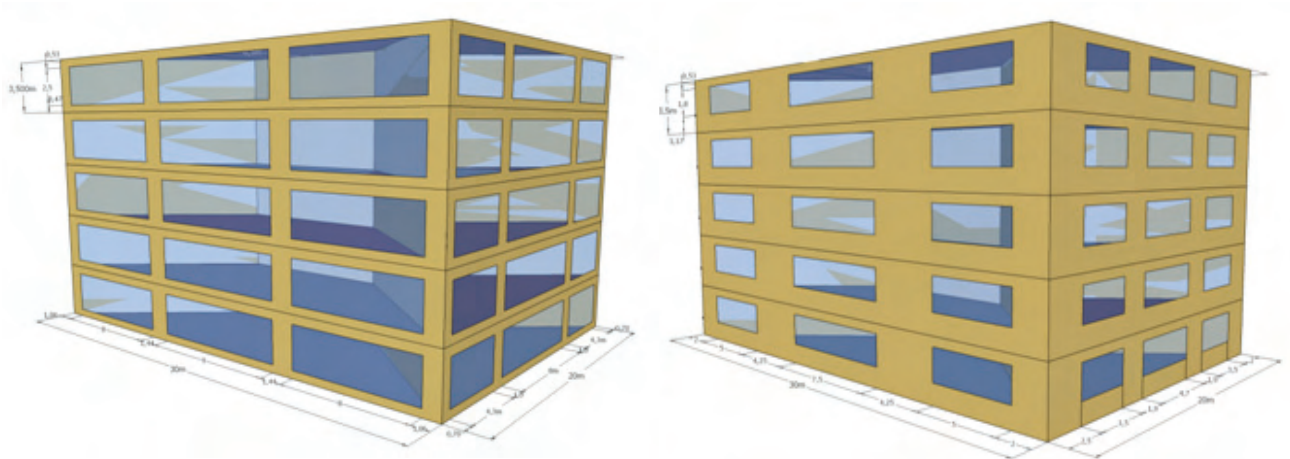


Abbildung 21: Visualisierung der Referenzmodelle Bürogebäude (links) und Wohnhaus (rechts) [S. Gosztonyi, M. Brychta, AIT]

Bauphysik

Es wurden zwei Qualitätsstandards „MEE – Medium Energy Efficient“ und „NEE – Not Energy Efficient“ definiert und folgende bauphysikalische Angaben betroffen:

Gebäudetyp 1 mit Energieeffizienzqualität - „MEE - Medium Energy Efficient“

Im folgenden Abschnitt sind die verwendeten Aufbauten für Wände, Decken und Fußboden, sowie die bauphysikalischen Eigenschaften der Verglasung in der Variante „MEE“ (vgl. OIB RL 6, 2011) beschrieben.

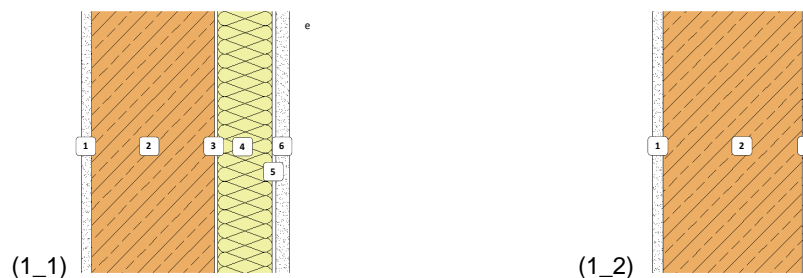


Abbildung 22: Wandaufbauten des Typs 1 „MEE“ (von links nach rechts): Außenwand (1_1), Innenwand (1_2)

Außenwand (1_1)

#	Material	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	R [m ² K/W]	
<i>i</i>	Wärmeübergangswiderstand <i>R_{si}</i>					0,130	
1	Kunstharzputz mit Bepachtung	0,015	0,700	1200	1000	0,021	
2	Alter Porenbeton m. Mörtelfuge	0,180	0,300	780	1000	0,600	
3	Mörtelkleber (SM700 Marmorit)	0,005	0,540	1400	1000	0,009	
4	Hartschaumplatte EPS 040 (diff.offen)	0,080	0,040	20	1500	2,000	
5	Armierungsputz (SM700 Marmorit)	0,005	0,540	1400	1000	0,009	
6	Silikatputz	0,020	0,700	1800	1000	0,029	
<i>e</i>	Wärmeübergangswiderstand <i>R_{se}</i>					0,040	
Gesamtdicke d [m]		0,305				R_T [m²K/W]	2,839
<i>v. innen na. außen</i>						U-Wert [W/m²K]	0,35
						Mindest U-Wert (OIB RL6)	0,35

Innenwand (1_2)

#	Material	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	R [m ² K/W]	
1	Gipskartonplatte	0,013	0,21	790	1000	0,060	
2	Luftschicht, stehend	0,020	1,00	0,001	1000	0,020	
3	Wärmedämmung (Glaswolle)	0,040	0,04	20	830	1,000	
4	Stahlblech, verzinkt	0,002	50	36	449	0,000	
5	Alter Porenbeton m. Mörtelfuge (GSB 35*)	0,250	0,30	780	1000	0,833	
6	Gipskartonplatte	0,013	0,21	790	1000	0,060	
Gesamtdicke d [m]		0,337				R_T [m²K/W]	1,972
						U-Wert [W/m²K]	0,51
						Mindest U-Wert (OIB RL6)	0,90

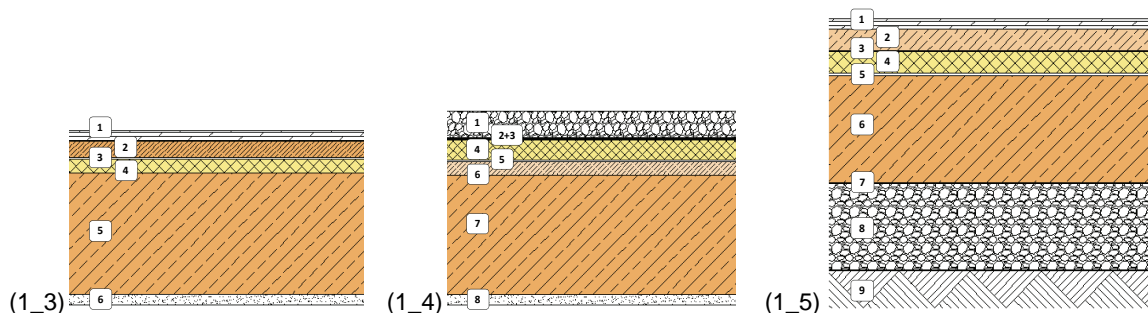


Abbildung 23: Deckenaufbauten des Typs 1 „MEE“ (von links nach rechts): Decke Zwischengeschoss (1_3), Decke Flachdach (1_4), Fußboden erdberührt (1_5)

Decke (Zwischengeschoss) (1_3)

#	Material	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	R [m ² K/W]	
1	Bodenbelag (Holzboden)	0,015	0,13	500	1600	0,12	
2	Estrich (Zement)	0,025	1,40	2000	1000	0,018	
3	Polyethylenfolie	0,001	0,40	930	1800	0,001	
4	Trittschalldämmung (Polystyrol)	0,040	0,04	20	1500	1,000	
5	Stahlbeton-Rippendecke	0,180	2,30	2400	880	0,078	
6	Kunstharzputz	0,015	0,70	1200	1000	0,021	
Gesamtdicke d [m]		0,276				R_T [m²K/W]	1,234
<i>v.oben na. unten</i>						U-Wert [W/m²K]	0,81
						Mindest U-Wert (OIB RL6)	0,90

Dach (Flachdach) (1_4)

#	Material	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg/K]	R [m ² K/W]	
e	Wärmeübergangswiderstand R _{se}					0,040	
1	Kiesschüttung	0,040	2,00	2200	1000	0,020	
2	Abdichtung (Polymer-Bitumen, 2-lagig)	0,003	0,17	1050	1000	0,018	
3	Dampfdruckausgleichsschicht (PE)	0,001	0,40	930	1800	0,003	
4	Wärmedämmung Polystyrol (EPS)	0,200	0,04	20	1500	5,000	
5	Dampfsperre (zB Alufolie)	0,001	160,00	2700	896	0,000	
6	Ausgleichsschicht, Gefällebeton	0,020	2,00	2400	900	0,010	
7	Stahlbeton-Rippendecke	0,180	2,50	2400	880	0,072	
8	Kunstharzputz	0,015	0,70	1200	1000	0,021	
i	Wärmeübergangswiderstand R _{si}					0,100	
Gesamtdicke d [m]		0,460				R_T [m²K/W]	5,284
v.oben na. unten						U-Wert [W/m²K]	0,19
						Mindest U-Wert (OIB RL6)	0,20

Fußboden (Erdberührt) (1_5)

#	Material	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg/K]	R [m ² K/W]	
o	Wärmeübergangswiderstand R _{so}					0,170	
1	Bodenbelag (Holzboden)	0,015	0,13	500	1600	0,115	
2	Ausgleichsschicht (Estrich)	0,030	1,40	2000	1000	0,021	
3	Polyethylenfolie	0,001	0,40	930	1800	0,003	
4	Wärmedämmung Polystyrol (EPS)	0,080	0,04	20	1500	2,000	
5	Abdichtung (Polymer-Bitumen, 2-lagig)	0,003	0,17	1050	1000	0,018	
6	Unterbeton, bewährt	0,150	2,30	2300	800	0,065	
7	Baupapier	0,001	-	-	-	0,000	
8	Rollierung (Kiessandschüttung)	0,120	0,70	1350	835	0,171	
	PP-Filtervlies	0,001	0,22	910	1700	0,005	
u	Erdreich						
Gesamtdicke d [m]		0,401				R_T [m²K/W]	2,568
v.oben na. unten						U-Wert [W/m²K]	0,39
						Mindest U-Wert (OIB RL6)	0,40

Fenster (1_6): Für die Verglasung wurden die folgenden Eigenschaften angenommen: U-Wert=1,1 W/m².K, g-Wert=0,58.

Gebäudetyp 2 mit Energieeffizienzqualität - „NEE Niedrige Energie Effizienz“

Im folgenden Abschnitt sind die verwendeten Aufbauten für Wände, Decken und Fußboden sowie die bauphysikalischen Eigenschaften der Verglasung in der Variante „NEE“ (entsprechend typischen Altbau aus den 1960er Jahre beschrieben. Die bauphysikalischen Daten aus jener Zeit wurden den Quellen (Hart, F., 1965) und (Amann, W. et al., 2007) entnommen.

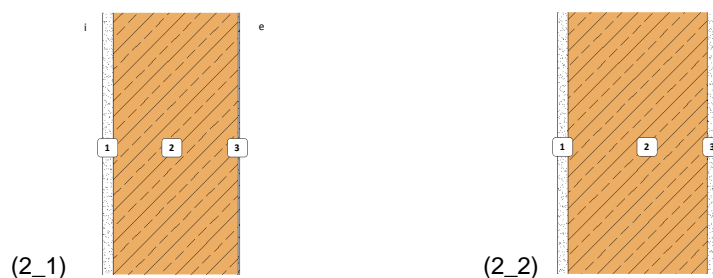


Abbildung 24: Wandaufbauten des Typs 2 ‚NEE‘ (von links nach rechts): Außenwand (2_1), Innenwand (2_2)

Außenwand (2_1)

#	Material	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg/K]	R [m ² KW]	
i	<i>Wärmeübergangswiderstand R_{si}</i>						0,130
1	Kunstharzputz mit Bepachtelung	0,015	0,70	1200	1000	0,021	
2	Alter Porenbeton m. Mörtelfuge (GSB 35°)	0,180	0,30	780	1000	0,600	
3	Dispersionsbeschichtung auf Glasvlies	0,001	-	-	-	-	
e	<i>Wärmeübergangswiderstand R_{se}</i>						0,040
Gesamtdicke d [m]		0,196				R_T [m²K/W]	0,791
<i>exterior - interior</i>						U-Wert [W/m²K]	1,26

Innenwand (2_2)

#	Material	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg/K]	R [m ² KW]	
1	Kunstharzputz mit Bepachtelung	0,015	0,70	1200	1000	0,021	
2	Alter Porenbeton m. Mörtelfuge (GSB 35°)	0,200	0,30	780	1000	0,667	
3	Kunstharzputz mit Bepachtelung	0,015	0,70	1200	1000	0,021	
Gesamtdicke d [m]		0,23				R_T [m²K/W]	0,710
						U-Wert [W/m²K]	1,41

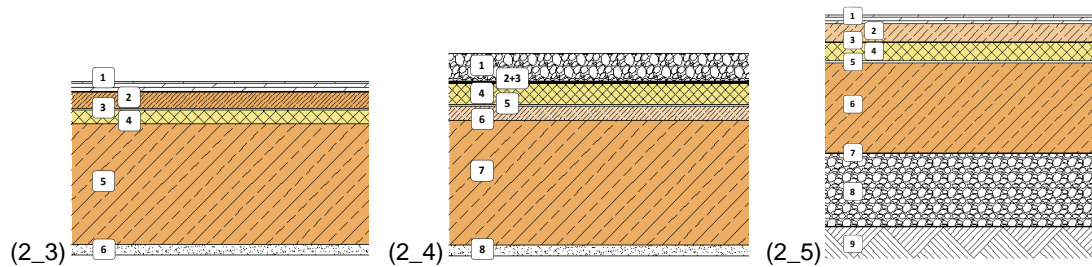


Abbildung 25: Deckenaufbauten des Typs 1 'NEE' (von links nach rechts): Decke Zwischengeschoss (2_3), Decke Flachdach (2_4), Fußboden erdberührt (2_5)

Decke (Zwischengeschoss) (2_3)

#	Material	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg/K]	R [m ² KW]	
1	Bodenbelag (Holzboden)**	0,015	0,13	500	1600	0,115	
2	Estrich (Zement)	0,025	1,40	2000	1000	0,018	
3	Polyethylenfolie	0,001	0,40	930	1800	0,001	
4	Trittschalldämmung (Polystyrol)	0,020	0,04	20	1500	0,500	
5	Stahlbeton-Rippendecke	0,180	2,30	2400	880	0,078	
6	Kunstharzputz	0,015	0,70	1200	1000	0,021	
Gesamtdicke d [m]		0,256				R_T [m²K/W]	0,734
						U-Wert [W/m²K]	1,36

Dach (Flachdach) (2_4)

#	Material	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg/K]	R [m ² KW]	
e	<i>Wärmeübergangswiderstand R_{se}</i>						0,040
1	Kiesschüttung	0,040	2,00	2200	1000	0,020	
2	Abdichtung (Polymer-Bitumen, 2-lagig)	0,003	0,17	1050	1000	0,018	
3	Dampfdruckausgleichsschicht (PE)	0,001	0,40	930	1800	0,003	
4	Wärmedämmung (Schaumglas)	0,030	0,04	120	840	0,750	
5	Dampfsperre (zB Alufolie)	0,001	160,00	2700	896	0,000	
6	Ausgleichsschicht, Gefällebeton	0,020	2,00	2400	900	0,010	
7	Stahlbeton-Rippendecke	0,180	2,50	2400	880	0,072	
8	Kunstharzputz	0,015	0,70	1200	1000	0,021	
i	<i>Wärmeübergangswiderstand R_{si}</i>						0,100
Gesamtdicke d [m]		0,290				R_T [m²K/W]	1,034
<i>exterior - interior</i>						U-Wert [W/m²K]	0,97

Fußboden (Erdberührt) (2_5)

#	Material	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg/K]	R [m ² K/W]
o	Wärmeübergangswiderstand R_{si}					0,170
1	Bodenbelag (Holzboden)	0,015	0,13	500	1600	0,115
2	Ausgleichsschicht (Estrich)	0,030	1,40	2000	1000	0,021
3	Polyethylenfolie	0,001	0,40	930	1800	0,003
4	Wärmedämmung (Schaumglas)	0,030	0,04	120	840	0,750
5	Abdichtung (Polymer-Bitumen, 2-lagig)	0,003	0,17	1050	1000	0,018
6	Unterbeton, bewährt	0,150	2,30	2300	800	0,065
7	Baupapier	0,001	-	-	-	0,000
8	Rollierung (Kiessandschüttung)	0,120	0,70	1350	835	0,171
9	PP-Filtervlies	0,001	0,22	910	1700	0,005
u	Erdreich					
Gesamtdicke d [m]		0,351				
					R_T [m²K/W]	1,318
					U-Wert [W/m²K]	0,76

v.oben na. unten

Fenster (2_6): Für die Verglasung wurden die folgenden Eigenschaften angenommen: U-Wert=2,5 W/m².K, g-Wert=0,8.

Infiltration

Es wird sowohl beim Gebäudetyp Büro, als auch Wohnhaus in Anlehnung an (OIB RL 6, 2011), ein nicht konditionierter Luftaustausch (Infiltration) mit Außenluft mit einer Luftwechselrate (ACH) von 0,15 1/h angenommen.

HKLS

Heizung

Der Sollwert für die Raumtemperatur im Heizfall wurde sowohl im Büro, als auch im Wohnhaus entsprechend (OIB RL 6, 2011) mit 20°C festgelegt. Die zur Einhaltung der Raumtemperaturen nötigen Wärmemengen wurden in der Simulation für jede der in Abbildung 20 dargestellten thermischen Zonen stündlich berechnet.

Kühlung

Der Sollwert für die Raumtemperatur im Kühlfall wurde im Büro entsprechend (OIB RL 6, 2011) mit 26°C festgelegt. Eine Kühlung im Gebäudetyp Wohnhaus wird nicht betrachtet. Die zur Einhaltung der Raumtemperaturen abzuführenden Wärmemengen wurden ebenso in der Simulation für jede, der in Abbildung 20 dargestellten thermischen Zonen stündlich berechnet.

Ventilation

Es wurden für die untersuchten Gebäudetypen entsprechend (OIB RL 6, 2011), für die mechanische Ventilation die unten angeführten, energetisch wirksamen Luftwechselraten und Luftvolumenströme angenommen:

	Büro	Wohnhaus
Luftwechselrate (1/h)	2	-
Luftvolumenstrom (m ³ /h)	21.000	-

Ausgehend vom so festgestellten Bedarf an Luftvolumenstrom wurde die für die Bewegung des Luftvolumens nötige elektrische Energie bestimmt. Mit Hilfe des Luftvolumenstromes \dot{V} , des Druckverlustes Δp und des Wirkungsgrades η des Ventilators wurde der elektrische Bedarf P_{el} der Lüftungsanlage wie folgt bestimmt:

$$P_{el} = \Delta p \cdot \frac{\dot{V}}{\eta}$$

Der Druckverlust Δp wird nach (Rechnagel, siehe Seite [7]) wie folgt abgeschätzt:

Komponente	Druckverlust (Pa)
Luftleitungssystem Zuluft	300
Luftleitungssystem Fortluft	200
Heizregister	80
Kühlregister	140
Wärmerückgewinnungseinheit H3	150
Luftfilter F7	150
Schalldämpfer	50
Luftdurchlass	50
Luftinlass und -auslass	100
Gesamtanlage	1220

Der Wirkungsgrad η wird nach (EN 13779:2007 (D), p. 68, siehe Seite 122 [8]) mit $\eta = 0,6$ angenommen. Dies ergibt einen elektrischen Leistungsbedarf der Lüftungsanlage von $P_{el} = 0,57 \text{ W/m}^3/\text{h}$.

Nutzungsprofile

In Anlehnung an (ÖNORM B 8110-5, siehe Seite 122 [7]) werden die in Tabelle 13 angeführten Werte für innere Wärmelasten (Personen, Beleuchtung, sonstige Wärmequellen) angenommen und mit den Zeitprofilen aus Abbildung 26 verknüpft.

Die Wärmeleistung der Beleuchtung ergibt sich hierbei aus den folgenden Annahmen:

$$\text{Lichtausbeute} = 50 \frac{\text{lumen}}{\text{W}}$$

Der von der Lampe erzeugte Lichtstrom trifft auf eine zu beleuchtende Fläche von einem Quadratmeter. Damit ergibt sich mit der minimalen Beleuchtungsstärke B_{\min} :

$$B_{\min}^{\text{Büro}} = 400 \text{ lux}$$

$$P_{el,Licht}^{\text{Büro}} = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Die elektrische Beleuchtung im Wohnhaus wird in der Modellierung nicht gesondert berücksichtigt.

Tabelle 13: Wärmelasten in W/m²

	Büro	Wohnhaus
Geräte, Personen	7,5	3,75
Beleuchtung	8	-

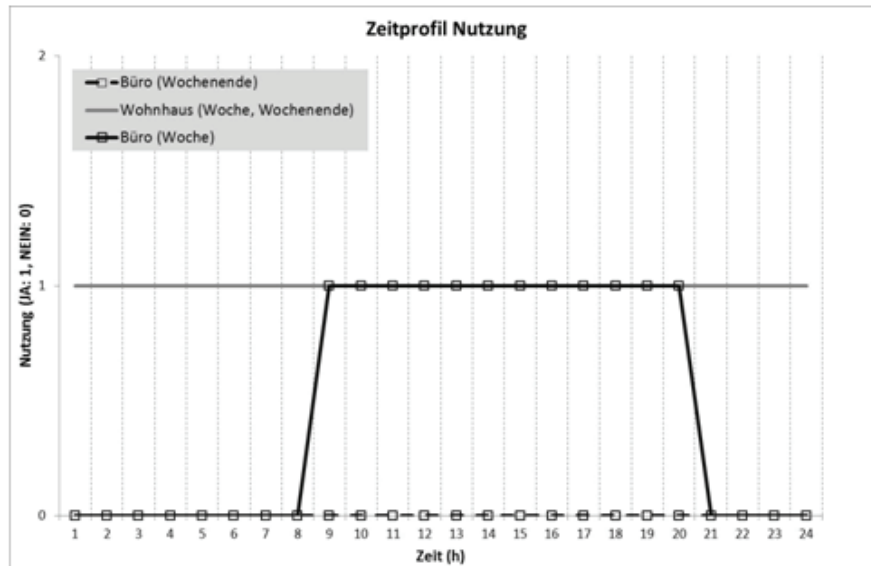


Abbildung 26: Zeitprofil Nutzung [M.Brychta, AIT]

Standort

Es wurden drei verschiedene Standorte bzw. Klimaszenarien untersucht: Wien (VIE), Wien im Jahr 2050 (VIE 2050) und Singapore (SIN). Die Datensätze für VIE und SIN wurden im Format EPW (Energy Plus Weatherfile) der IVEC (International Weatherfiles for Energy Calculations) Datenbank der Energy Plus Website entnommen. Darin enthalten sind u.a. stündliche Werte für Außentemperatur, Außenfeuchte, direkt und diffuse Strahlung auf die Horizontale, sowie Winddaten (Richtung, Geschwindigkeit). Die Ergebnisse der Analyse der Wetterdaten sind im folgenden Abschnitt dargestellt.

Wien (VIE)

Abbildung 27 zeigt eine Analyse der Außentemperatur am Standort Wien. Die täglichen Mittelwerte der Temperatur liegen zwischen -14,3 °C und 25,4 °C (siehe auch Abbildung 28), der Jahresmittelwert beträgt 10 °C. Wie in Abbildung 28 dargestellt, erreicht die absolute Feuchte Werte von 0,7 g/kg bis maximal 15 g/kg. Bei Annahme einer erlaubten Feuchte von maximal 10 g/kg, berechnen sich 803 h mit Überschreitung der Maximalfeuchte (siehe Abbildung 29). Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen die Analyse der Strahlungsdaten auf die Horizontalfläche in stündlicher bzw. monatlicher Auflösung. Das solare Gesamtjahresangebot zeigt eine stark saisonale Charakteristik und beträgt insgesamt 1.122 kWh/m². Die stündlichen Datenpaare der Außentemperatur- und absoluter Feuchte sind in Abbildung 32 dargestellt.

Monthly mean, minimum, maximum temperatures

	Monthly mean [°C]	Daily min [°C]	Daily max [°C]	Hourly min [°C]	Hourly max [°C]
JAN	-0,1	-5,1	11,1	-8,8	13,4
FEB	-0,5	-14,3	5,5	-18,1	8,8
MAR	5,3	0,0	11,9	-2,8	17,4
APR	10,6	3,4	18,4	-0,3	24,2
MAY	15,2	10,1	22,6	4,6	27,9
JUN	17,3	11,9	25,4	7,8	30,5
JUL	20,2	14,8	25,1	8,2	30,6
AUG	20,0	11,9	25,3	10,6	31,5
SEP	15,5	8,3	22,0	5,1	27,1
OCT	10,8	2,7	17,5	-0,1	22,9
NOV	4,7	-2,0	10,0	-3,9	13,3
DEC	-0,2	-4,2	7,1	-5,8	7,8
YEAR	10,0	-14,3	25,4	-18,1	31,5

Abbildung 27: Analyse Außentemperatur (VIE) [M.Brychta, AIT]

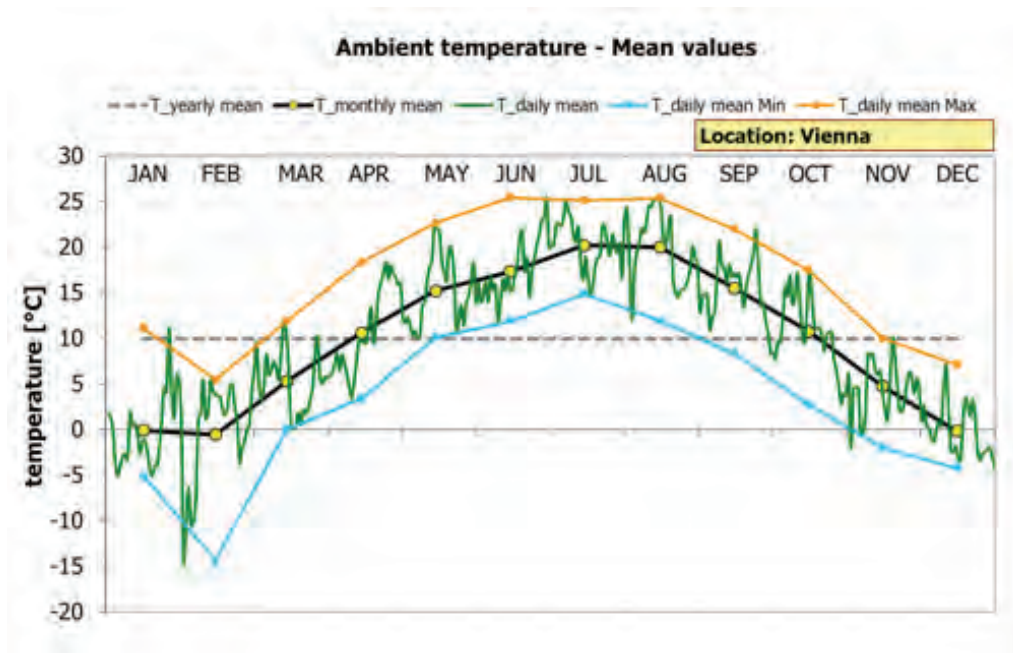


Abbildung 28: Analyse Tagesmittelwerte Außentemperatur (VIE) [M.Brychta, AIT]

Psychrometrics

Minimale Feuchte	[g/kg]	0,7
Maximale Feuchte	[g/kg]	15,0
Erlaubte Feuchte x_{max}	[g/kg]	10,0
Stunden über x_{max}	[-]	803

Abbildung 29: Analyse Feuchte (VIE) [M.Brychta, AIT]

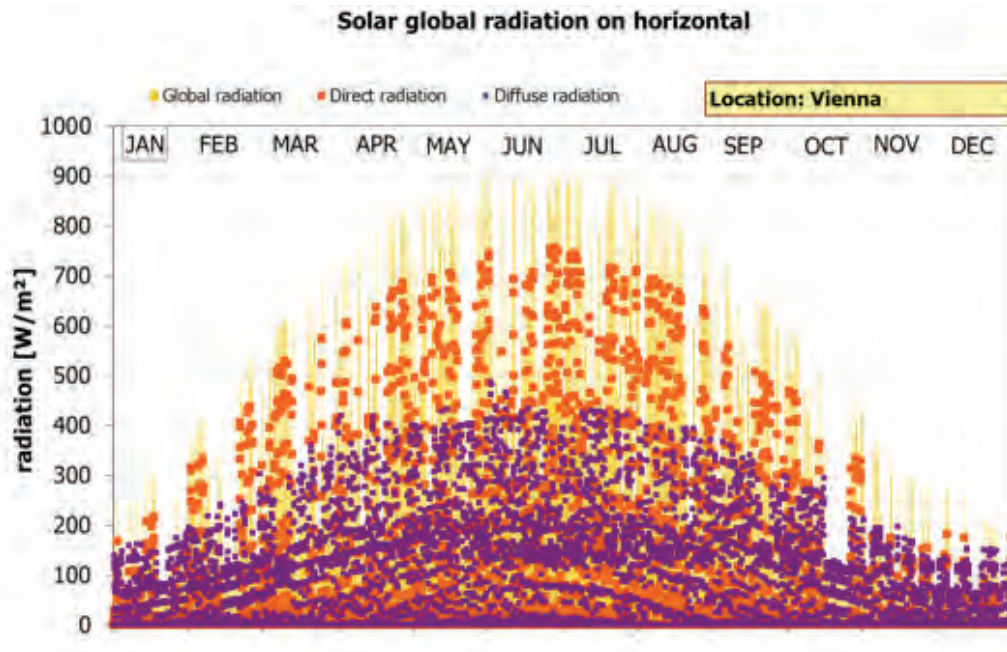


Abbildung 30: Analyse Globalstrahlung (VIE) [M.Brychta, AIT]

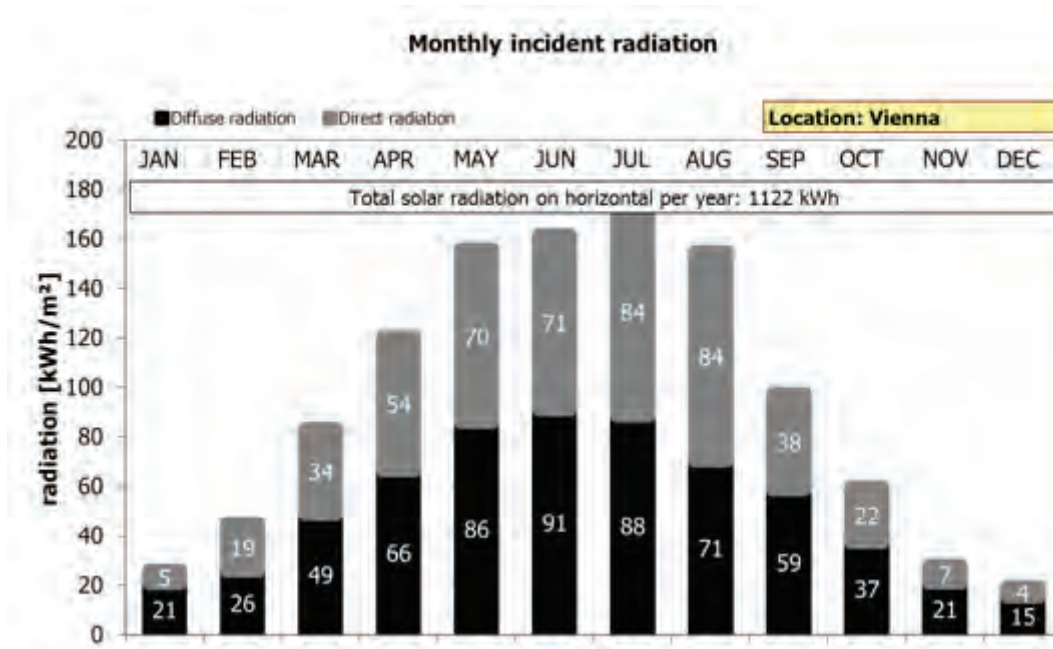


Abbildung 31: Analyse monatliche Strahlungssummen (VIE) [M.Brychta, AIT]

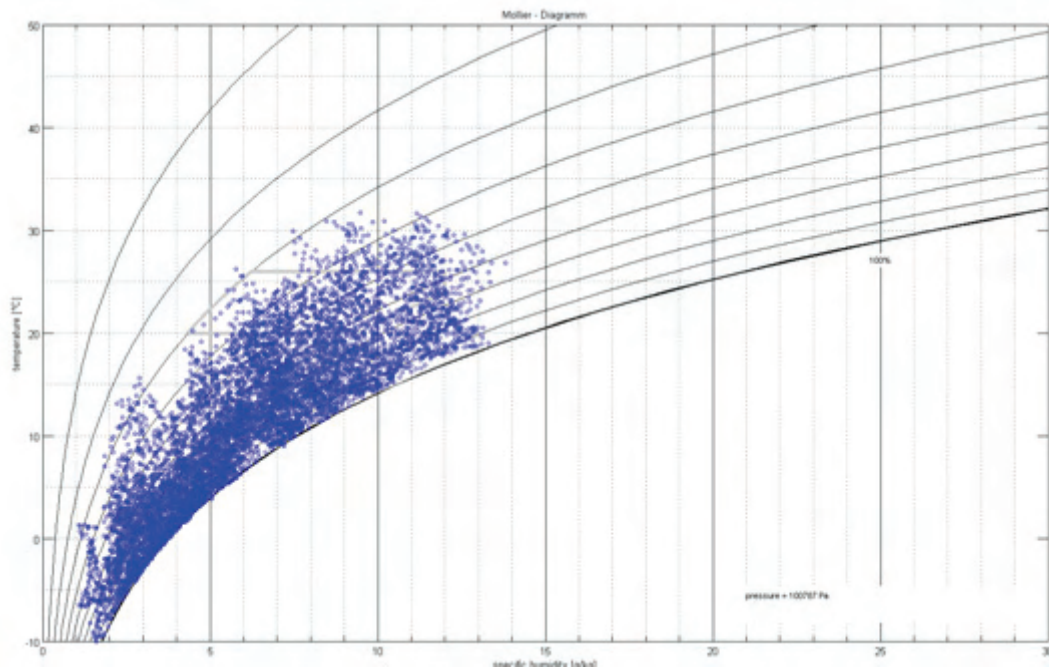


Abbildung 32: Analyse Temperatur/ Feuchte (VIE) [M.Brychta, AIT]

Wien 2050

Um einen fiktiven Wetterdatensatz zu generieren, der eine Abschätzung der Temperaturen in Wien des Jahres 2050 darstellt, wurde eine Modifikation der Temperatur durchgeführt, die analog zu den angegebenen künftigen Heiz- und Kühlgradtagen wie in (Prettenthaler, Seite 122, [2]) angeführt, nämlich 2548 Heizgradtage und 438 Kühlgradtage, verläuft. Dazu wurde wie in (Prettenthaler, Seite 122, [2]) angeführt, die Definition der Heizgradtage laut ÖNORM B 8135.

$$HGT(T_1, T_2) = \sum_{T_1}^{T_2} (20 - \theta_t)$$

in der θ_t für die durchschnittliche Tagestemperatur am Tag t steht, mit der „Cooling Degree Day“ Definition, den Kühlgradtagen,

$$CDD(T_1, T_2) = \sum_{T_1}^{T_2} (\theta_t - 18.3)$$

zusammengeführt. Anschließend wurde mittels Optimierungsalgorithmus in [MATLAB] die Temperaturerhöhung bestimmt, die

$$(HGT(T_1, T_2) - 2548)^2 + (CDD(T_1, T_2) - 438)^2$$

für $T_1=1$. Jänner, $T_2=31$.Dezember minimiert. Der Algorithmus lieferte als Ergebnis 1.9741°K, bei dem Fehler vernachlässigbar waren. Dieser Wert wurde auf den Basis-Datensatz für Wien aufgeschlagen, um das Klima für 2050 darzustellen.

Singapur (SIN)

Abbildung 33 zeigt eine Analyse der Außentemperatur am Standort Singapur. Die täglichen Mittelwerte der Temperatur liegen zwischen 21,0 °C und 30,2 °C (siehe auch Abbildung 34) und damit deutlich höher als am Standort Wien. Der Jahresmittelwert der Außentemperatur beträgt 27,5 °C. Wie in Abbildung 35 dargestellt, erreicht die absolute Feuchte Werte von 12,6 g/kg bis maximal 24,8 g/kg. Bei Annahme einer erlaubten Feuchte von maximal 10 g/kg, ergeben sich 8760 h mit Überschreitung der Maximalfeuchte, womit das in Singapur vorherrschende feuchte Klima verdeutlicht wird. Abbildung 36 und Abbildung 37 zeigen eine Analyse der Strahlungsdaten auf die Horizontalfläche in stündlicher bzw. monatlicher Auflösung. Das solare Gesamtjahresangebot zeigt, wie auch die Außentemperatur, nur geringe saisonale Schwankungen und liegt mit insgesamt 1.671 kWh/m² deutlich über den Werten am Standort Wien. Die stündlichen Datenpaare der Außentemperatur- und absoluter Feuchte sind in Abbildung 38 dargestellt.

Monthly mean, minimum, maximum temperatures					
	Monthly mean	Daily min	Daily max	Hourly min	Hourly max
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
JAN	26,7	21,0	29,6	22,9	33,2
FEB	27,2	25,5	28,1	22,7	32,5
MAR	27,6	25,6	28,9	24,0	32,9
APR	28,1	26,0	29,6	22,9	33,4
MAY	28,2	26,3	29,4	24,3	32,6
JUN	28,5	26,5	30,2	23,5	33,0
JUL	27,8	25,4	29,2	22,0	32,1
AUG	27,8	25,9	29,0	22,9	32,9
SEP	27,2	24,9	29,3	21,5	32,3
OCT	27,5	25,2	29,5	23,3	32,4
NOV	26,7	25,4	28,3	23,1	32,5
DEC	26,3	24,4	28,0	23,0	31,0
YEAR	27,5	21,0	30,2	21,5	33,4

Abbildung 33: Analyse Außentemperatur (SIN) [M.Brychta, AIT]

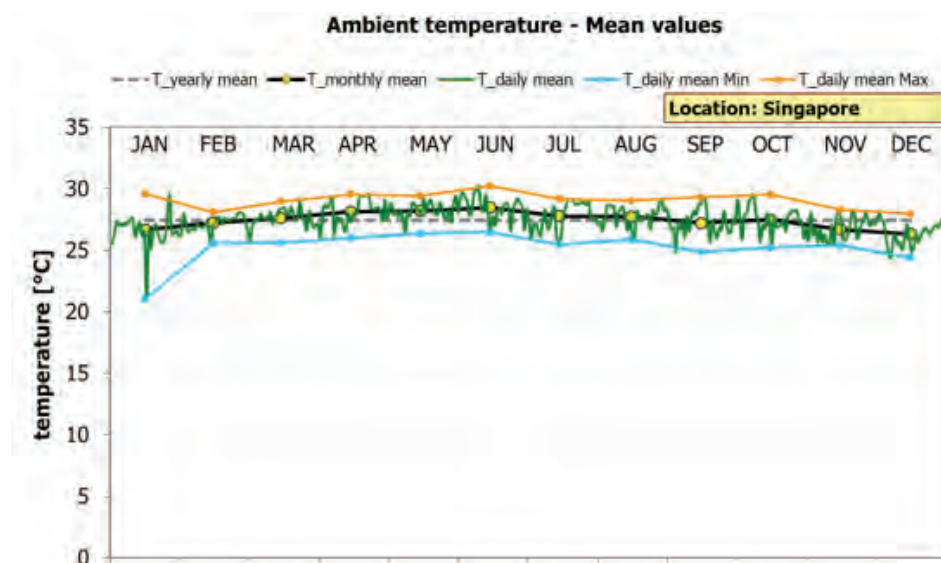


Abbildung 34: Analyse Tagesmittelwerte Außentemperatur (SIN) [M.Brychta, AIT]

Psychrometrics		
Minimale Feuchte	[g/kg]	12,6
Maximale Feuchte	[g/kg]	24,8
Erlaubte Feuchte x_{max}	[g/kg]	10,0
Stunden über x_{max}	[-]	8.760

Abbildung 35: Analyse Feuchte (SIN) [M.Brychta, AIT]

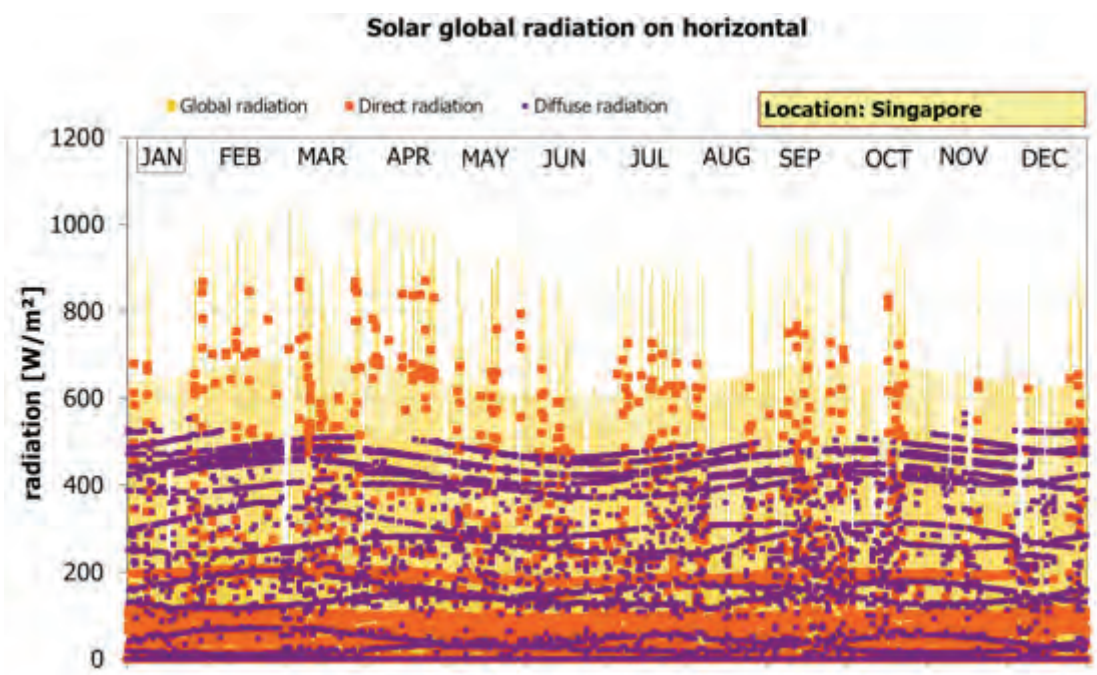


Abbildung 36: Analyse Globalstrahlung (SIN) [M.Brychta, AIT]

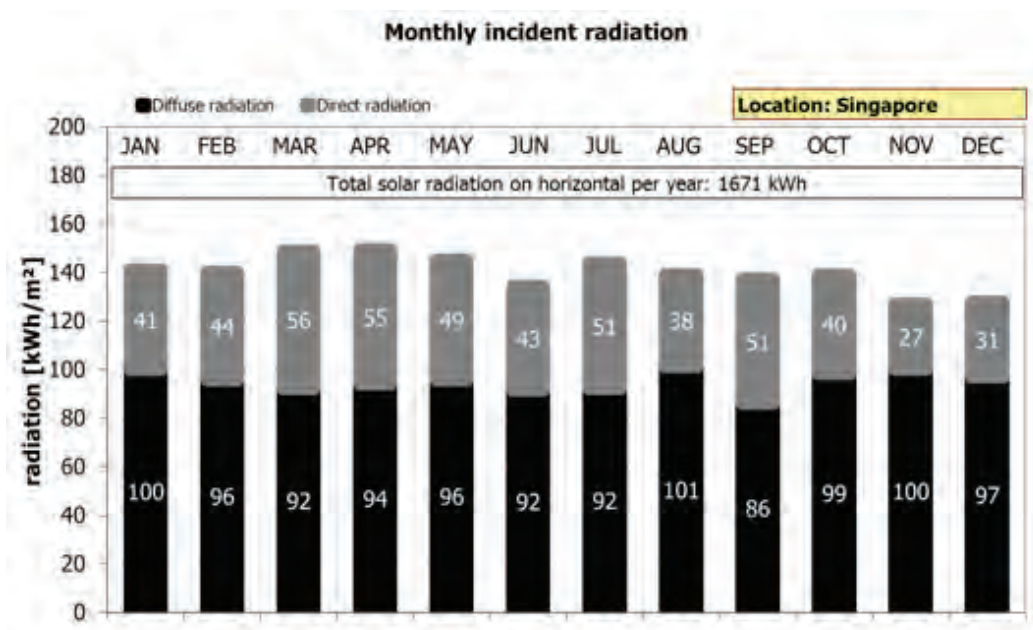


Abbildung 37: Analyse monatliche Strahlungssummen (SIN) [M.Brychta, AIT]

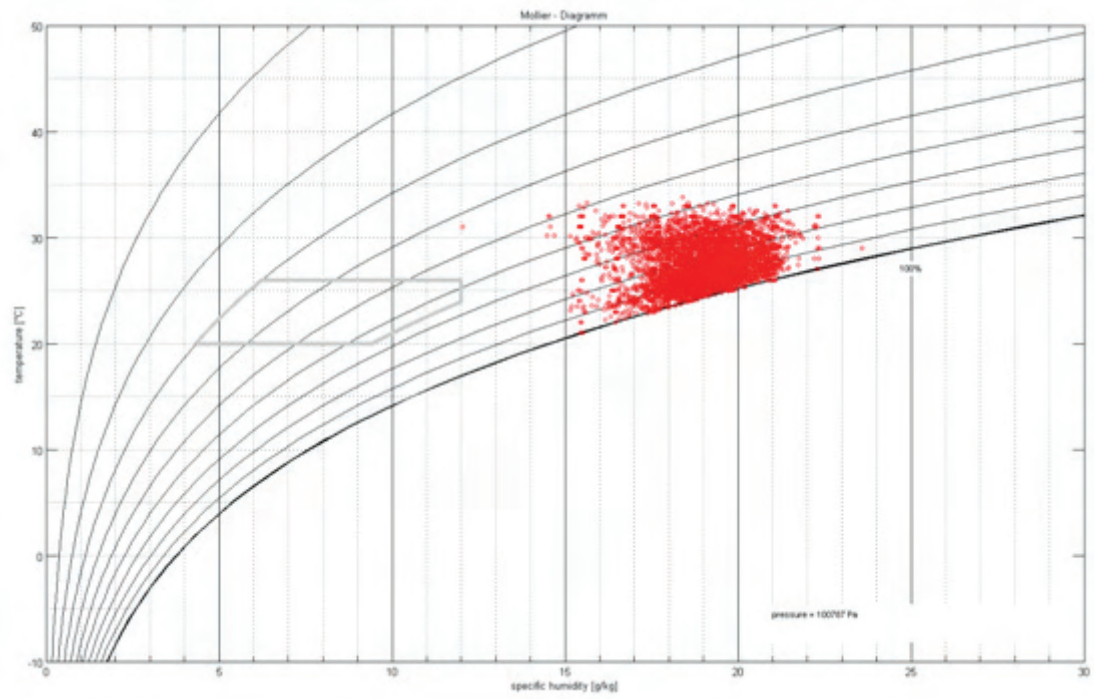


Abbildung 38: Analyse Temperatur/ Feuchte (SIN) [M.Brychta, AIT]

FUNKTIONS- und POTENZIALANALYSE für Beispiel 1: Bionisch inspirierte Lichtverteilung („Daylight Directing Material“)

Für die Fragestellung ‘Tageslichtnutzung’ wurden aus dem biologischen Daten-Pool ca. 80 Organismen recherchiert. Die Funktionsprinzipien von 9 gut dokumentierten biologischen Beispielen wurden detaillierter analysiert, um deren Potenzial für innovative Lösungsansätze zur Nutzung des Tageslichts bei Minimierung nachteiliger Effekte zu identifizieren. Daraus wurden mehrere bionische Entwurfsideen entwickelt, aus welchen ein mögliches bionisches Konzept weiterentwickelt wurde. Dieses Konzept wird im Folgenden näher vorgestellt.

Tageslicht und Energieeffizienz bei Sanierungen

Während bei der Sanierung von Altbauten die thermische Sanierung aufgrund des hohen Energieeinsparungspotenzials und der steigenden Energieeffizienz zunehmend in den Fokus rückt, gibt es zur nachhaltigen Tageslichtnutzung noch deutlich weniger Überlegungen. Eine möglichst optimale Nutzung des vorhandenen Tageslichts und eine Reduktion des für die künstliche Beleuchtung notwendigen Energiebedarfs sind jedoch in einer Gesamtbetrachtung von energiesparenden Maßnahmen unumgänglich.

Gerade in Gebäudezonen, in denen eine natürliche Belichtung und Sichtverbindung ins Freie nicht vorhanden ist (z.B. Gangbereiche, innenliegende Nebenräume), ist auch tagsüber häufig eine durchgehende künstliche Beleuchtung notwendig (Abbildung 39). Effiziente Lichtlenk- und Lichtleitsysteme, die eine Verteilung des natürlichen Lichtes in tiefliegende Innenräume ohne Energieaufwand gewährleistet, können einen wertvollen Beitrag zur Reduktion des Energieverbrauchs durch Kunstlicht leisten.










Abbildung 39: Problematik bei Bestandsbauten mit tiefliegenden Zonen ohne natürlicher Belichtung – Gebäudetypus Schulbau

Fragestellung

Die Fragestellungen zur Tageslichtnutzung, aufgeschlüsselt in z.B. maximale und selektive Transmission des sichtbaren Lichts oder Nutzung und Verteilung der vorhandenen Lichtstärken des Umgebungslichts, wurden mit dem Ziel erarbeitet, Nutzungsweisen der natürlichen Lichtquelle in der Natur zu sondieren. Lösungen zu Lichttransmission und Lichtverteilung finden sich in der Natur in unterschiedlichsten Organismen; so auch bei einigen Meeresorganismen, welche unter extremen Bedingungen Licht zum Überleben benötigen. In Tabelle 14 ist eine Auswahl biologischer Vorbilder bzw. deren über Jahrtausende entwickelten Strategien zur effizienten Lichtsammlung und Lichtleitung zusammengefasst.

Tabelle 14: Auszug biologischer Prinzipien und Vorbilder zur Hauptfunktion ‚Tageslicht‘

TAGESLICHT		Auszug biologischer Prinzipien					
technisches Funktionsziel	Strukturfarben	antireflektive Beschichtung	Lichttransmission durch Linsen und Facetten	Lichttransmission durch Fasern und Kristalle	selektive Lichtkontrolle durch Pigmente	Statische Verschattungsstrukturen	reversible Aktuator-systeme
Maximale Lichttransmission	x	x	x	x	x		
Selektive Lichttransmission	x	x			x	x	x
Lichtleitung	x	x		x			
Beispiel potenzieller biologische Vorbilder	Cyphochilus, Herkuleskäfer (Scarabaeidae) 	Mottenaugen (Deilephila elpenor) 	Gießkannenschwamm (Euplectella aspergillum) 	Meerorange (Thethya aurantia) 	Facettenaugen von Insekten (Oculi compositi) 	Kakteengewächse (Cactaceae) 	Blattbewegung, Orientierung der Heliconia 

Gewähltes Vorbild

Die Meerorange (*Thethya aurantia*, Abbildung 40) gehört zur Familie der Schwämme (*Porifera*) und besitzt die erstaunliche Funktion, Silikatfasern als Lichtleiter einzusetzen - lange bevor Glasfasertechnologien entwickelt wurden (Zitzler, U, 2008). Mithilfe von radial verlaufenden, amorphen Silikatstrukturen kann der Schwamm Licht an der Oberfläche sammeln und an die photosynthetisch aktiven Organismen im Inneren seines Körpers leiten und abgeben.

Soweit aus der Fachliteratur im Bereich der Meeresforschung bisher entnommen werden konnte, kombiniert der Schwamm drei Funktionsprinzipien:

- (a) Lichttransmission von der Körperoberfläche in das Körperinnere mithilfe der Silikatfasern bzw. Skelettnadeln, welche in trichterförmiger Anordnung an der Oberfläche auch die Lichtsammlung übernehmen. Die Lichttransmissionseffizienz liegt bei ca. 60% des Ausgangwertes und die skelettnadelartige Struktur erlaubt eine Lichtausbeute unterschiedlicher Wellenlängen;
- (b) Die lichtleitenden Fasern bestehen aus einzelnen nicht-zusammenhängende Faserbündeln, welche nicht nur die Lichttransmission in den Körper ermöglichen, sondern auch die Lichtemission zwischen den einzelnen Bündeln. Dadurch werden im Schwamm symbiotisch lebende, photosynthetisch aktive Algen mit der nötigen Lichtenergie versorgt (Mueller W.E.G., et al, 2007);
- (c) Wenig Information wurde bisher zur dritten Eigenschaft der Fasern als Hochpass-Filter (<615nm) bzw. Tiefpass-Filter (>1310 nm) gefunden. Das Fasermaterial besteht jedenfalls aus dem häufig vorkommenden Element Siliziumdioxid (SiO₂) (Mueller, W.E.G., et al, 2006).

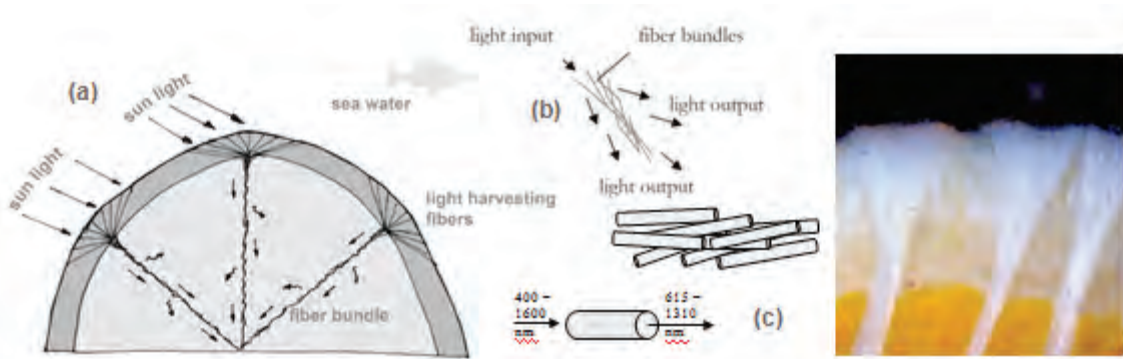


Abbildung 40: Prinzip der Meerorange (Thethya aurantia). Habitat: Tiefsee. Schlüsselfunktion: (a) Lichttransfer, (b) Lichtverteilung durch Silikatfasern, (c) Multimode-Lichtfasern. [Skizzen © S. Richter, AIT. Foto: „Drei Nadelbündel der Thethya“ © Universität Stuttgart, Zoologie (Pressemitteilung Universität Stuttgart, 17.11.2008 - <http://idw-online.de/de/news289131>)]

Die bionische Konzeptidee

Die Designidee greift die eingangs beschriebene Fragestellung auf und stellt ein Konzept für die nachträgliche Integration eines Tageslichtsystems in Bestandsgebäude vor. Räume mit keiner oder geringer natürlicher Belichtung sollen mithilfe eines textilen 3D-Fasergewirkes, welches natürliches Licht gleichmäßig und flächig verteilt, belichtet werden.

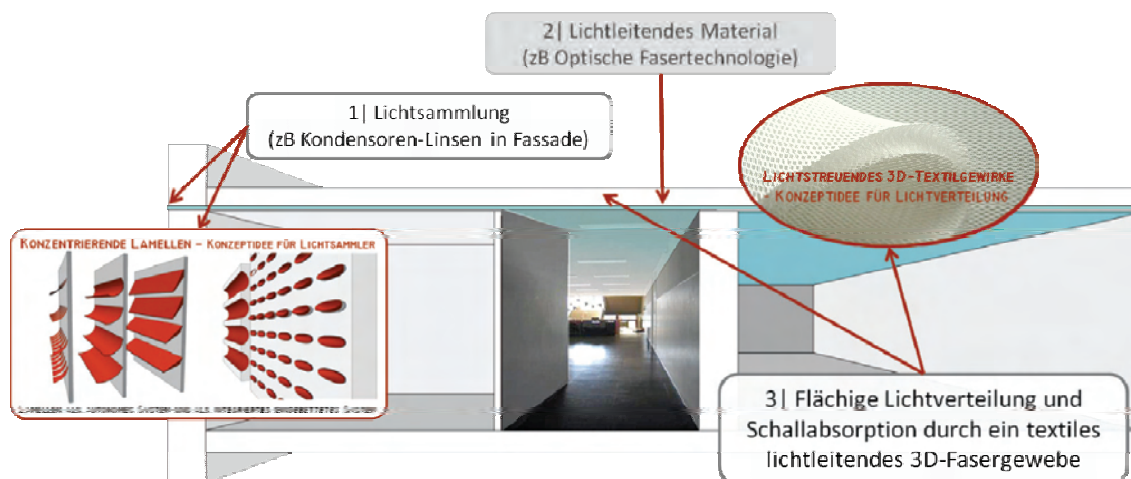


Abbildung 41: BioSkin Konzeptstudie für Tageslichtnutzung - Entwurf für einen multifunktionalen bionischen Lichtsammler (1) und ein bionisches Lichtverteilungstextil (3) mit schallabsorbierenden und wärmeleitfähigen Eigenschaften zur nachträglichen Montage, auch für thermisch aktivierten oder schallharte Oberflächen einsetzbar

Dazu sind drei Komponenten nötig: Komponente 1 sammelt mithilfe eines konzentrierenden Linsensystems (z.B. Kondensorenlinse aus der Optik) oder eines fassadenintegrierten multifunktionalen Lamellensystems Tageslicht. Das Lamellensystem basiert auf einer bionischen Idee, bei der auf Basis einer hochwertigen Oberflächenstrukturierung und Nanobeschichtung der Lamellen Lichtstrahlung konzentriert in ein lichtleitendes Fasersystem eingeleitet wird. Komponente 2 ist ein lichtleitendes Fasersystem (kann durch, am Markt erhältliche hochwertige Glasfaserprodukte abgedeckt werden), welches das gesammelte Licht über die geforderte Distanz in das Gebäudeinnere leitet. Komponente 3 sorgt als bioinspiriertes Konzept durch ein lichtemittierendes 3D-Fasergewirke für eine flächige und

gleichmäßige Lichtverteilung in den Innenraum. Diese Komponente könnte auch multifunktional weitere Aufgaben wie die Schallabsorption und die Wärmeleitfähigkeit für thermisch aktivierte Bauteile übernehmen (Abbildung 41). Das bionische Konzept zu Komponente 3, die flächige Lichtverteilung über ein faserartiges Gewirke, wurde im Folgenden hinsichtlich Plausibilität bzw. Energieeinsparungspotenzial näher untersucht.

FUNKTIONSANALYSE des Konzepts

Im Rahmen der Konzeptentwicklung sollte eine erste Abschätzung zur grundlegenden Funktionsfähigkeit der 3. Komponente - Lichtverteilung – durchgeführt werden. Die Kernfrage war, ob es einerseits möglich ist, ein solches lichtemittierendes Material herzustellen – dieses wurde durch Interviews mit Expert/innen aus der Textilindustrie und -forschung positiv eingeschätzt. Weitere Recherchen existierender Lösungen im Bereich Glasfasertechnologien bestätigten mögliche Potenziale bzgl. einer Entwicklung des bionischen Lichtverteilungstextils (vgl. High-Tech Glasfasersysteme).

Andererseits wurde zur Erstabstschätzung mittels Simulation eines stark vereinfachten theoretischen Modells die hypothetische Fähigkeit von Faserbündeln, Licht in gleichbleibender Intensität über beliebige Distanzen zu emittieren, untersucht.

Modellierung des Grundmodells

Ziel der Modellierung war die Nachbildung des biologischen Funktionsprinzips (b) der Meerorange „Tethya aurantia“, also der Funktionsweise der nicht-zusammenhängenden Stränge aus amorphen Silikatfasern, die Licht leiten und bei jeder Strangunterbrechung ein Teil des Lichtes abstrahlen. In einer technischen Anwendung könnte diese Idee insofern umgesetzt werden, in dem ein mehr oder weniger loses Glasfasergeflecht Tageslicht gleichmäßiger als eine einzelne Leuchtquelle im Raum verteilt. Gleichzeitig ist es vorstellbar, durch die Mischung unterschiedlicher Glasfasertypen z.B. die Farbe gezielt zu verändern.

Die Eignung des Materials wird im Wesentlichen durch das Zusammenspiel der drei Komponenten Abstrahlung (a), Verluste (v) und Weiterleitung (w) bestimmt (siehe Abbildung 42). Für eine erste Untersuchung wurden immer relative Werte angenommen, somit gilt $a + v + w = 1$. Des Weiteren wurde als Grundlage für die Berechnungen angenommen, dass es sich um ein homogenes Material handelt, bei dem a, v und w pro Meter bekannt sind. Ausgehend von w kann nun die Weiterleitung für beliebige Stücke der Länge $\frac{1}{n}$ Meter als $\sqrt[n]{w}$ angegeben werden, Abstrahlung und Verlust können für diese Teilstücke mit $\frac{a}{a+v} (1 - \sqrt[n]{w})$ bzw. $\frac{v}{a+v} (1 - \sqrt[n]{w})$ beziffert werden. Letztendlich wurde noch eine Größe $w' < 1$ eingeführt, die die Reflexion einer Deckschicht am Ende des Lichtleiters angibt.

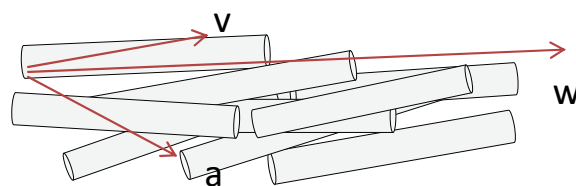


Abbildung 42: Definition der Materialeigenschaften Abstrahlung (a), Verluste (v) und Weiterleitung (w) [F. Judex, AIT]

Für die Verluste beim Transport wurden 8% pro Meter⁶ angenommen, Hersteller versprechen sogar nur 4.4 Prozent Verluste⁷.

Um den Effekt der einzelnen Parameter auf die Verteilung des Lichtes im Raum zu untersuchen, wurde die Beispielgeometrie (Kernzone des Referenzmodells) herangezogen. Angenommen wird darin ein Kernbereich von 3 Meter Breite. Ausgehend von einem Lichteinlass bei $x=0$ wurde für das Rechenmodell $n=10$ implementiert. An beiden Enden wurde ein Reflektor angenommen, der 95% des Lichtes wieder zurückwirft. Der Abfall der Lichtstärke / im Lichtleiter verhält sich so wie

$$l_i = (\sqrt[n]{w})^i \quad i = 1 \dots 30$$

$$l_i = (\sqrt[n]{w})^i \cdot w' \quad i = 31 \dots 60$$

$$l_i = l_k \cdot (w^3(w')^2)^n \quad i = 30 \cdot n + k, k = 1 \dots 60, n > 0$$

für Abschnitte von 0.1 m Länge. Durch die Reflexion müssen nun die Abschnitte noch summiert werden, da ein hypothetischer Lichtstrahl denselben Abschnitt mehrmals durchläuft. So kommt man auf

$$a_m = \frac{a}{a+v} \sum_{n=0}^{\infty} x^{60n+m} + x^{60n+61-m} \quad m = 1..30$$

für die 30 Abschnitte.

Auf die 30 m² Fläche, die im Beispielfall auszuleuchten wären, kommen 51 m² opake Fläche auf der Fassade. Während das mittlere Drittel dieses Bereichs durchgehend 8.5 m vom Innenbereich entfernt ist, sind die beiden äußeren Bereiche in direkter Linie zwischen 8.5 m und 13.12 m entfernt, daher im Mittel ca. 10.8 m. Die durchschnittliche vertikale Distanz zur Geschoßdecke beträgt 0.85 m. Nimmt man an, dass das Modell für jeweils einen 1 m breiten Streifen verwendet wird, erhält man so 1.7 m² in einer Distanz von durchschnittlich 9.35 m, und 3.4 m², die im Durchschnittlich 11.65 m entfernt liegen.

Wenn für die Verluste beim Transport 8% pro Meter angenommen werden, kommt man so auf eine Ausbeute von

$$1.7 \cdot 0.92^{9.35} + 3.4 \cdot 0.92^{11.65} \cong 2.17$$

Prozent der aktuellen Sonneneinstrahlung in W/m², die als Eingangswert auf das südliche Ende des betrachteten Abschnittes in das Beleuchtungssystem eintreten.

Aus diesen Energiewerten wurde auf herkömmliche Weise, d.h. unter Verwendung des Sonnenspektrums und des photometrischen Strahlungsäquivalenten der einzelnen Wellenlänge, ein Lichtstrom berechnet. Dieser Lichtstrom wurde dem durch künstliche Beleuchtung notwendigen Lichtstrom gegenübergestellt, um die Energieersparnis gegenüber

⁶ siehe: <http://www.tangram.co.uk/TI-Polymer-PMMA.html>. download: 14.03.2011

⁷ siehe: <http://www.huvco.com/content/parans/ParansCatalogue2008.pdf>. download: 14.03.2011

diesem dazustellen. Nicht berücksichtigt wurde ein eventuelles Filterverhalten der Glasfaserleiter auf die Frequenzverteilung des einfallenden Sonnenlichtes, jedes Frequenzband wurde um denselben Faktor vermindert. Daher kann die herkömmliche Beziehung $1\text{W/m}^2=109,7\text{ lm/m}^2$ verwendet werden. Bei davon abweichenden Eigenschaften des Lichtleiters kann der Algorithmus entsprechend modifiziert werden.

Mit Hilfe des numerischen Tools [MATLAB] (siehe Seite 122 [11]) kann mit diesen Annahmen ein mathematisches Modell des Querschnitts des Materials implementiert werden, in dem die Parameter variiert wurden. Da das Verhältnis von w zu $a + v$ bzw. von a zu v klar die bestimmenden Elemente des Modells sind, wurde w von 0.8 bis 0.95 variiert, dass Verhältnis von a zu v von 1:1 bis 1:4 (siehe Abbildung 44 und Abbildung 43). w' wurde konstant mit 0.95 angenommen.

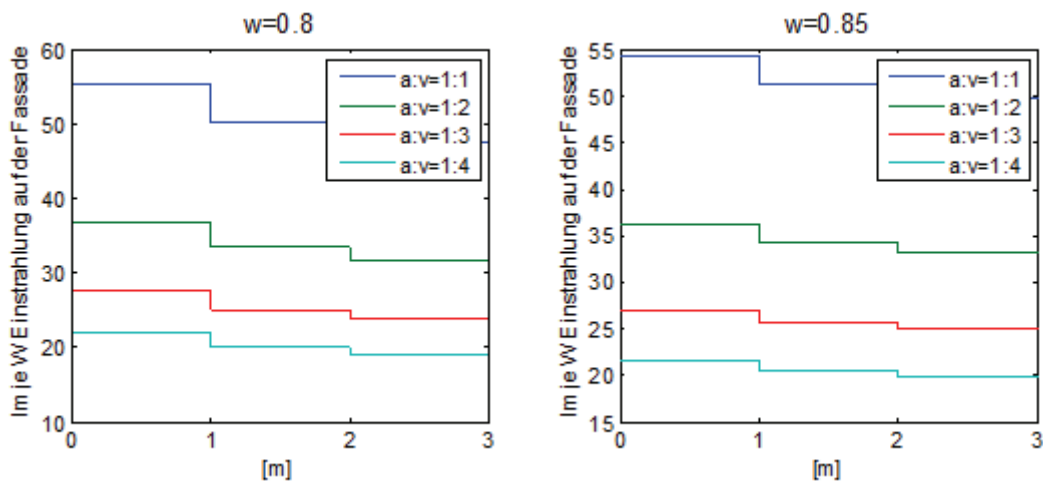


Abbildung 43: Parameterergebnisse zu Lichtverteilungskonzept mit Variation $w = 0,8 - 0,85$, $a = 1:1$ zu $1:4$ [F. Judex, AIT]

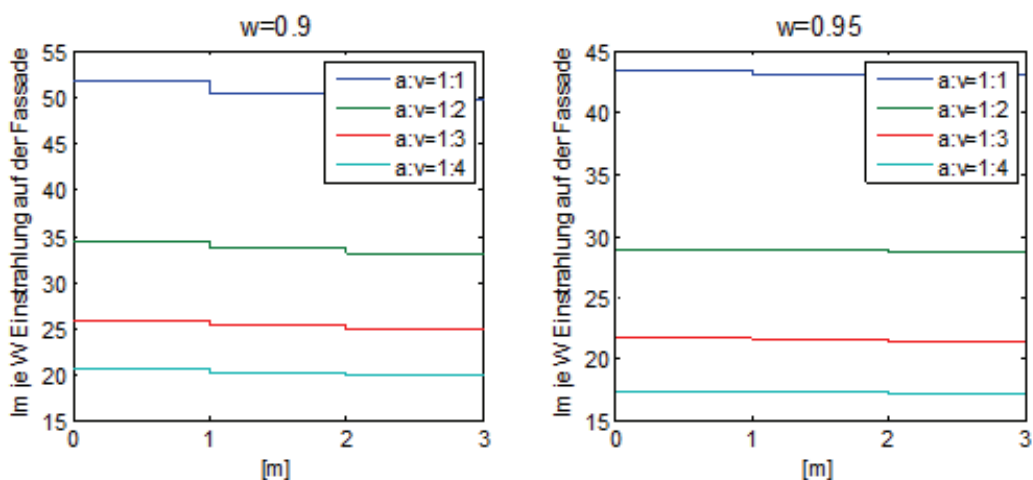


Abbildung 44: Parameterergebnisse zu Lichtverteilungskonzept mit Variation $w = 0,9 - 0,95$, $a = 1:1$ zu $1:4$ [F. Judex, AIT]

Folgende Auswirkungen und Interaktionen waren festzustellen:

- Die Spanne der Ausbeute reichte von 42,3% ($w=0.8$, $a:v=1:1$) bis 12,3% ($w=0.95$, $a:v=1:4$).
- Selbstverständlich bestimmt das Verhältnis $a:v$ die Ausbeute wesentlich.
- Je größer w , desto gleichmäßiger ist die Lichtverteilung im Raum.
- Allerdings führt ein hohes w zusammen mit einem höheren w' zu deutlichen Verlusten.

POTENZIALANALYSE des Konzepts

Das im vorigen Abschnitt untersuchte virtuelle Grundmodell wurde anschließend hinsichtlich seiner Anwendbarkeit bei Bürogebäuden mittlerer bauphysikalischer Qualität (MEE) untersucht. Der Grund dabei war, dass bei diesem Gebäudetyp der Bedarf an Kunstlicht und das Angebot an Tageslicht gut übereinstimmen. Die Referenzgebäude mit Standort Wien und Singapur bildeten die Anwendungsfälle; die Analysen wurden mit identen Gebäuden und dem üblichen Energieverbrauch für Kunstlicht verglichen. Die Faktoren $a:v$ wie auch w wurden variiert, so dass die folgenden Umrechnungsfaktoren von Watt Einstrahlung auf Lumen zum Einsatz kommen:

$$c_a = 54,7 \frac{\text{lumen}}{\text{Watt}}$$

$$c_b = 18,6 \frac{\text{lumen}}{\text{Watt}}$$

Als Absorber- und Sammelfläche für die auftreffende Solarstrahlung wurde die Südfassade genutzt. Der Grenzwert für die minimale Beleuchtungsstärke wurde mit 400 lux festgelegt, d.h. bei Überschreiten dieses Wertes wurde in der Simulation die elektrische Beleuchtung abgeschaltet und durch reine Tageslichtbeleuchtung ersetzt.

Standort Wien

Durch das am Standort Wien an der Südfassade gesammelte Tageslicht kann unter der Annahme einer effizienten Lichtleitung (entspricht Faktor c_a) in der Kernzone des Gebäudes die Betriebsdauer der elektrischen Beleuchtung und damit der elektrische Verbrauch für Beleuchtung in diesem Bereich von 100 % auf ca. 58 % reduziert werden. Unter Berücksichtigung einer weniger effizienten Lichtleitung (Faktor c_b) werden zumindest noch Einsparungen auf ca. 88 % erreicht. Abbildung 45 zeigt, dass mit dem untersuchten System Beleuchtungsstärken von über 1600 lux (Faktor c_a), bzw. in Abbildung 46 über 500 lux (Faktor c_b) berechnet wurden. Auch ist die saisonale Schwankung deutlich zu erkennen.

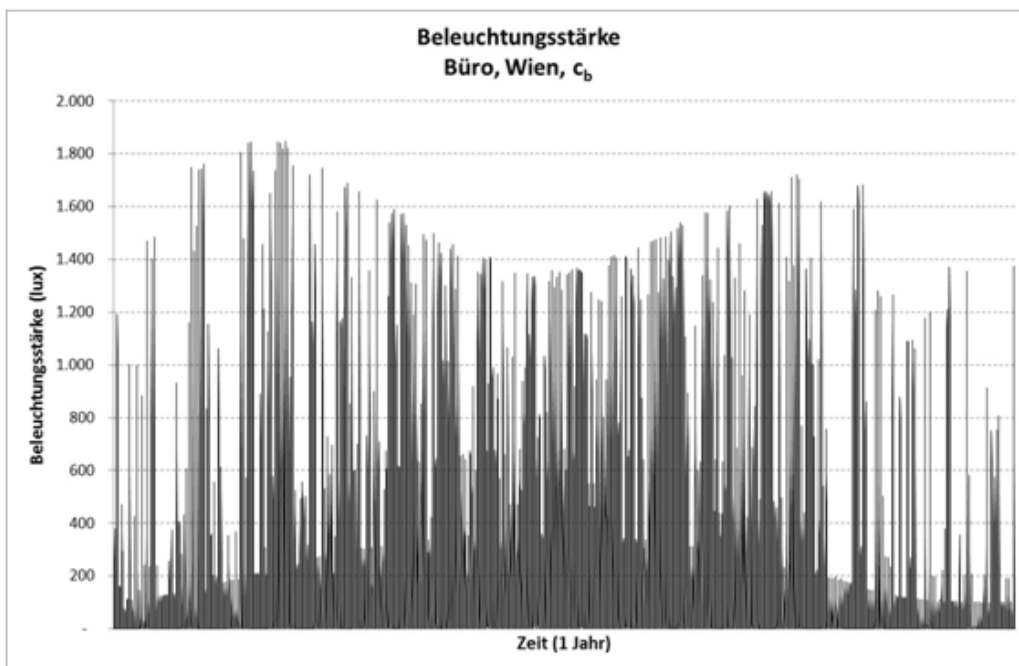


Abbildung 45: Beleuchtungsstärke, Büro, Wien, c_a [F. Judex, M, Brychta, AIT]

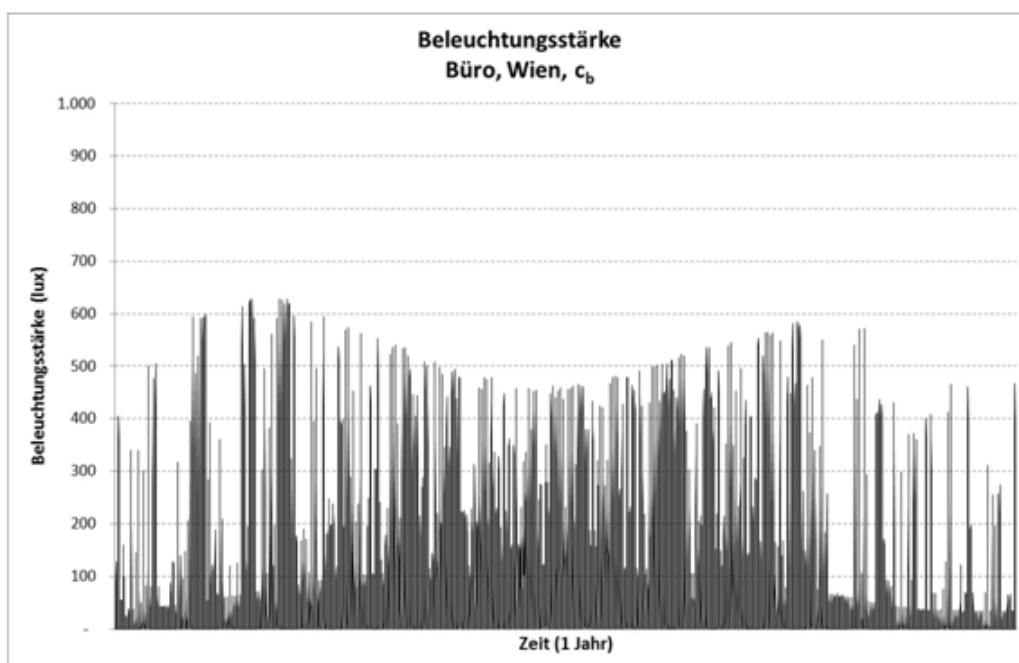


Abbildung 46: Beleuchtungsstärke, Büro, Wien, c_b [F. Judex, R. Braun, M, Brychta, AIT]

Abbildung 47 zeigt den jährlichen Heiz- und Kühlbedarf des Referenzgebäudes. Abbildung 48 ist der Heiz- und Kühlbedarf der Gebäude mit effizientem Lichtleitungssystem zu entnehmen. Im Gegensatz zum Vergleich des elektrischen Verbrauchs für Beleuchtung, zeigen sich hier nur geringe Unterschiede zwischen den betrachteten Varianten.

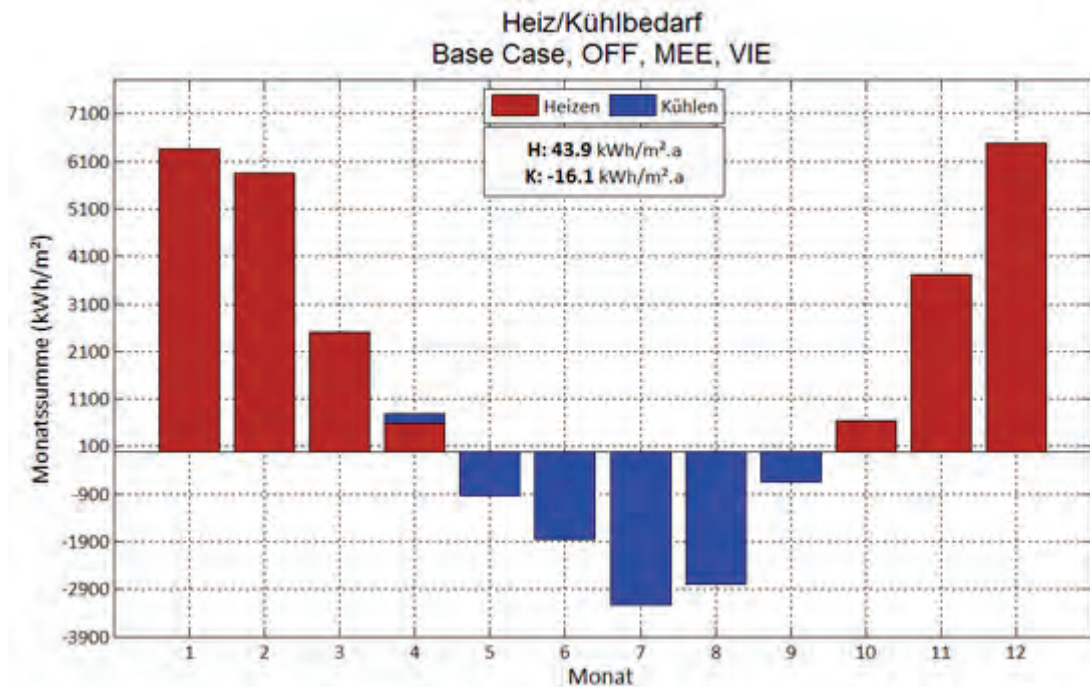


Abbildung 47: Base Case, Büro, Wien, MEE [F. Judex, M. Brychta, AIT]

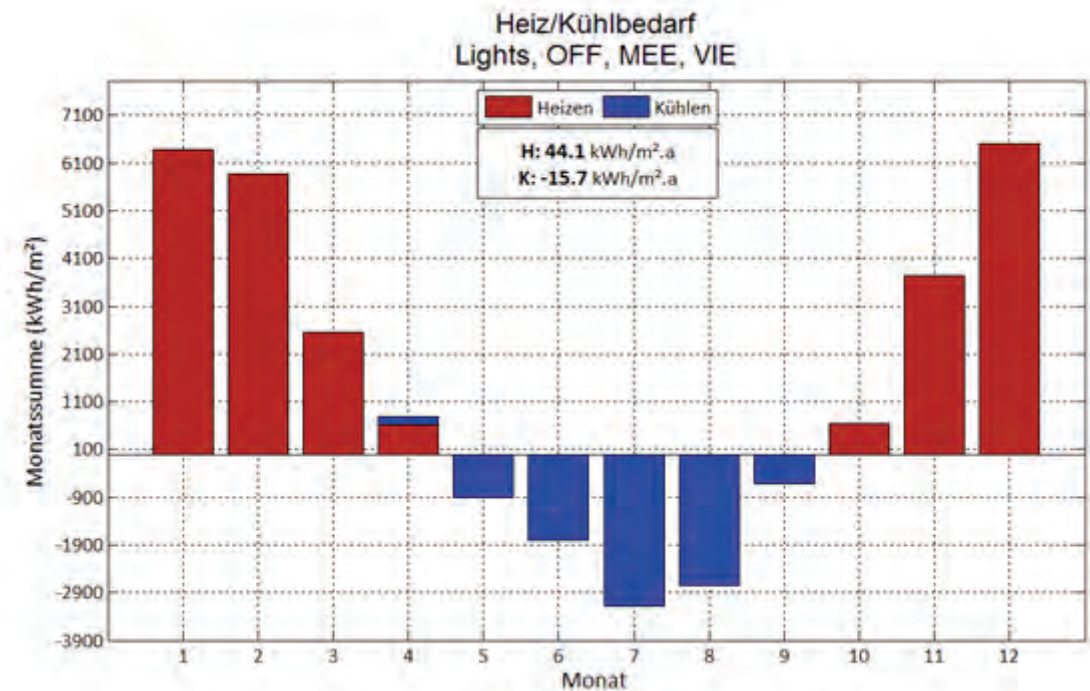


Abbildung 48: Lichtleitung (c=54,7), Büro, Wien, MEE [F. Judex, M. Brychta, AIT]

Standort Singapur

Am Standort Singapur wurde bei effizienter Lichtleitung (entspricht Faktor c_a) in der Kernzone des Gebäudes eine Reduktion der Betriebsdauer der elektrischen Beleuchtung von 100 % auf ca. 56 %, während bei weniger effizienter Lichtleitung (Faktor c_b) keine Reduktion mehr möglich ist. Ein Vergleich von Abbildung 49 (effiziente Lichtleitung) und Abbildung 50 (weniger effiziente Lichtleitung) zeigt, dass bei einer Lichtleitung nach Faktor c_b , der geforderte Schwellenwert von 400 lux nicht mehr überschritten wird. Eine starke saisonale Abhängigkeit wie am Standort Wien ist hier aufgrund der Äquatornähe nicht festzustellen.

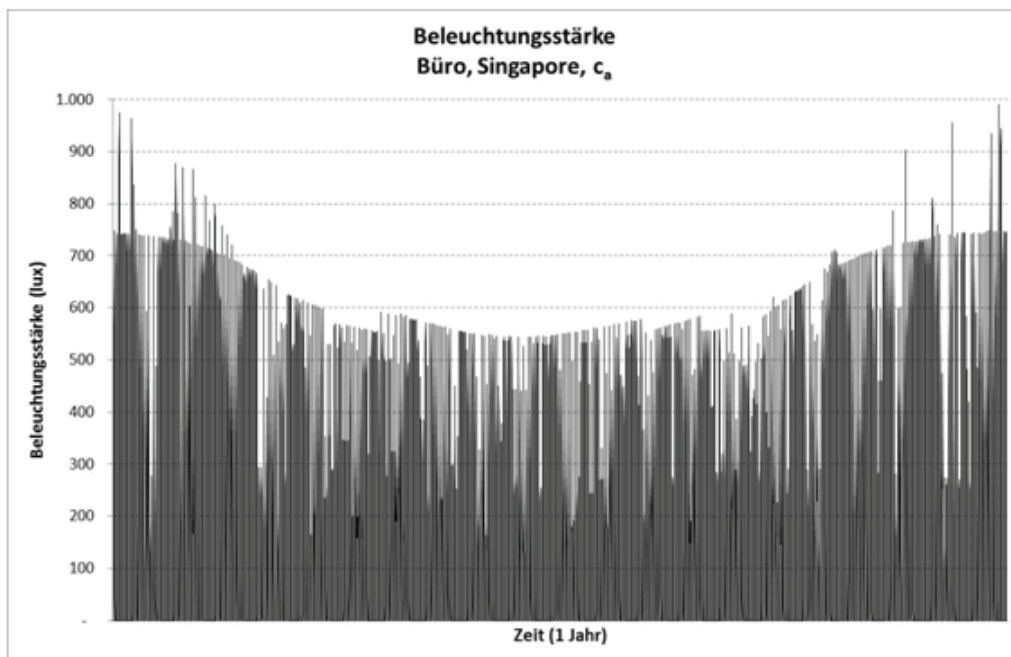


Abbildung 49: Beleuchtungsstärke, Büro, Singapore, c_a [F. Judex, M. Brychta, AIT]

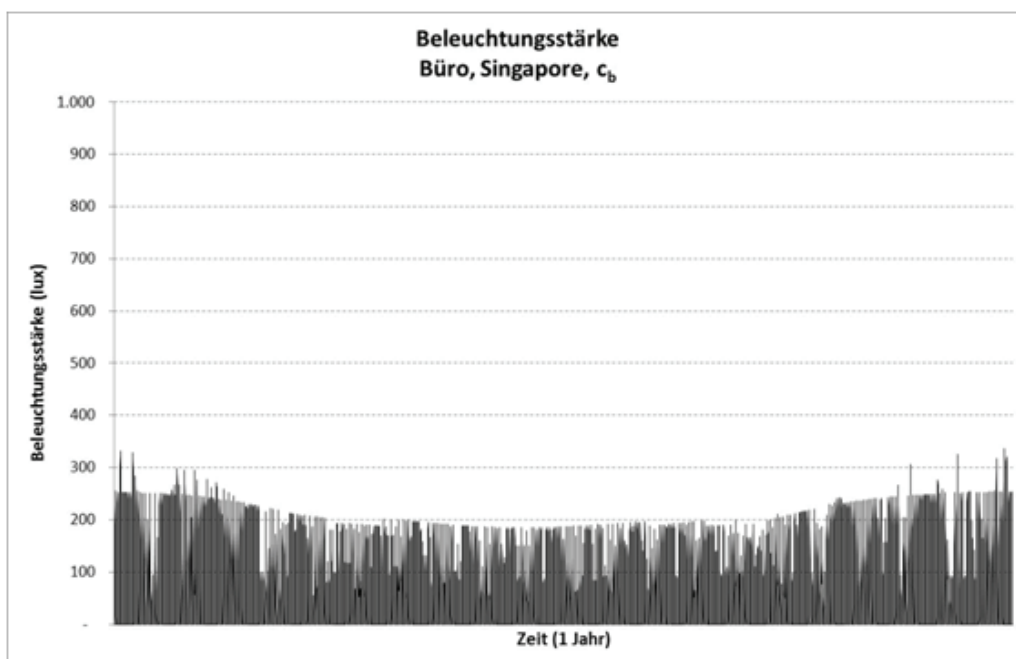


Abbildung 50: Beleuchtungsstärke, Büro, Singapore, c_b [F. Judex, M. Brychta, AIT]

Der jährliche Kühlbedarf des Referenzgebäudes ist in Abbildung 51 dargestellt. Abbildung 52 zeigt den Kühlbedarf des Gebäudes mit effizientem Lichtleitungssystem. Im Gegensatz zum Vergleich des elektrischen Verbrauchs für Beleuchtung, zeigen sich hier nur geringe Unterschiede zwischen den betrachteten Varianten.

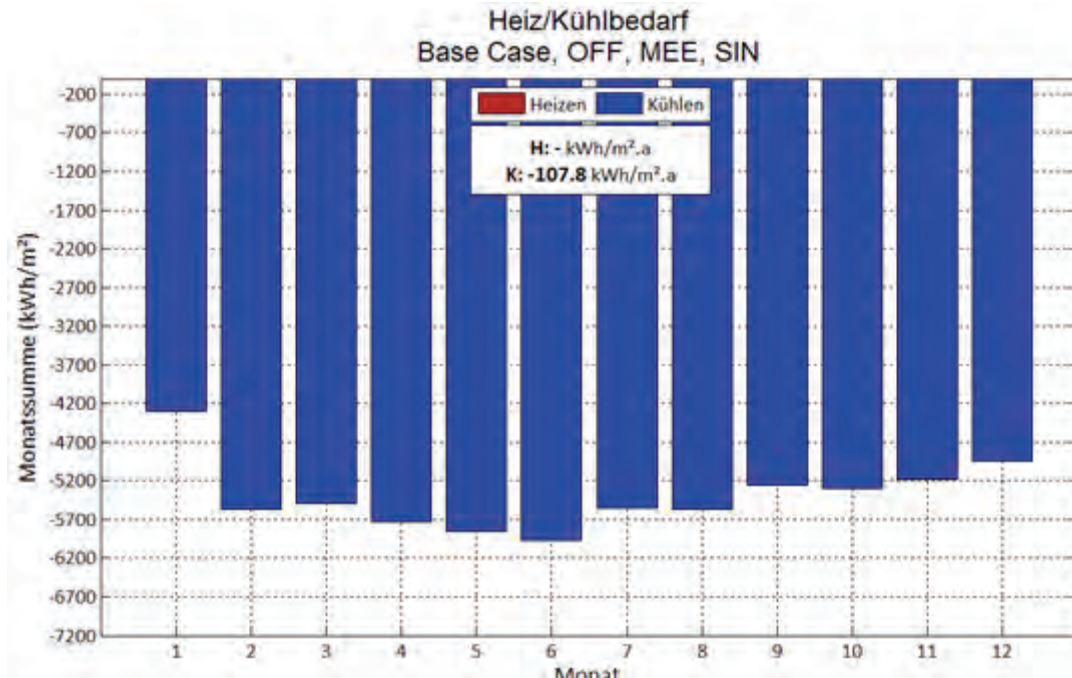


Abbildung 51: Base Case, Büro, Singapur [F. Judex, M, Brychta, AIT]

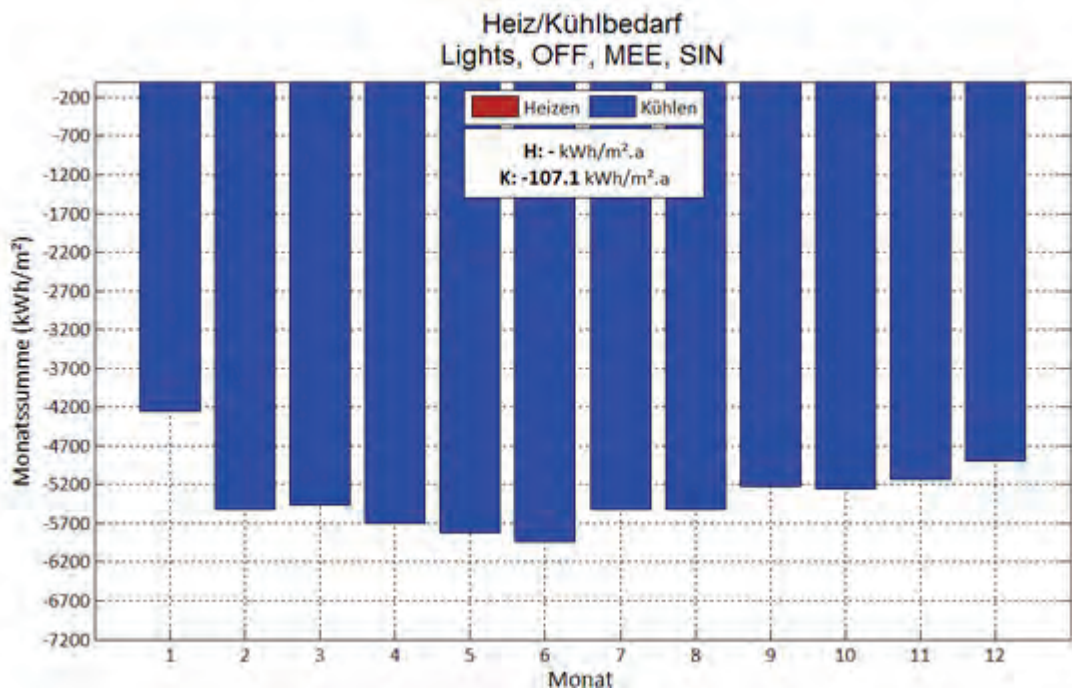


Abbildung 52: Lichtleitung (c=54,7), Büro, Singapur [F. Judex, M, Brychta, AIT]

Zusammenfassung

In Abbildung 53 sind die Ergebnisse der Einsparungen der elektrischen Beleuchtung zusammengefasst. Die Prozentwerte beziehen sich hier auf den jeweiligen elektrischen Bedarf für die Beleuchtung in der Kernzone des jeweiligen Referenzgebäudes in Wien bzw. Singapore.

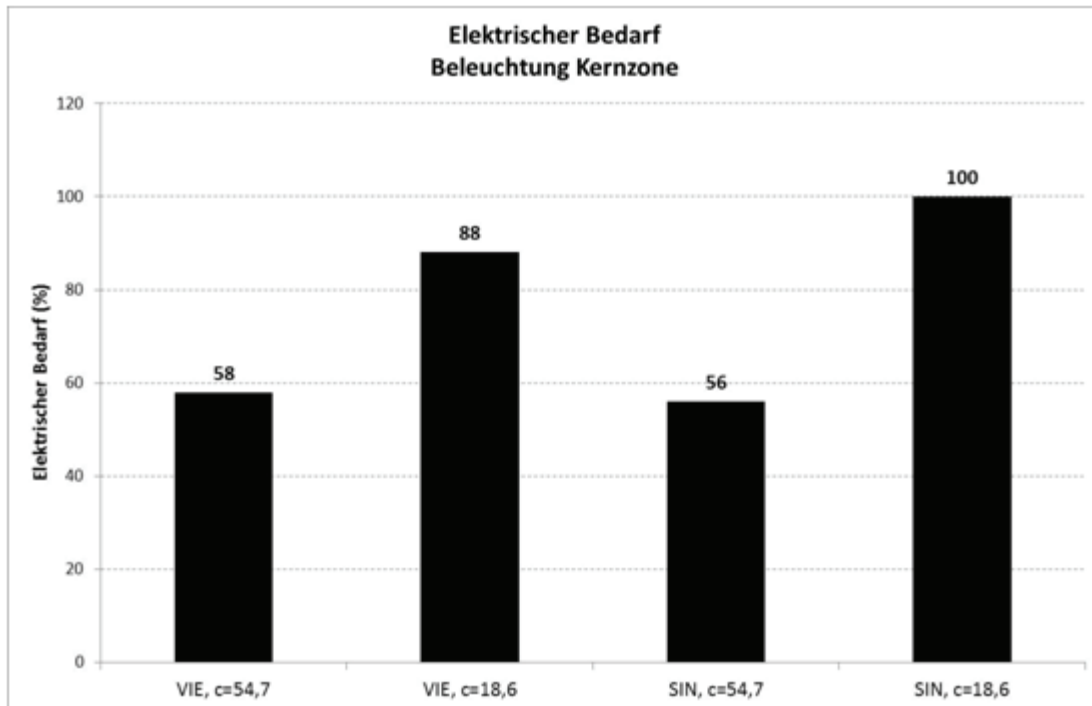


Abbildung 53: Zusammenfassung Ergebnisse Lichtleitung [F. Judex, M, Brychta, AIT]








FUNKTIONS- und POTENZIALANALYSE für Beispiel 2: Selbstadaptive bionische Farboberfläche („Colour Change Surface“)

Fragestellung

Die Grundidee für dieses bio-inspirierte Konzept basiert auf der empirischen Beobachtung der traditionellen klima-angepassten Architektur. Gebäude in heißen Klimazonen sind häufig in hellen Farben gestrichen, um ein Aufheizen der Oberfläche zu vermeiden. Gebäude in kälteren Regionen sind in dunkle Farben gehalten, um das Aufheizen der Oberfläche durch die solare Einstrahlung möglichst effektiv zu nutzen. Für gemäßigtere Klimazonen würden sich diese Zustände je Jahreszeit umkehren müssen: Im Sommer wäre eine Minimierung der thermischen Absorptivität der Fassadenoberfläche gewünscht, im Winter eine maximale Nutzung dieser in Sinne einer passiven solaren Wärmespeicherung.

Die Fragestellungen zur Kühlung, aufgeschlüsselt in z.B. Kühlung durch Verdunstung oder Temperaturanpassung, wurden mit dem Ziel erarbeitet, Nutzungsweisen von natürlichen Kühlprinzipien zu sondieren. Lösungen dazu finden sich in unterschiedlichster Art und Weise, wie z.B. bei Pflanzen, welche durch Formanpassung und Faltungen die, der Sonnenstrahlung ausgesetzte Oberfläche, variieren können. In Tabelle 15 ist eine Auswahl biologischer Vorbilder bzw. deren über Jahrtausende entwickelten Strategien zur effizienten passiven Kühlung zusammengefasst.

Tabelle 15: Auszug biologischer Prinzipien und Vorbilder zur Hauptfunktion ‚Kühlung‘

(Passive) KÜHLUNG <i>Auszug biologischer Prinzipien</i>							
<i>technisches Funktionsziel</i>	Evaporation, Evapotranspiration	Strukturelle Eigenschaft - Kristalle	Reflektive Beschichtungen, Selektive Pigmente	Adaption/ Bewegung	Kontrolle des Feuchtegehalts, Metabolismus	Vermeidung von Überhitzung	Thermische Grenzschicht-effekte
Kühlung durch Verdunstung	x				x		
Luftbewegung				x			x
Temperatur-änderung	x	x	x	x	x	x	x
<i>Beispiel potenzieller biologische Vorbilder</i>	Stomata Blätter, Bromelie (<i>Bromeliaceae</i>) 	Herkuleskäfer (<i>Scarabaeidae</i>) 	Glas-schnecke (<i>Zonitidae</i>) 	Flügelschlag; Mimose (<i>Mimosa pudica</i>) 	Gefäßanatomie Hasenohr (<i>Leporidae</i>) 	Termitenbauten (<i>Isoptera</i>) 	Konvektionskühle ffekte bei Kakteen (<i>Cactaceae</i>) 

Gewähltes Vorbild

Die Farbanpassungsfähigkeit einiger Käferarten, darunter der Herkuleskäfer *Dynastes hercules* und der *Cyphochilus* Käfer, wurden als mögliche Vorbilder für einen bionischen Lösungsansatz gewählt (Abbildung 54).

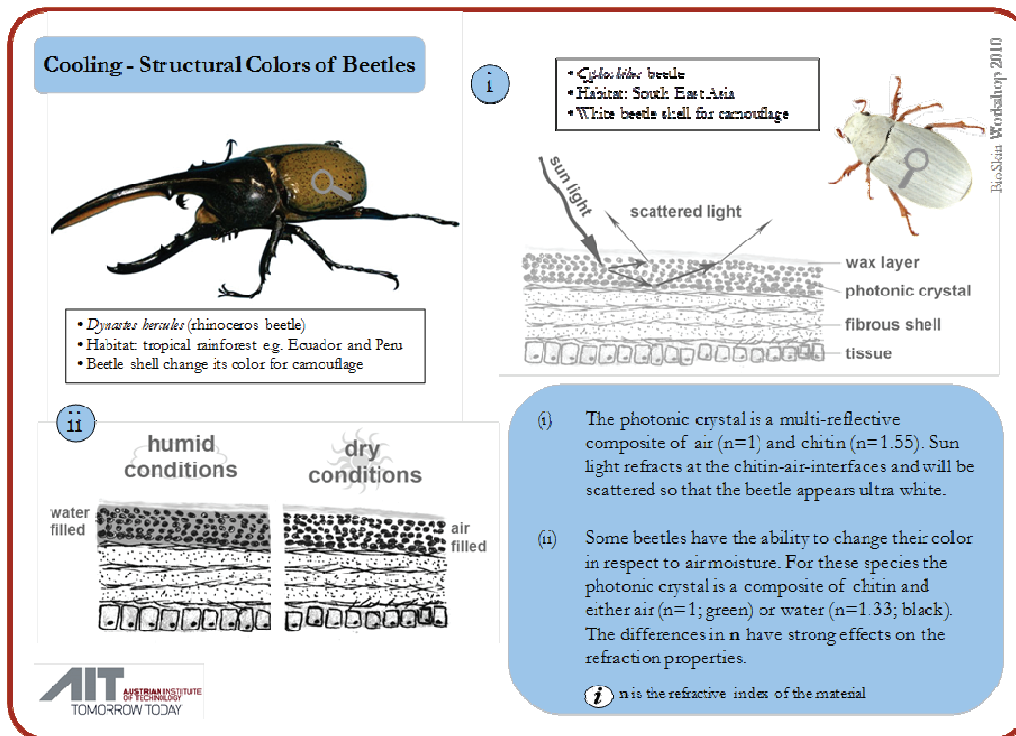


Abbildung 54: Biologische Vorbilder für Farbanpassung / Strukturelle Farben (ohne Pigmenteinfärbung oder chemischen Prozessen): Grundprinzipien des Cyphochilus Käfers und des Herculekäfers [BioSkin Creative Card, Cooling, AIT]

Der Herkuleskäfer, zum Beispiel, zählt zu den größten Käferarten und ist in den Regenwäldern Perus, Ecuador oder der dominikanischen Republik beheimatet. Der Panzer des Käfers hat die Fähigkeit, die Farbe in Abhängigkeit der Luftfeuchtigkeit zu ändern. Dies wird durch die poröse Strukturierung im Chitinpanzer und eingebettete photonische Kristalle erreicht, welche das Licht beugen und unterschiedlich reflektiert. Die Struktur füllt sich dabei entweder mit Luft bei Trockenheit (braun-grüne Farbe) oder mit Wasser bei hoher Luftfeuchte (schwarze Farbe) (Rassart, M., et al, 2008) (Rassart, M., et al, 2009).

Die bionische Konzeptidee

Das Ziel des bionischen Konzepts ist, ein sich selbst anpassende Oberflächenmaterial zu entwickeln, welches durch Farbänderung unterschiedliche Absorptions- und Reflexionsgrade erhält und dadurch passiv zur Reduktion oder Steigerung der Erwärmung der Oberflächentemperatur beiträgt, und somit zur Reduzierung der benötigten Kühl- bzw. Heizenergie (vgl. Grundlagen aus (Eicker, 2009)).

So soll im Sommer eine helle (langsam erwärmende Oberfläche), im Winter eine dunkle (schnell erwärmende) Oberfläche die thermischen Eigenschaften der Fassade positiv beeinflussen. Dabei soll auf chemische Prozesse, also auf Pigmentanpassung, verzichtet werden.

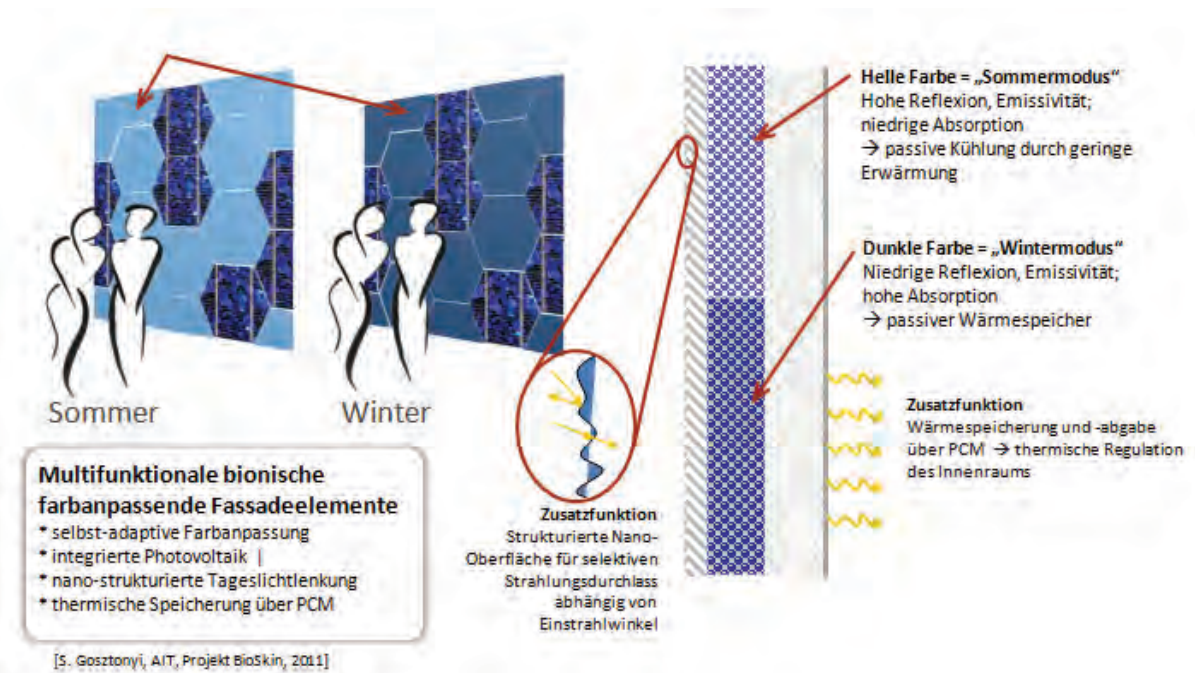


Abbildung 55: BioSkin Konzeptstudie für Farbanpassung – Entwurf für modular aufgebaute farbadaptive Fassadenelemente (Formgebung frei wählbar, in diesem Fall hexagonale Wabenstruktur) mit integrierbaren Zusatzfunktionen (Wärmespeicherung über Phase Change Materials, Energiegewinnung über Photovoltaik oder selektive Verschattung durch Nanostrukturierung) [Grafik: S. Gosztonyi, AIT]

Das Oberflächenmaterial sollte idealerweise als herkömmlich nutzbarer und nachhaltiger Baustoff einsetzbar sein, wie z.B. ein Farbanstrich oder Fertigteil-Fassadenplatten.

Zusätzlich wurden Ideen zur Multifunktionalität im Falle von vorgefertigten Fassadenplatten entwickelt: So könnten durch die Entwicklung eines modularen Baukastensystems, integrierte Photovoltaikzellen mit berücksichtigt werden, sowie durch geometrische Nano-Strukturierung eine selektive Beschichtung (abhängig des Einstrahlwinkels der solaren Strahlung) oder durch die Integration von Phase Change Materials eine passive solare Wärmespeicherung integriert werden (Abbildung 55).

FUNKTIONSANALYSE des Konzepts

Grundlagen und Modellierung

Vor Beginn der Untersuchungen am gesamten Gebäude wurde wieder eine Konzeptstudie zum virtuellen Grundmodell „Effekte von Farbe auf thermisches Verhalten“ durchgeführt, um die grundsätzlichen Einsparungspotenziale unterschiedlicher Kombinationen von Gebäudetypen, Standorten und Farben abzuschätzen. Um dies so objektiv wie möglich zu betrachten, wurden in der Simulationsumgebung [TRNSYS] (siehe Seite 122, [9]) thermische Zonen definiert, welche nur aus einer adiabaten Bodenfläche und einer mit der Umwelt verbundenen Außenwand bestehen. Die Orientierung der Wand – Nord, Ost, Süd, West, und Horizontal (N, E, S, W, H), die Qualität der Gebäudehülle als ‚Medium Energy Efficient‘ und ‚Not Energy Efficient‘ (MEE, NEE), sowie der Standort (Wien, Singapur) wurden neben der

Farbe der Außenwand variiert. Die thermischen Zonen weisen keine internen Wärmelasten, keine Infiltration und keine Ventilation auf. Lediglich eine ideale Heizung und Kühlung ist berücksichtigt. In einem weiteren Schritt wurden in die anfangs unverglasten Außenwände transparente Flächen eingebracht, wobei der Verglasungsanteil mit den Schritten 0, 20, 40, 60, 80 Prozent variiert wurde. Beispielhaft werden die Ergebnisse für Verglasungsanteile von 0, 40 und 80 Prozent vorgestellt.

Der Absorptions- sowie der Emissionsgrad bestimmen maßgeblich das thermische Verhalten einer Oberfläche im Strahlungsaustausch. Die Simulationsumgebung [TRNSYS] erlaubt eine Variation dieser Parameter im Gebäudemodell. Die Farben „Schwarz“ und „Weiß“ wurden in Anlehnung an [TRNSYS] wie folgt definiert:

Farbe	Absorptionsgrad	Emissionsgrad
Schwarz	0,8	0,9
Weiß	0,2	0,9
Standard	0,6	0,9

Im Gebäudemodell wurde die entsprechende Farbqualität an den Außenwänden und dem Dach (H) berücksichtigt.

Verglasungsanteil 0 %

Ein Vergleich von Abbildung 56 und Abbildung 57 zeigt ein ähnliches relatives Einsparpotenzial an Heizbedarf bei Gebäude des Typs NEE und MEE, jedoch sind die absoluten Werte bei NEE Gebäuden erwartungsgemäß höher. Generell sind hier je nach Orientierung Einsparungen von etwa 9 bis 17% zu erwarten. Die angegebenen relativen Änderungen des Kühlbedarfs sind aufgrund der niedrigen Absolutwerte nicht aussagekräftig.

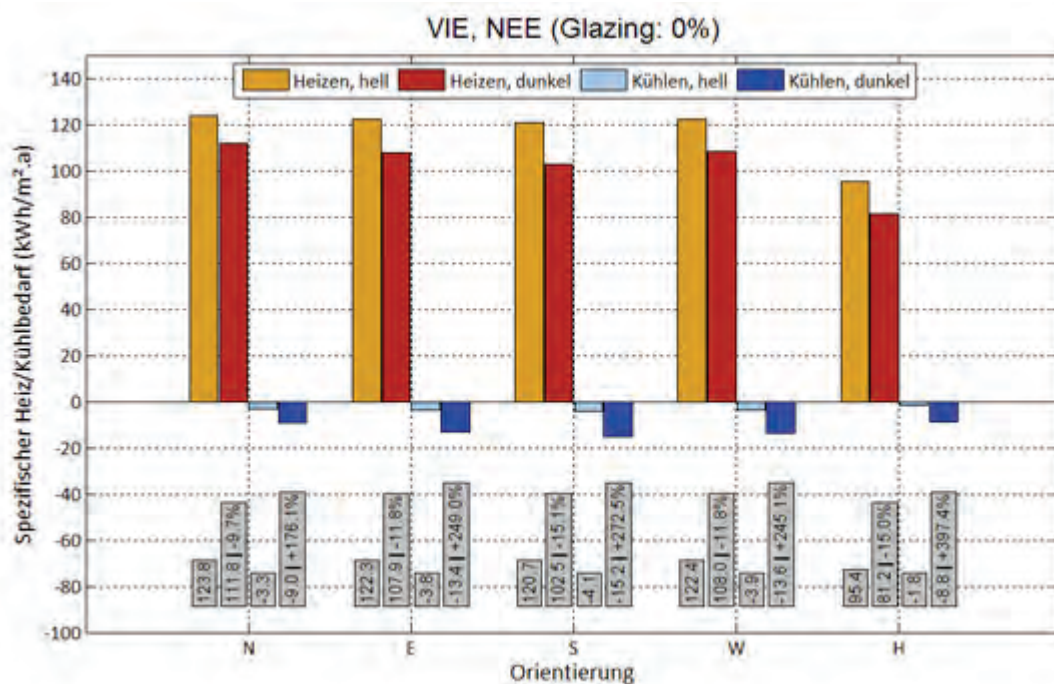


Abbildung 56: Wien, NEE, 0 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]

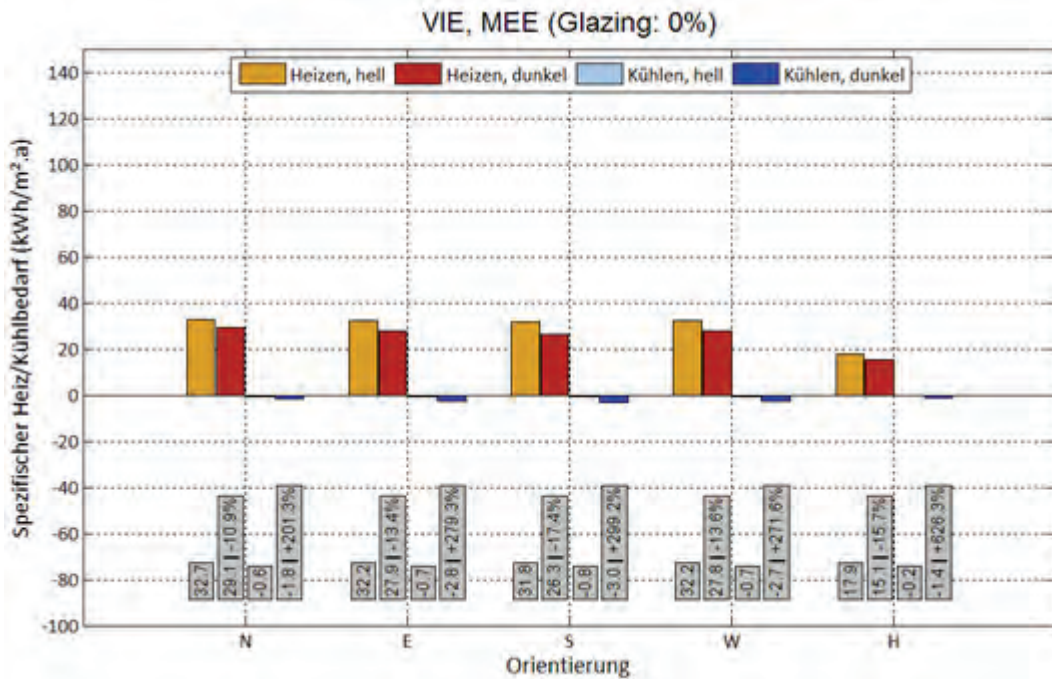


Abbildung 57: Wien, MEE, 0 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]

Abbildung 58 und Abbildung 59 weisen ähnliche Einsparungspotenziale des Kühlbedarfs für alle vertikalen Orientierungen im Bereich von etwa 26 bis 30% auf, während für die horizontale Orientierung etwa 50% Einsparungen berechnet wurden.

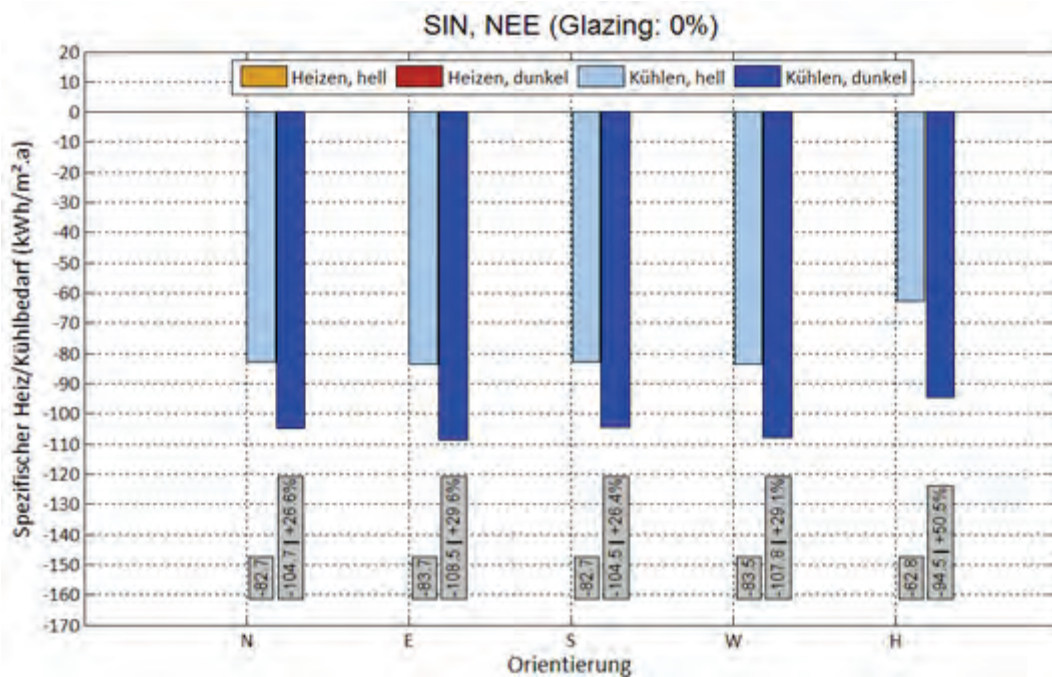


Abbildung 58: Singapur, NEE, 0 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]

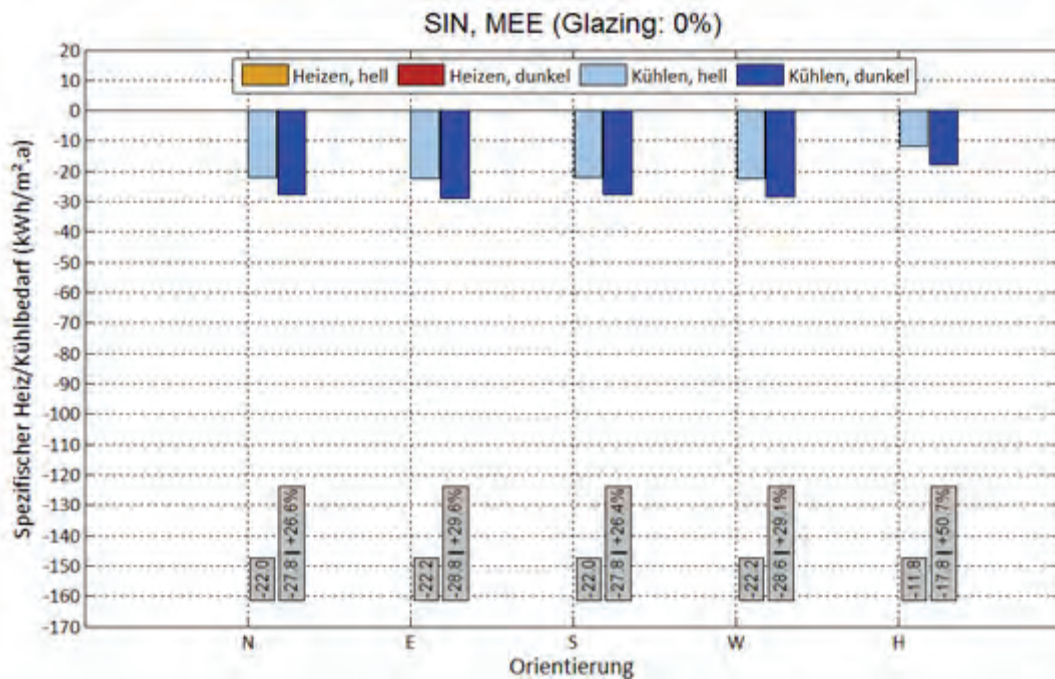


Abbildung 59: Singapur, MEE, 0 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]

Basierend auf diesen Ergebnissen erschien eine Anwendung schwarzer Farbe bei einem Gebäude vom Typ NEE am Standort Wien (Heizfall) und weißer Farbe bei einem Gebäude vom Typ NEE am Standort Singapur (Kühlfall) sinnvoll.

Verglasungsanteil 40 %

Im Vergleich zu vorher zeigt sich eine Abnahme des Einsparungspotenzials durch Farbapplikation sowohl im Heizfall (ca. 5 bis 7 %) als auch im Kühlfall (ca. 10 %).

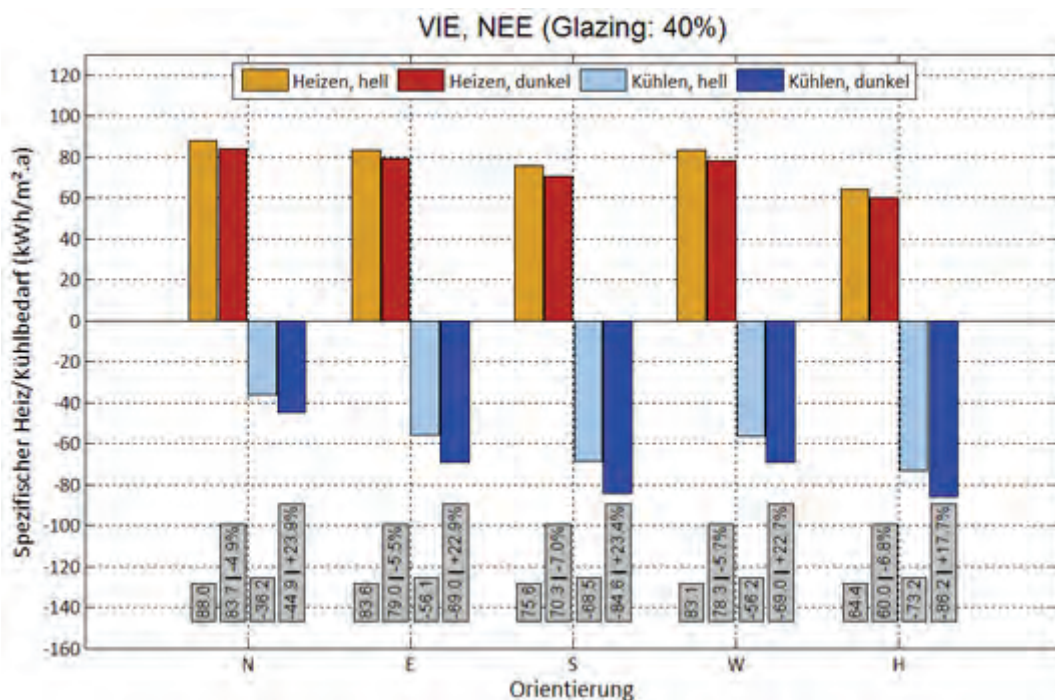


Abbildung 60: Wien, NEE, 40 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]

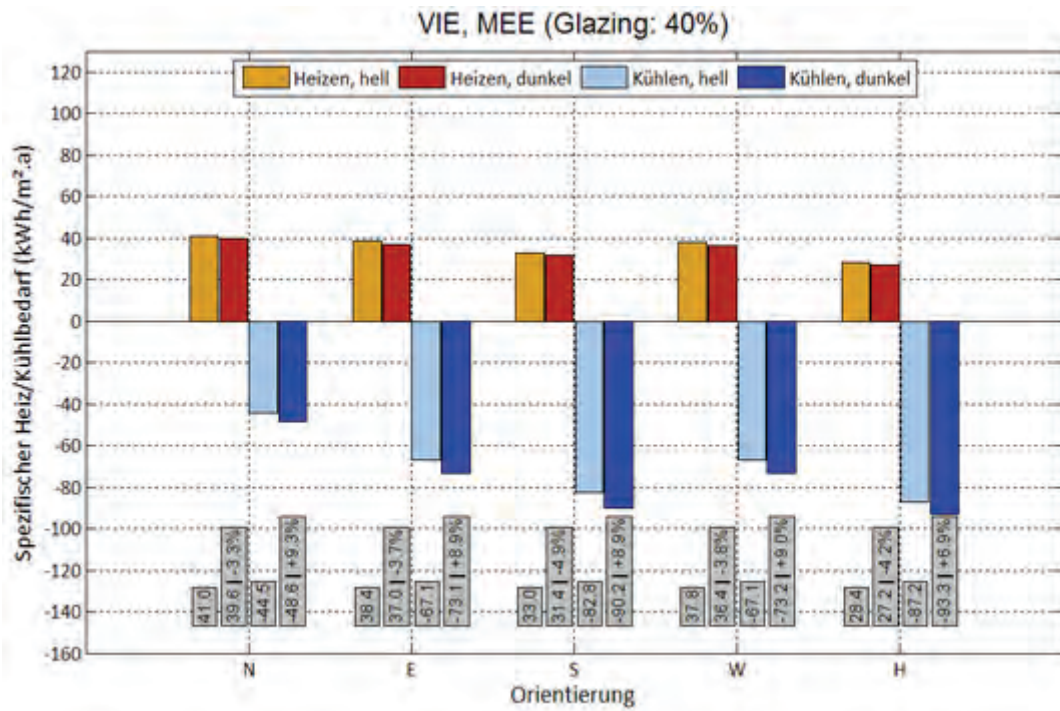


Abbildung 61: Wien, MEE, 40 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]

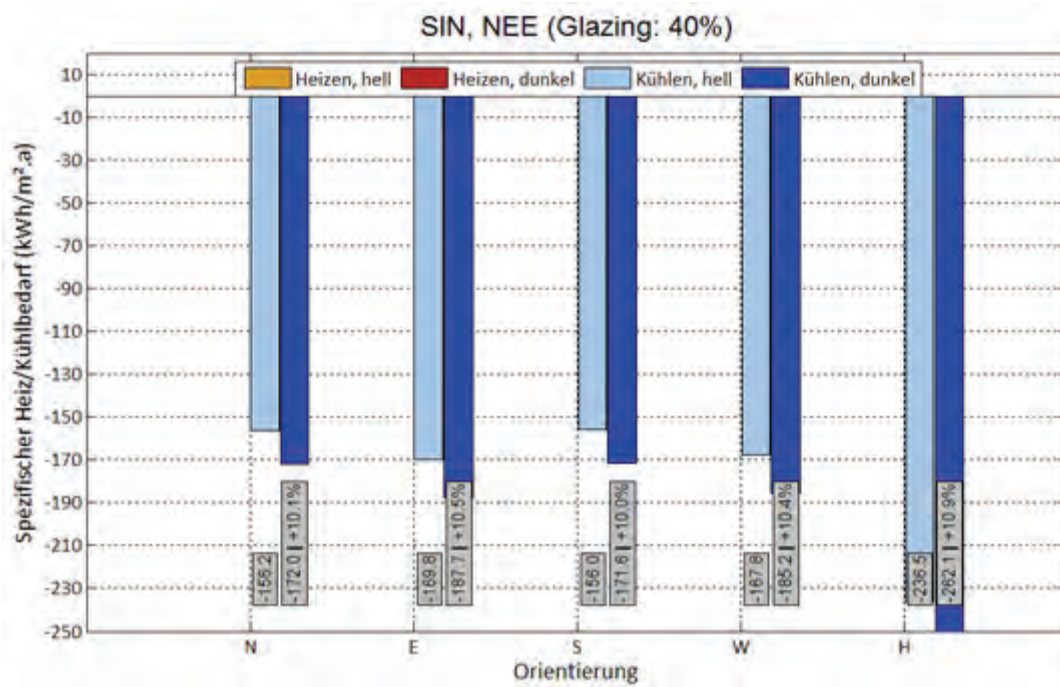


Abbildung 62: Singapur, NEE, 40 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]

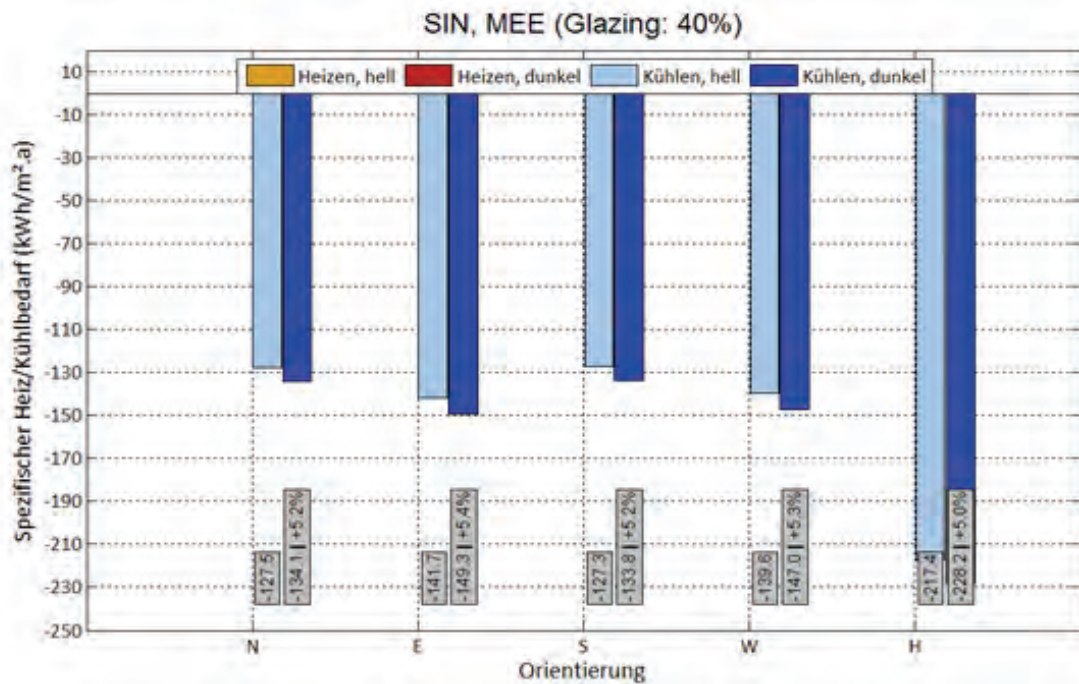


Abbildung 63: Singapur, MEE, 40 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]

Verglasungsanteil 80 %

Bei Erhöhung des Verglasungsanteils auf 80 % der Außenfläche verringert sich das Einsparungspotenzial im Heiz-, wie auch Kühlfall weiter deutlich auf ca. 2 bis 3 %.

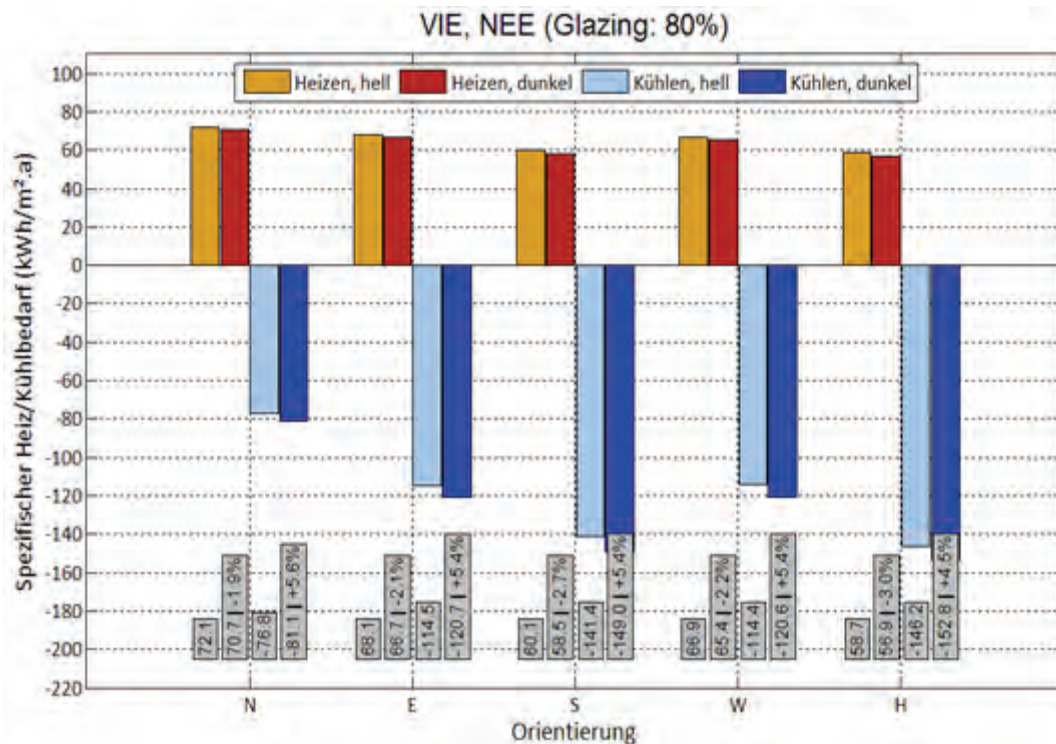


Abbildung 64: Wien, NEE, 80 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]

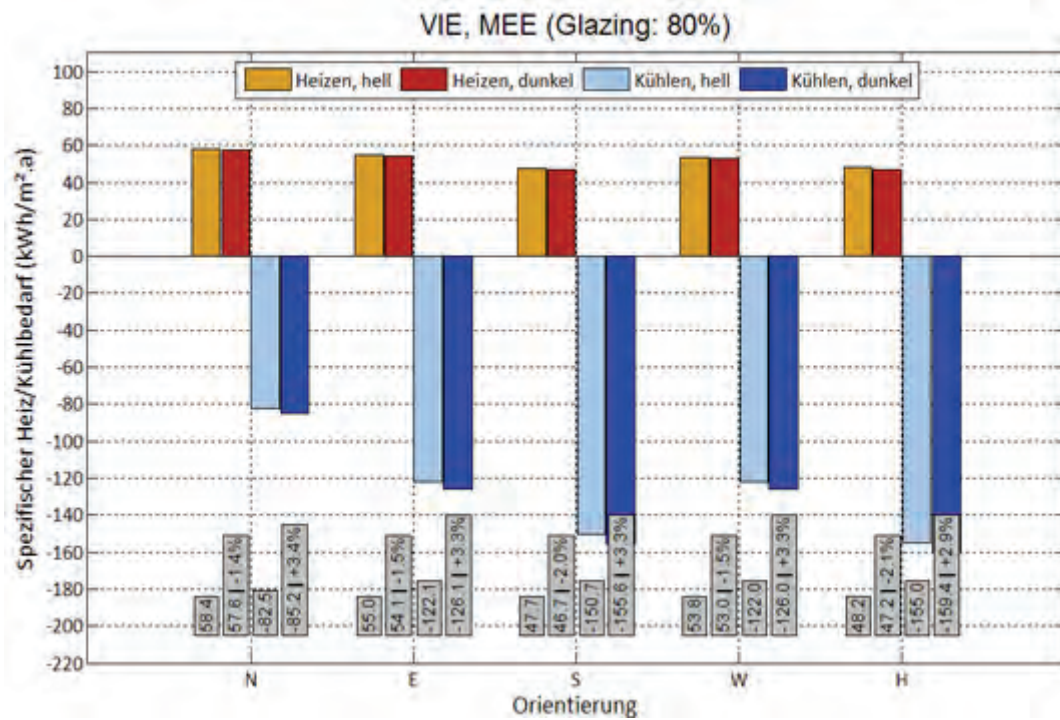


Abbildung 65: Wien, MEE, 80 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]

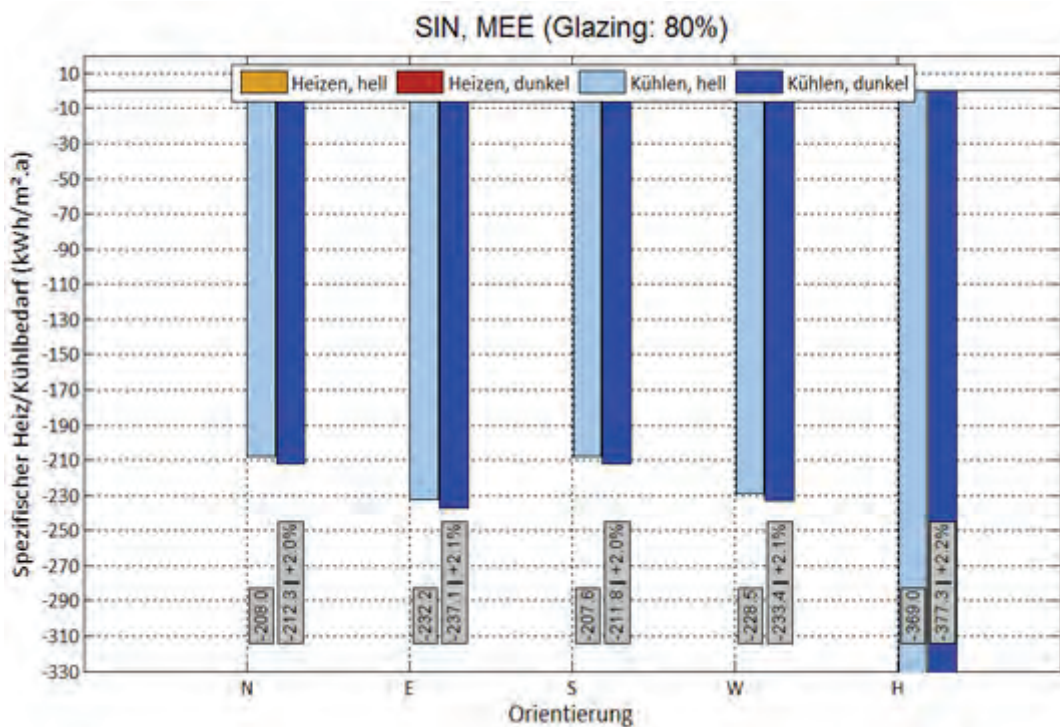


Abbildung 66: Singapur, NEE, 80 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]

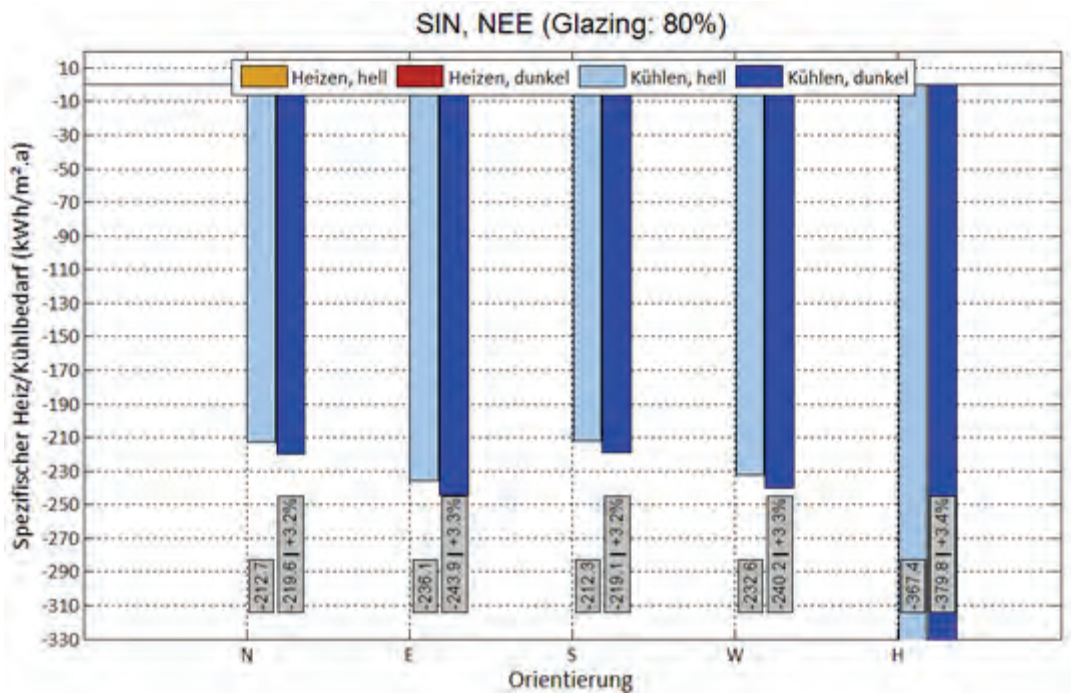


Abbildung 67: Singapur, MEE, 80 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]

POTENZIALANALYSE des Konzepts

Basierend auf den Ergebnissen der Studie zum virtuellen Grundmodell wurden mit Hilfe thermischer Simulationen die Auswirkungen unterschiedlicher Farbqualitäten in der Fassade auf das thermische Verhalten des Gebäudes untersucht. Zu diesem Zweck wurde wieder die definierten Anwendungsszenarien herangezogen: Ein Wohnhaus mit niedriger bauphysikalischer Qualität (NEE) am Standort Wien mit schwarzen Außenwänden und Dach im Heizfall, und ein Gebäude gleichen Typs am Standort Singapur mit weißen Außenwänden und Dach im Kühlfall. Anschließend erfolgte ein Vergleich zu einem konventionellen Referenzgebäude gleichen Typs am jeweils gleichen Standort.

Standort Wien

Der Vergleich des Heizbedarfs für ein Referenzgebäude für Wohnbau (Abbildung 68) und einem, mit schwarzer Farbe für den Heizfall optimierten Gebäudes (Abbildung 69) zeigt eine geringe Reduktion im optimierten Fall von etwa -1,1 %.

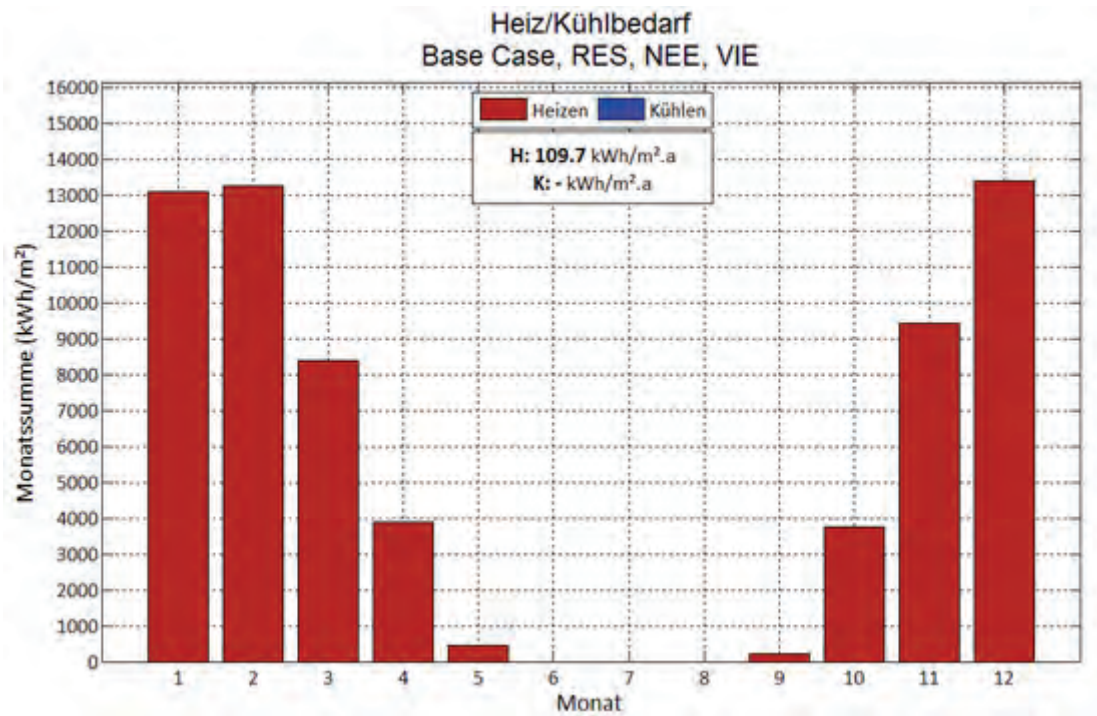


Abbildung 68: Base Case (Referenz), Wohnhaus, Wien, NEE [M, Brychta, R. Braun, AIT]

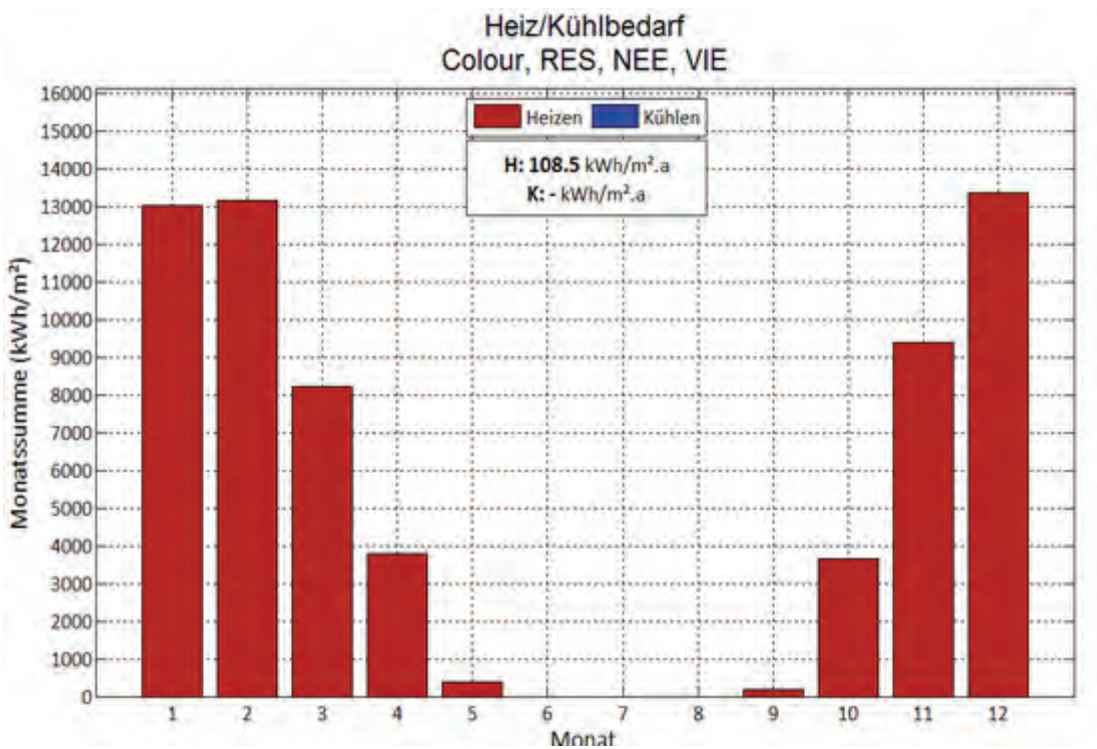


Abbildung 69: Farbe angepasst, Wohnhaus, Wien, NEE [M, Brychta, AIT]

Standort Singapur

Bei Anwendung weißer Farbe auf den Außenflächen des Gebäudes wurden Einsparungen im Kühlbedarf von etwa -6,1 % berechnet (vgl. Abbildung 70 und Abbildung 71).

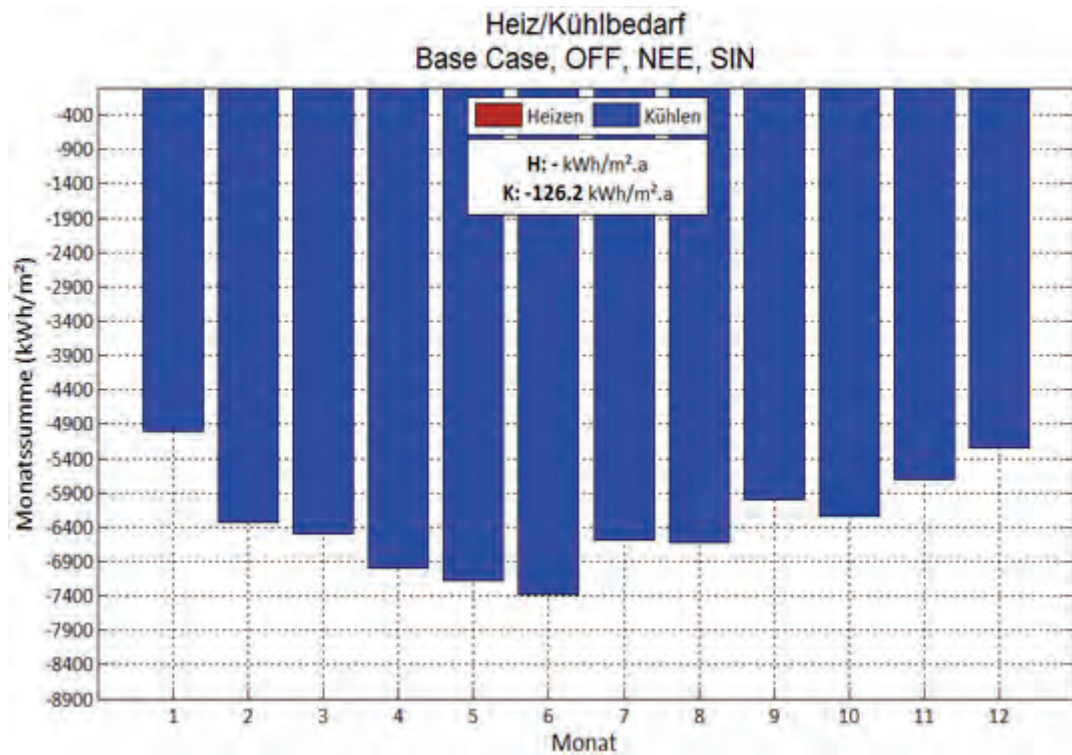


Abbildung 70: Base Case (Referenz), Wohnhaus, Singapur, NEE [M, Brychta, AIT]

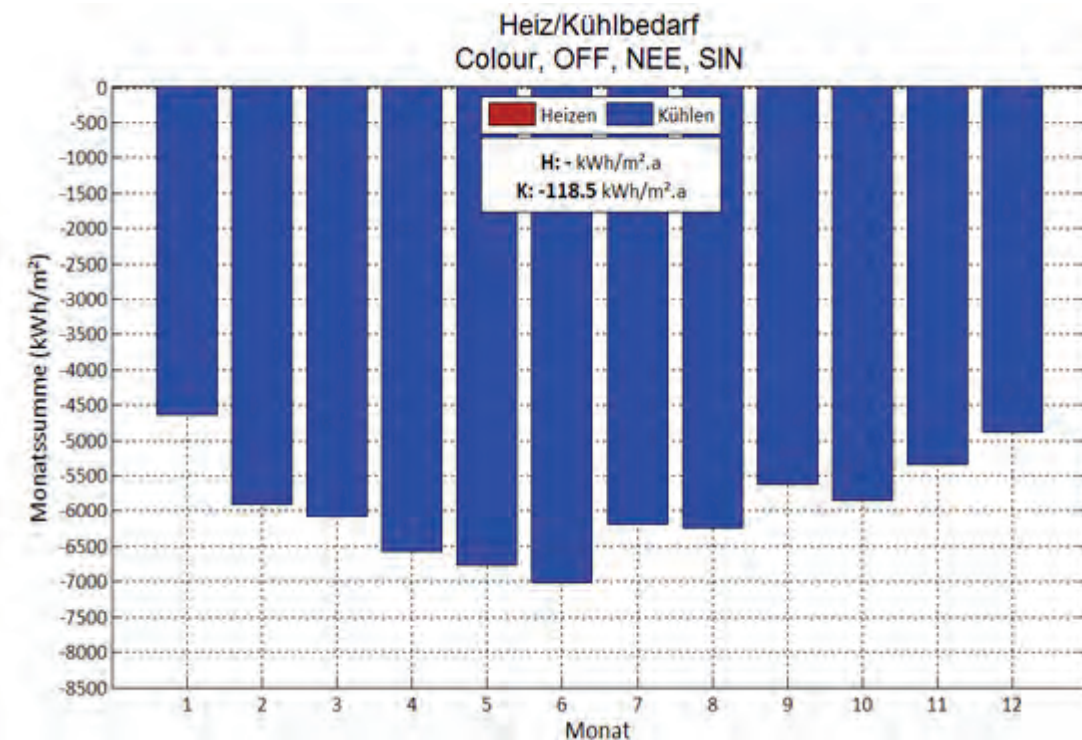


Abbildung 71: Farbe angepasst, Wohnhaus, Singapur, NEE [M, Brychta, AIT]

Zusammenfassung

In der Konzeptstudie wies die Kombination schwarzer Farbe mit einem Gebäude vom Typ NEE in Wien das größte Einsparungspotenzial (ca. 5 bis 7 %) im Heizfall auf. Im Kühlfall erwies sich die Applikation weißer Farbe bei Wohngebäuden niedrigen Standards in Singapur als erfolgversprechend (ca. 10 %).

Bei der Untersuchung der so identifizierten Kombinationen am Gesamtgebäude, wurden die erwarteten Einsparungen nicht erreicht. Besonders im Heizfall wurde nur eine Reduktion des Heizbedarfs von etwa 1,1 % berechnet. Eine deutlichere Einsparung ist im Kühlfall mit 6,1 % zu erreichen. Zurückzuführen ist dies u.a. auf die Dominanz der internen Wärmelasten, die unterschiedliche Geometrie (z.B. Raumtiefe), sowie die Kopplung an angrenzende Zonen.

FUNKTIONS- und POTENZIALANALYSE für Beispiel 3: Bionische Verdunstungsfassade („Evaporative Cooling Facade“)

Grundlage für virtuelles Modell

Ausgehend vom Beispiel des Schwitzens von Säugetiere wurden Möglichkeiten untersucht, wie durch Verdunstung eine zusätzliche Wärmeabfuhr an der Fassade eines Gebäudes zu erreichen wäre. Biologisches Vorbild zu diesem Prinzip waren unterschiedliche Funktionsweisen zur Kühlung durch Verdunstung, wie z.B. das Schwitzen über die Haut.

FUNKTIONSANALYSE des Konzepts

Es wurde ein virtuelles Modell entwickelt, das eine „schwitzende“ Fassade an den Außenwänden beschreibt. Bei sommerlichem Kühlbedarf werden die außenliegenden Wände des Gebäudes mit Wasser benetzt. Die Verdunstung der Flüssigkeit führt zu einem Kühleffekt an der Wandoberfläche, welcher die Transmissionswärmegewinne reduziert. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die verwendeten Parameter.

Parameter	Symbol	Einheit
Verdunstete Wassermasse	\dot{m}_W	kg/h
Verdunstungskoeffizient	σ	kg/m ² .h
Wasserfläche	A	m ²
Feuchtegehalt Luft	x	kg/kg
Feuchtegehalt Luft, Sättigung	x_{sat}	kg/kg
Windgeschwindigkeit	w_0	m/s
Windrichtung	γ_{Wind}	°
Orientierung Fläche	γ_{wand}	°
Wärmeentzugsleistung	\dot{Q}_{Evap}	W

Unter der Annahme einer ruhenden Flüssigkeit beträgt die durch Verdunstung an die Luft übertragene Wassermasse \dot{m}_W :

$$\dot{m}_W = \sigma A (x_{sat} - x)$$

Basierend auf dem Winkel α zwischen der Windrichtung und Flächenorientierung wird die effektive Windgeschwindigkeit w als Parallelkomponente bezüglich der betrachteten Fläche der ungestörten Windgeschwindigkeit w_0 berechnet.

$$\alpha = \gamma_{Wind} - \gamma_{wand}$$

$$w = \frac{w_0}{\sin(\alpha)}$$

Der Verdunstungskoeffizient σ wird in Anlehnung an (Recknagel, p. 1619, siehe Seite 122, [1]) wie folgt abgeschätzt:

$$\sigma = 20 \text{ wenn } w \neq 0$$

Die an der Oberfläche i übertragene Wassermenge bewirkt einen Wärmeentzug $\dot{Q}_{Evap}^{(i)}$ von:

$$\dot{Q}_{Evap}^{(i)} = \dot{m}_W^{(i)} \cdot 2500 = A^{(i)} \cdot (x_{sat} - x) \cdot (25 + 19 \cdot w^{(i)}) \cdot 2500/3,6$$

Die Gesamtkühlleistung für ein Gebäude mit j Außenflächen ergibt sich mit:

$$\dot{Q}_{Evap}^{(ges)} = \sum_{i=1}^j \dot{Q}_{Evap}^{(i)}$$

Ein wesentlicher Faktor ist die Benetzbarkeit der Fassadeoberfläche. Je gleichmäßiger und dünner der Flüssigkeitsfilm aufgebracht wird, umso höher ist der erzielte Kühleffekt. In der vorliegenden Untersuchung wurde dieser Aspekt durch Einführung eines Benetzungsfaktors μ berücksichtigt - ohne Fokus auf Erkenntnisse in der Materialforschung. Ein Faktor von Eins (1) beschreibt ideale Benetzung, Null (0) bedeutet keine Benetzung. Für die so angepasste Gesamtkühlleistung ergibt sich somit:

$$\dot{Q}_{Evap, reduziert}^{(ges)} = \mu \sum_{i=1}^j \dot{Q}_{Evap}^{(i)}$$

Es wurde eine Parametervariation mit dem Faktor μ ($\mu=0,4$ und $\mu=0,8$) durchgeführt, um die Auswirkungen unterschiedlicher Benetzbarkeit der Fassade auf das Gebäude aufzuzeigen.

POTENZIALANALYSE des Konzepts

Das im vorigen Abschnitt dargelegte Konzept wurde anhand eines Wohngebäudes in Singapur untersucht. Im Gebäudemodell wurde die Verdunstungskühlung in Form von extern auf die Wandoberfläche aufgeprägten Flächenkühllasten berücksichtigt. Bei Annahme einer guten Benetzbarkeit der Fassadenoberfläche ($\mu=0,8$) wurden thermische Kühlleistungen von etwa 50 bis 140 W/m² berechnet. Der Gebäudetyp Wohnhaus am Standort Singapur wird ohne Heizung oder Kühlung simuliert. Dies hat zur Folge, dass die Raumtemperaturen entsprechend der gekoppelten Lasten (Transmission, innere Wärmelasten, Infiltration, etc.) frei schwingen. Eine Auswertung der Ergebnisse erfolgte deshalb mittels Erfassung von Überschreitungsstunden. Diese sind jene Stunden, in denen die berechnete Raumtemperatur einer Zone über einem definierten Maximalwert liegt. In diesem Fall wurde der Maximalwert mit $T_{max} = 30^\circ\text{C}$ festgelegt.

Abbildung 72 zeigt einen relativen Vergleich der berechneten Überschreitungsstunden zwischen einem Referenzgebäude ohne evaporierende Fassade und den beiden Varianten mit einer solchen Fassadefunktion. Deutlich zeigt sich eine Reduktion der Anzahl der Stunden, in denen T_{max} überschritten wird. Bei der Variante mit geringerer Benetzbarkeit ($\mu=0,4$) wurde je nach Zone eine Verringerung der Überschreitungen von ca. 2 bis 5 % berechnet, während bei hoher Benetzbarkeit ($\mu=0,8$), deutlich bessere Ergebnisse (über 40 %) simuliert wurden.

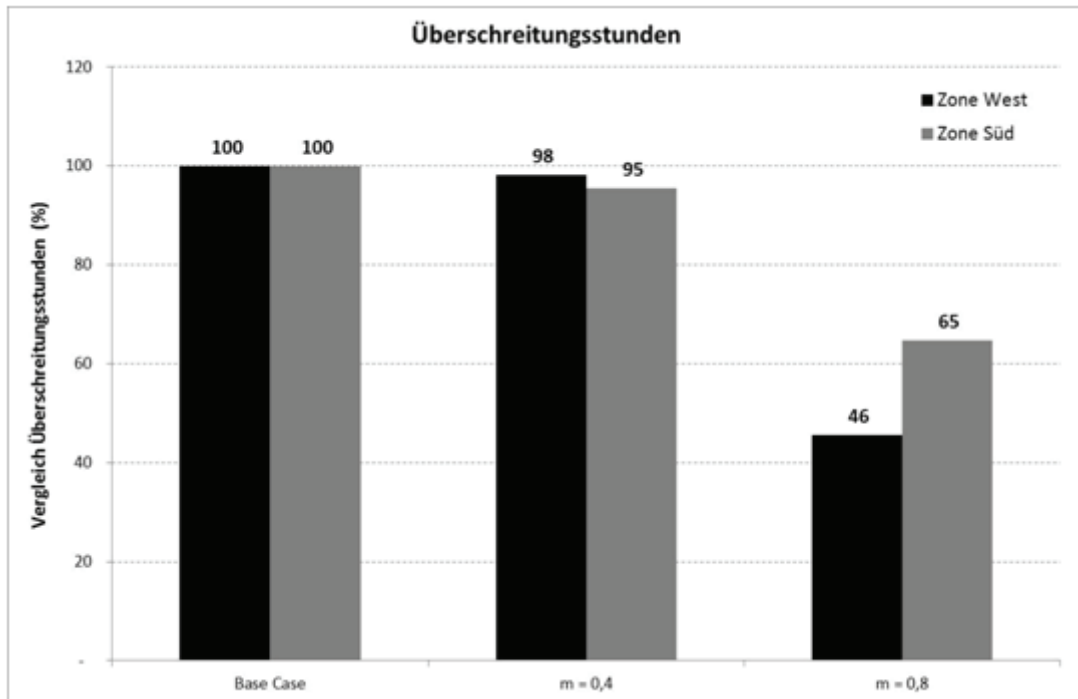


Abbildung 72: Überschreitungsstunden [F. Judex, M, Brychta, AIT]

FUNKTIONS- und POTENZIALANALYSE für Beispiel 4: Bionisches selbstadaptives Nachführsystem für z.B. Verschattungssysteme („TracingSystem“)

Modellierung des Grundmodells

Konzipiert wurde ein, der Sonne ausgesetzter Behälter, in dem eine Flüssigkeit durch Sonneneinstrahlung erhitzt wird. Durch die thermische Ausdehnung, also dem Unterschied zwischen den Ausdehnungskoeffizienten der Flüssigkeit und des Behälters, soll ein hydraulischer Stempel, der in den Behälter eingelassen ist, als Aktuator für eine Verschattung in Bewegung gesetzt werden. Biologisches Vorbild zu diesem Konzept war die Mimose, deren Blätter aufgrund eines ausgeklügelten hydraulischen Membran-Systems rasch auf Berührung reagieren können.

Parameter	Symbol	Einheit
Länge	l_{box}	m
Breite	b_{box}	m
Höhe	h_{box}	m
Spezifische Wärmekapazität des Mediums	$c_{p_{\text{med}}}$	J/(kg·K)
Dichte des Mediums	ρ_{med}	kg/m ³
Kompressionsmodul des Mediums	K_{med}	Pa
Volumenausdehnungskoeffizient des Mediums	γ_{med}	1/K
Linearer Ausdehnungskoeffizient des Behälters	α_{box}	1/K
Absorptivität des Behälters	abs_{box}	1
Konvektionskoeffizient der Oberseite des Behälters	$\alpha_{\text{conv,box}}$	W/(m ² ·K)
Wärmeleitfähigkeit des Behälters	λ_{box}	W/(m·K)
Wandstärke des Behälters	d_{box}	m
Radius des hydraulischen Aktuators	r_{pipe}	m
Länge des Verschattungselements	l_{shade}	m
Breite des Verschattungselements	b_{shade}	m
Höhe des Verschattungselements	h_{shade}	m
Dichte des Mediums	ρ_{shade}	kg/m ³

$$V_{med}(0) = l_{med} \cdot b_{med} \cdot h_{med}$$

$$m_{med} = V_{med} \cdot \rho_{med}(0)$$

$$P(0) = 101325$$

$$k_{med} = \frac{1}{K_{med}}$$

$$\lambda_{box} = (15 + 58)/2$$

$$U_{box} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{conv,box}} + \frac{\alpha_{conv,box}}{\lambda_{box}}}$$

Kernstück ist die ODE

$$\frac{dT}{dt} m_{med} c p_{med} = I_{abs}(t) + (T_{amb}(t) - T) \cdot U_{box} \cdot A_{box}$$

welche die Temperaturänderung des Bauteils beschreibt. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass der Wärmeaustausch zwischen Behälter und Flüssigkeit so schnell passiert, dass es zu keinem Temperaturgradienten kommt. Über die Fläche des Rohrs

$$A_{pipe} = r_{pipe}^2 \pi$$

und die Wärmeausdehnung von Behälter und Flüssigkeit relativ zueinander – es wurden Stahl und Maschinenöl als Beispielmateriale verwendet – ergibt sich die Erhöhung des Innendrucks im Behälter, und damit die Kraft, die auf den hydraulischen Stempel wirken kann.

Die zu bewegende Verschattung (Lamellen) wurde als 40 cm breit, montiert mit 40 cm Abstand und im Schwerpunkt aufgehängt angenommen, um die notwendige Kraft zu minimieren. Um den, aus der Position der Verschattung resultierenden z-Wert zu ermitteln, wurde eine Ergebnistabelle aus einer Monte-Carlo-Simulation mit dem Modell der Verschattung kombiniert.

FUNKTIONSANALYSE des Konzepts

Um eine effiziente Verschattung zu garantieren, wurden 3 Szenarien betrachtet. In jedem dieser Szenarien wurde abhängig von der direkten Solarstrahlung ein Sollwert für den z-Wert der Verschattung berechnet. Dazu wurde jeweils ein Schwellwert I_{min} festgelegt, der geringste Wert an direkter Solarstrahlung, für den $z=1$ (d.h. die Verschattung vollständig geschlossen) gelten soll. Der Sollwert wurde darauf basierend als

$$z_{soll} = \begin{cases} \frac{I_{dir}}{I_{min}} & I_{dir} \leq I_{min} \\ 1 & \text{sonst} \end{cases}$$

festgelegt – im Wesentlichen eine lineare Relation bis zum Schwellwert. Nun wurde über ein Referenzjahr die Abweichung zwischen Ist- und Soll-Wert, die durch das Integral

$$\int (z - z_{soll})^2$$

gegeben ist, mittels Levenberg–Marquardt Algorithmus (Marquardt, D.; siehe Seite 122, [4]) in der in [MATLAB 2011a 9 vorliegenden Variante minimiert. Um die Anzahl der zu optimierenden Parameter auf eine vernünftige Anzahl zu beschränken, wurden nur einige geometrische Eigenschaften des Behälters als optimierbar angenommen, nicht hingegen die Materialeigenschaften. Der Behälter wurde als quadratisch angenommen, und die Parameter l_{Box} , h_{Box} , und r_{Pipe} als zu optimierende Parameter gewählt. Als Schwellenwerte wurde 750, 1000 und 1250 W/m² festgelegt.

Die Optimierung innerhalb dieser Grenzen führte leider zu keinem praktikablen Ergebnis. In allen drei betrachteten Fällen war das Verhältnis zwischen $l_{Box} : h_{Box}$ über 100 : 1, d.h. es wurde ein sehr flacher, relativ großer Absorber benötigt, um die angestrebte Reaktion zu erzielen. In diesem Fall kann allerdings die Annahme, dass der Absorber bei Erhitzung formstabil bleibt, nicht mehr als realistisch angenommen werden. Für eine praktische Umsetzung dieses Konzeptes ist daher eine umfassendere Materialstudie, als im Rahmen des Projektes Bioskin möglich war, notwendig.

Referenzen für Analysen

- [1] Recknagel, H.; Sprenger, E.; Schramek, E.R. (Hrsg.): *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. H. Recknagel, Oldenbourg Industrieverlag; Auflage: 75, 2010.
- [2] Pretenthaler, F., Gobiet, A. (Hrsg.) (2008): *Heizen und Kühlen im Klimawandel – Teil 1, Band 2/1*. Verlag VÖAW, ISBN 978-3-7001-4001-6
- [3] Coleman, T.F. and Li, Y. (1996): An Interior, Trust Region Approach for Nonlinear Minimization Subject to Bounds. In: *SIAM Journal on Optimization*, Vol. 6, pp. 418–445.
- [4] Marquardt D.: An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. In: *SIAM Journal on Applied Mathematics* **11** (2): 431–441
- [5] EN ISO NORM 13790: Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung (ISO 13790:2008), 2008.
- [6] EN ISO NORM 15603: Energieeffizienz von Gebäuden - Gesamtenergieverbrauch und Festlegung der Energiekennwerte, 2008.
- [7] ÖNORM B 8110-5: Wärmeschutz im Hochbau - Niedrig- und Niedrigstenergie-Gebäude - Teil 5: Anforderungen und Nachweisverfahren, 2012.
- [8] DIN EN 13779:2007-09: Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme; Deutsche Fassung EN 13779:2007.
- [9] Software TRNSYS 17: Dokumentation zu TRNSYS 17.
- [10] Software Desigo Insight, Dateiversion 3.0.18.0, Firma Siemens Schweiz AG, Building Technologies Group, Copyright © 2006
- [11] Software MATLAB, Copyright © The MathWorks, Inc..

3.3.5 Zusammenfassung

Neue Konzepte aufzeigen [III - SELEKTION]

Zielsetzungen

Entwicklung von Methoden und Prozessen für die Übertragung biologischer Prinzipien in technische Konzepte, Entwurf von bionischen Konzepten und numerische Analyse ausgewählter Konzepte

Vorgehensweise	Top-Down Ansatz Bionik ⁸ (allgemeine Formulierung des Ablaufs)
<ul style="list-style-type: none">- 2. internationaler Expert/innenworkshop (Kombination mit AP2)- 3. internationaler Expert/innenworkshop (Kombination mit AP4)- Aufbereitung der biologischen Prinzipien für die Übertragung in technische Lösungsfindung- Entwurf von bionischen Konzepten auf Basis von entwickelten Kreativmethoden- Überprüfung der Konzepte durch qualitative Bewertung (Prüfung der Tauglichkeit)- Definition von Referenzszenarien- Analyse von virtuellen Grundmodellen bionisch inspirierter Konzepte- Potenzialanalysen für die Anwendung (Energieeinsparung)- Identifikation und Selektion von Best Case Modellen - Integration der Erkenntnisse in die Datensammlung	<p>Phase 3 – Selektion:</p> <ul style="list-style-type: none">- Analyse von biologischen Funktionspotenzialen mithilfe bionischer Methoden der Input seitens Industrieexperten (aus dem Bereich der Fragestellung oder des Funktionsprinzips) ist hierbei essentiell!- Übertragung der Prinzipien in die „Sprache“ der Zielanwendung- Designentwicklung von bionischen Konzepten

Methoden

Kreativitätstechniken, Bionische Methoden und Prozesse, Entwurfsarbeiten; Analyse und Parameterstudien über numerisch dynamische Gebäude- und Komponentensimulation (TRNSYS, MATLAB), Klimadaten- und Standortanalyse, qualitative Bewertung, Expert/innenworkshops

Herausforderungen und Lessons Learned

- Der bionische Übertragungsprozess erfordert Verständnis für die Abstraktion und Übersetzungsfähigkeit von biologischen Prinzipien in technische Konzepte. Die Aufarbeitung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und die Analyse des Potenzials von biologischen Prinzipien für innovative Fassaden war für das Projektteam eine besondere Herausforderung, welche nur in intensiver Zusammenarbeit mit Biolog/innen und der Auseinandersetzung mit Fachwissen aus unvertrauten Disziplinen bewältigbar ist. Der hohe nötige Zeitaufwand und die benötigten Kompetenzen muss dabei berücksichtigt werden.
- Die Entwicklung eines bionischen Transferprozesses war nötig, da es keinen erprobten Prozess für die Verdichtung, Selektion und Übertragung von biologischen Funktionsprinzipien auf Anforderungen für bionische Fassadenkonzepte gab. Der Entwicklungsaufwand für den Prozess und die Analysen war wesentlich aufwendiger und zeitintensiver als geplant, da geeignete Methoden und Tools, sowie die Herangehensweise für die Modellierung und Analyse definiert werden mussten. Basis waren die fundierten Erfahrungen des internationalen Expert/innenteams sowie die Sondierung von Prozessen und Methoden aus der Bionik, der Produktentwicklung und des Entwurfsprozesses in der Architektur. Die Prozessentwicklung schaffte reges Interesse im Rahmen von Verbreitungsmaßnahmen und wurde auch publiziert (VDI 6226, 2013).

Anhangsdokumente

3_1: Dokumentation Entwurfsarbeiten in BioSkin zur Entwicklung von Grundmodellen

⁸ Im Rahmen des Projekts wurde ein Prozess entwickelt, der auf Literatur zum Top-Down Prozess in der Bionik (siehe 2.3.1) und technischen Produktentwicklungsprozessen beruht (vgl. Systemanalyse nach Ehrlenspiel, 2007, S. 88 aus Lorenz, 2008)

3.4 Phase 4 | Aufbereitung der Ergebnisse

3.4.1 Zielsetzung

Abschließende Arbeit in Phase 4 war die Aufbereitung aller Ergebnisse in den Projektphasen, die Verbreitung der Erkenntnisse und die Entwicklung einer öffentlich zugänglichen Online-Plattform, welche die Daten zur weiteren Verwendung zur Verfügung stellt. Als sogenannter virtueller ‚F&E Katalog für bionisch inspirierte Fassaden‘ beinhaltet die Plattform u.a. alle Teilergebnisse der Studie, sowie die Beschreibung der Methoden und Tools für den bionischen Transferprozess. Weiteres wurden alle Öffentlichkeitsaktivitäten und Publikationsarbeiten als Download bereitgestellt.

AP 4: Katalog ausgewählter bionisch inspirierter Fassadenkonzepte



Abbildung 73: Aufbereitung der Daten aus den Phase 1 bis 3 als F& E Katalog

3.4.2 Methodische Vorgehensweise

Schritt 1: AUFBEREITUNG DER ERGEBNISSE

- Aufbereitung der bionischen Konzepte und der Analysen
- Grafische Aufbereitung der Materialien aus Phase 1 – 3: Funktionsmatrix (functional data base), biologische Datenblätter (biological data base) und bionische Konzepte

Schritt 2: KATALOG FÜR FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- Entwicklung einer Online-Plattform für das Projekt BioSkin: www.bionicfacades.net - Online Katalog mit allen Daten als Download bzw. als Online-Datenbank
- Umsetzung der Plattform: Programmierung (SQL, HTML, CSS) und Aufbereitung der Grafiken, Datenblätter, Skizzen, etc.

Schritt 3: VERBREITUNG DER ERGEBNISSE

- Aufbereitung der Ergebnisse und Erkenntnisse für die unterschiedliche Zielgruppen (Vertreter/innen der Bauwirtschaft, Forschung und Fördergeber)
- Verbreitung der Projektergebnisse über Vorträge, Seminare, Workshops und Lehre
- Publikation von Ergebnissen in Journals, Fachzeitschriften, Gremien, etc.
- Pflege und Aktualisierung der Registrierungen und der Informationen auf der Online-Plattform während des Projekts (und über den Projektabschluss hinausgehend)
- Forschungsausblicke für die weiterführende Forschung und Entwicklung von „bionisch inspirierte Fassadensysteme der Zukunft“

3.4.3 Ergebnisse

Aufbereitung der Ergebnisse

Evaluierung - Überprüfung der Anwendbarkeit der bionischen Grundmodelle

Fragen, wie die der Umsetzbarkeit (Produktentwicklung) und Wirtschaftlichkeit der bionischen Konzepte wurden zwar in den Expert/innenworkshop thematisiert, konnten aber aufgrund der fehlenden Fachkenntnisse im jeweiligen Produktentwicklungsbereich nicht näher betrachtet werden. Daher wurde seitens Expert/innenteam angeregt, dass im Falle einer positiven Evaluierung der Analyse und wirtschaftlichem Interesse an einer Produktentwicklung ein Folgeprojekt mit vertieften Sondierung dieser Fragen initiiert werden sollte. Da Daten während der Projektlaufzeit bereits öffentlich verfügbar waren, konnten bereits erste Kooperationsgespräche angeregt werden. Es werden aufgrund des großen Interesses (rund 60 Anmeldungen auf der Online-Plattform) weitere Aktivitäten erwartet.

Grundsätzliche Recherchen zu potenziell ähnlichen existenten Lösungen und nutzbaren Produkten, sogenannte „Reality Checks“, wurden durch Marktrecherchen und Sondierung von Artikeln in Fachzeitschriften zum Konzept Tageslichtverteilung durchgeführt. Dabei wurde erkannt, dass einige Lösungen aus anderen Fachdisziplinen adaptierbar und nutzbar gemacht werden können. Eine Option, die den Entwicklungszeitraum einer neuartigen bionischen Lösung massiv verkürzen würde. Auch wurden die Verbreitungstätigkeiten genutzt, um Informationen zu industriellen Entwicklungen austauschen zu können.

Aufbereitung der Datensammlung und der Erkenntnisse aus dem Innovationsprozess

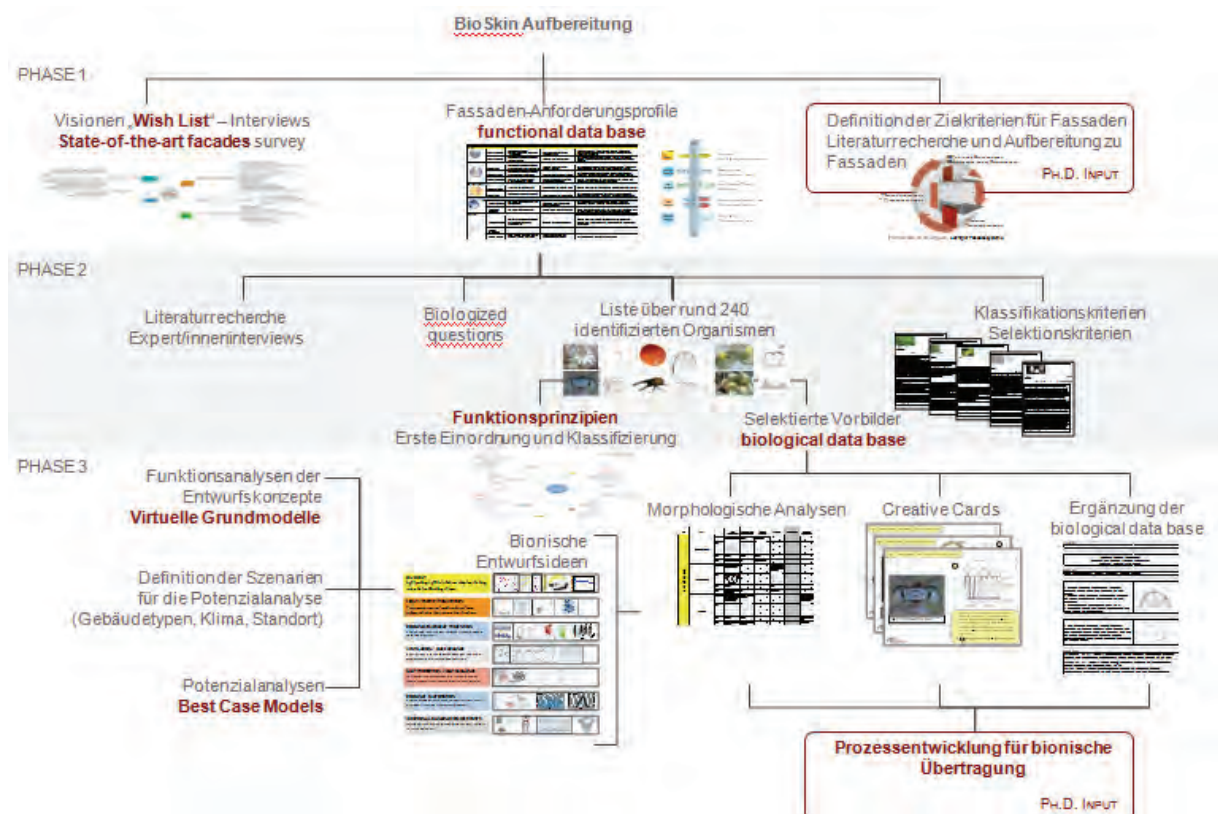


Abbildung 74: Übersicht der Teilergebnisse aus allen Projektphasen im Projekt BioSkin

Sämtliche, im Projekt entwickelten Teilergebnisse und der begleitende Innovationsprozess für die Evaluierung und Selektion, sowie für den Transfer (Entwurf) wurden in dieser Phase grafisch aufbereitet und als publizierbare Dokumente zusammengefasst (vgl. Anhangsdokumente und Web-Plattform) (siehe Abbildung 74 und Abbildung 75).

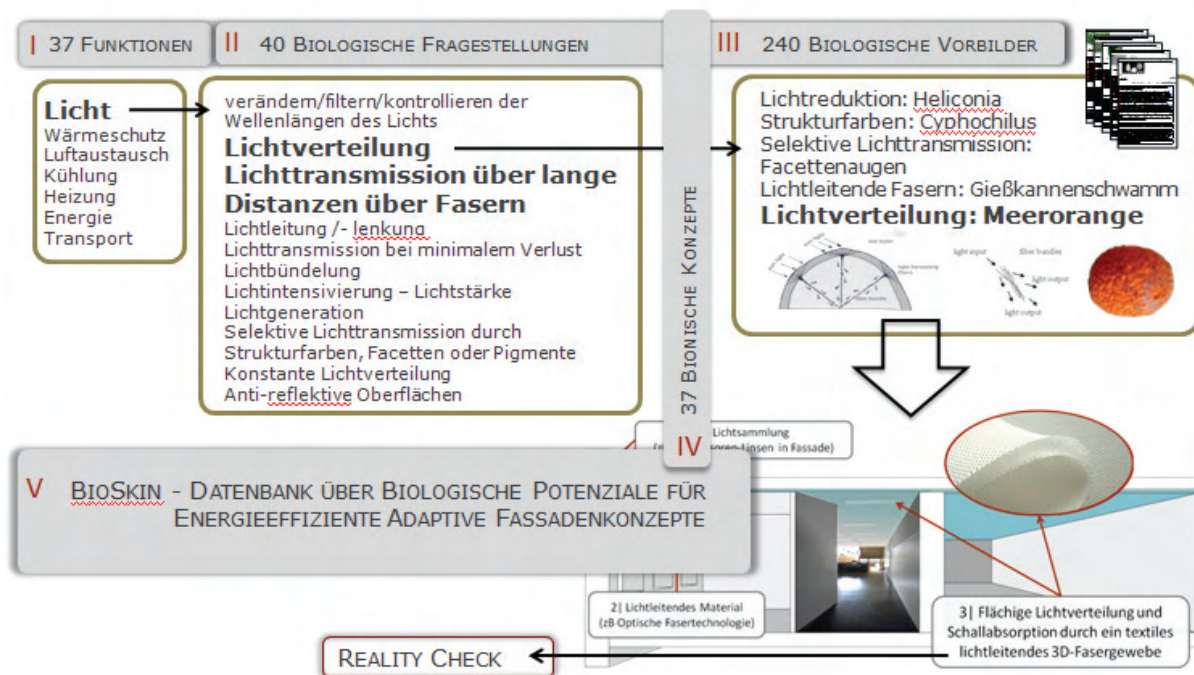


Abbildung 75: BioSkin Forschungskatalog – Datentypen zur Kategorie ‚Licht‘. [S. Gosztonyi, AIT]

Dies betrifft neben der Aufbereitung der Ergebnisse im Projekt auch folgende Prozesse:

- Lessons Learned aus dem interdisziplinären Wissenstransfer und dem Feedback des internationalen Expert/innenteams
- Aufbereitung der Erkenntnisse aus dem Selektionsprozess und der Auswahl von übertragbaren biologischen Prinzipien (Bio-Screening Prozess),
- Aufbereitung von Prozessen und Methoden, die aus der Bionik, Produktentwicklung und Entwurfsprozessen der Architektur angepasst wurden,
- Aufbereitung der finalen Vorlagen und grafischen Darstellungen der Tools, wie z.B. „ Piktogramme für „Functional data base“, Vorlage „biologische Kenndatenblätter“, „BioSkin Creative Cards“, „morphologische Analyse“, etc.

Ein Auszug von Methoden aus dem BioSkin-Prozess wurde vom VDI übernommen und in der in Entwicklung befindlichen VDI Richtlinie 6226 „Bionik – Architektur, Ingenieurbau, Industriedesign“ als beispielhafte Vorgehensweise für den Transfer verwendet.

Katalog für Forschung und Entwicklung: Online-Plattform BioSkin

Entwicklung der Online-Plattform = öffentlich zugängiger F&E Katalog

Die Online-Plattform von BioSkin (www.bionificacades.net) wurde bereits am Anfang des Projekts eingerichtet, und nicht wie geplant erst am Ende des Projekts. Der Grund für diese Entscheidung lag zuerst in der praktikablen Form der internen Vernetzung mit dem internationalen Expert/innenteam sowie mit weiteren benötigten Expert/innen, welche ein adäquates Kommunikationstool aufgrund der europaweiten Standorte benötigten. So konnte z.B. die Online-Umfrage in Phase 1 (Future Visions zu Fassaden) effizient durchgeführt werden.

Die Sichtbarkeit der Grundlagenstudie bzw. des innovativen Vorhabens der Studie durch die Online-Plattform schaffte von Anfang an eine große Nachfrage seitens Wissenschaft und Industrie. Dies spiegelt sich auch im Ranking der Suchmaschine Google wieder: Unter den Stichworten „bionik“ und „fassaden“ belegt die Projektwebsite BioSkin einen der ersten Eintragungen. Diese Entwicklung und das direkte positive Feedback bestätigen, dass die Studie bzw. die Bionik als Motor für Innovationen im Bauwesen erkannt wurde – und dass ein Onlineauftritt gerade bei einem interdisziplinären Pioniersprojekt wie dem Projekt BioSkin ein hilfreiches Vehikel für Verbreitung von Information und für den Wissensaustausch auf Basis des wissenschaftlichen Open Access, welches mit dem Projekt verfolgt wird, ist (Abbildung 76).

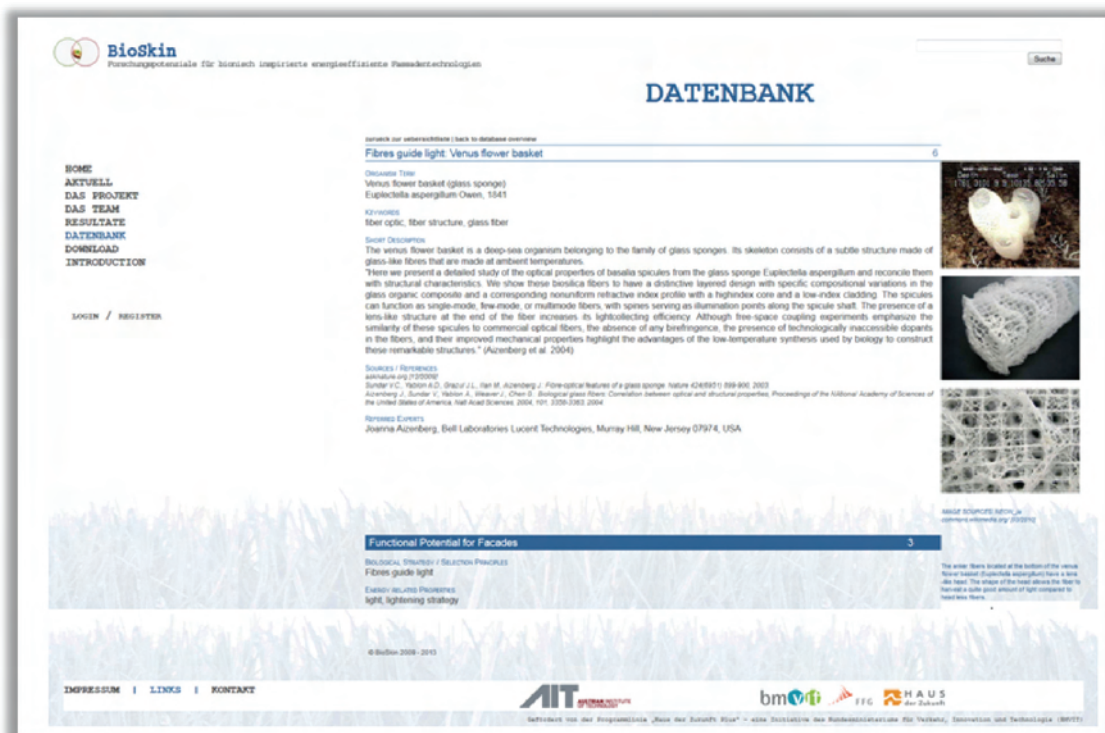


Abbildung 76: BioSkin Online-Plattform – Auszug aus Datenbank zu biologischen Vorbildern

Die Online-Plattform wird auch für Anfragen seitens Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen rege genutzt. Einige Anfragen galten dem wissenschaftlichen Austausch, zu z.B. Masterarbeiten und Dissertationen. Der damit verbundene Vorteil für das Projekt war

das Feedback und der Zugang zu weiteren Akteur/innen im wissenschaftlichen Netzwerk, auch aus anderen unvertrauten Bereichen. Unternehmen und Vertreter aus der Bauwirtschaft bzw. aus Produktbranchen, wie z.B. Materialentwicklungen, Holzwirtschaft oder Glastechnologien, konnten über die Online-Plattform ebenso informiert und zum Austausch angeregt werden. Geladene Vorträge, wie z.B. beim Fassadenforschungszentrum ift Rosenheim oder beim international renommierten Kongress der Holzwirtschaft „Holz Innovativ“ in Garmisch-Partenkirchen kamen durch die Kontaktaufnahme über die Online-Plattform zustande.

Die Datenblätter der selektierten biologischen Vorbilder wurden im Juni 2010 als Datenbank-Testversion online gestellt, um Ergebnisse schon zu Projektlaufzeit anbieten zu können, da die Nachfrage dazu groß war. Um auf die Datenbank zugreifen zu können, wurde eine einfache Personenregistrierung eingerichtet, die es dem Projektteam ermöglichte, Feedback und Verbesserungsideen zur Datenbank abzufragen. Auch der Austausch zu den Inhalten wurde dadurch vereinfacht.

Derzeit sind rund 60 Personen auf der Plattform registriert:

- 28 Registrierungen aus der Wissenschaft (Professor/innen, Student/innen, Diplomand/innen) aus AT, UK, DE, SI, DK, CZ, CH
- 26 Registrierungen aus der Wirtschaft/ Industrie/ Planung (Architektur, Produktentwicklung, Fassadentechnologien, Glastechnologien) aus AT, DE, DK, BE
- 8 private Registrierungen mit Interesse am Thema (keine Zuordnung möglich)
- 8 Internationale Dissertations- und Masterarbeitsanfragen aus Österreich, Deutschland, Slowenien, Litauen, Italien, England, Indien

Die Online-Plattform ist über diese Adresse erreichbar: www.bionicfacades.net

Verbreitung der Ergebnisse

Die Verbreitungsaktivitäten des Projekts waren umfangreicher als geplant. Dies ist auf das rege Interesse der Öffentlichkeit (z.B. von internationalen Industrie- und Bionikkonferenzen) zurückzuführen. Auch das Engagement des Projektteams, bereits vom 1. Projektjahr weg die Studie zu verbreiten, war ein Grund für das frühe Interesse seitens Industrie und Wissenschaft. So konnten auch einige geladene Vorträge bei internationalen Konferenzen gehalten werden, einige davon auch nach Abschluss des Projekts (Stand Mai 2013). Eine Zwischenpräsentation des Projekts fand im Rahmen des Haus der Zukunft-Plus Workshops „Fassaden der Zukunft“ statt. Neben Vorträgen an Fachhochschulen und Universitäten, Artikeln für Fachjournals und Beiträge für das Buch ‚Bau-Bionik‘, 2. Auflage (siehe Publikationsliste), wurden Inputs für internationale Richtlinienentwicklungen in Gremien wie dem VDI eingebracht. Die intensiven Verbreitungsaktivitäten sind in Tabelle 16 zusammengefasst.

Tabelle 16: Liste von erfolgten Verbreitungsaktivitäten (Vorträge, Projektworkshops, Lehre, Publikationen)

VORTRÄGE / PUBLIKATIONEN

- [10/2009] Gosztonyi, S.: *Forschungspotenziale für bionisch inspirierte energieeffiziente Fassadentechnologien*.
Vortrag: Symposium Energie und Bionik, ITV Denkendorf, Deutschland, 08.10.2009.
- [01/2010] Gruber, P.: *Kurzpräsentation des Projektlayouts BioSkin* vor der Arbeitsgruppe Biomechanik und Biomimetik im Rahmen eines Vortrags über Architekturbionik.
Vortrag: Universität Freiburg, Plant Biomechanics Group, Deutschland, 27.01.2010.
- [04/2010] Gruber, P.: *Living material to live in – architectural approaches to biomimetic materials*.
Posterpräsentation: COST Workshop - ‚Strategic Workshop Principles and Development of Bio-Inspired Materials‘, Universität für Bodenkultur Wien, Österreich, 13.-15.04.2010.
- [04/2010] Gosztonyi, S.: *Bioinspiriert*. Kurzinformation zu BioSkin in NEWS forschung.
in: SOLID Baumagazin - Wirtschaft und Technik am Bau, Ausgabe 04/10, p. 51, Österreich, 2010.
- [04/2010] Müller, M.: *INNOVATION - Die zweite Haut*. Interview über BioSkin Projekt.
in: ALPINE Inside, Konzernmagazin von Alpine, 02/2010, p. 44-45, Österreich, 2010.
- [06/2010] Gosztonyi, S., Brychta, M., Gruber, P.: *Challenging the engineering view: Comparative analysis of technological and biological functions for energy efficient façade systems*.
Vortrag: Design and Nature 2010 - Fifth International Conference on Comparing Design in Nature with Science and Engineering, Pisa, Italy, (29.06.2010), 28.-30.06.2010.
In: Brebbia, C.A. & Carpi, A. (eds.), Design and Nature V: Comparing Design in Nature with Science and Engineering, Volume 138, ISBN: 978-1-84564-454-3, WIT press, Southampton, p. 491-502; DOI: 10.2495/DN100441.
- [06/2010] Gruber, P., Gosztonyi, S.: *Skin in architecture: towards bioinspired facades*.
Vortrag: Design and Nature 2010 - Fifth International Conference on Comparing Design in Nature with Science and Engineering, Pisa, Italy, 28.-30.06.2010.
In: Brebbia, C.A. & Carpi, A. (eds.), Design and Nature V, Comparing Design in Nature with Science and Engineering, Volume 138, ISBN: 978-1-84564-454-3, WIT press, Southampton, p. 503-513; DOI: 10.2495/DN100441.
- [06/2010] Gruber, P.: *Biomimetic approaches to architecture - Signs of life and information transfer*.
Vortrag: "Design in Mostra" Seconda Università degli Studi Napoli, Neapel, Italien, 06.2010.
- [10/2010] Gosztonyi, S.: *Biomimetic potentials for adaptive plus-energy buildings - the inspiration pool for buildings of the next generation*.
Vortrag: bionic-A, 2nd International Symposium on Biomimetics 2010, Villach, Österreich; 06.-08.10.2010 (07.10.2010).
- [03/2011] Gosztonyi, S., Gerstmann, H.: *Bionische energieeffiziente Fassaden - Intelligente passive Komponenten für nachhaltige Gebäude*.
Eingeladener Vortrag: International Industrial Convention on Biomimetics 2011, Berlin, Deutschland; 16.03.2011-17.03.2011,
in: Tagungs-CD "International Industrial Convention on Biomimetics 2011".
- [03/2011] Gosztonyi, S.: *Bioskin – Forschungspotenziale aus der Bionik für adaptive energieeffiziente Fassaden der Zukunft*.
Vortrag: HausderZukunft- Vernetzungsworkshop zu „Fassaden der Zukunft“, Graz, Österreich; 31.03.2011.
in: Publikationsreihe „Haus der Zukunft Workshops“, www.hausderzukunft.at.

Fortsetzung VORTRÄGE / PUBLIKATIONEN

- [04/2011] Gosztonyi, S.: *Bionische Fassaden – Potenziale aus der Bionik für adaptive energieeffiziente Fassaden der Zukunft*.
Eingeladener Vortrag: 7. Internationales Symposium Holz Innovativ, Rosenheim, Deutschland; 06.-07.04.2011.
in: Tagungsband 7. Internationales Symposium Holz Innovativ.
- [05/2011] Gosztonyi, S.: *Ergebnisse der Potenzialstudie BioSkin über bionische Konzepte für adaptive energieeffiziente Fassaden*.
Eingeladener Vortrag: Denkendorfer Symposium Energie und Bionik, Lernen von den Energie-Strategien der Natur, Denkendorf, Deutschland; 12.05.2011.
- [09/2011] Gosztonyi, S., Siegel, G., Gerstmann, H., Judex, F.: *Bionischer Lösungsansatz für innovative Tageslichtnutzung im Sanierungsfall*.
Poster: ÖKOSAN 2011, Graz, Österreich; 28.09.-30.09.2011.
in: Abstracts, ökosan 11, Internationale Konferenz für hochwertige energetische Sanierung von großvolumigen Gebäuden“, AEE Institut für Nachhaltige Technologien.
- [10/2011] Gruber, P., Gosztonyi, S.: *BioSkin project – towards bioinspired facades*.
Vortrag: International Bionic Engineering Conference 2011, Boston, USA, 18.-20.09.2011.
- [10/2011] Haselsteiner, E.: *Sanierung oder Abriss?* Information über BioSkin in ‚Innovative Ideen der Zukunft‘.
Fachmagazin architektur & bauform, forum planen Oktober 2011, p. 10, Österreich, 25.10.2011.
- [12/2011] Gosztonyi, S., Gruber, P.: *BioSkin – Analogieforschung und bionische Konzeptbeispiele für adaptive energieeffiziente Fassaden*
Eingeladener Vortrag: 17. Internationales Holzbau-Forum IHF 11, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland; 07.-09.12.2011.
in: Tagungsband „17. Internationales Holzbau-Forum IHF 11“, holzforum Garmisch.
- [06/2012] Gosztonyi, S.: *BioSkin – Bionische Fassadenkonzepte. Potenzialstudie für Energieeffizienz aus der Natur*.
Geladener Vortrag: ift Fachtagung „Transparente Gebäudehülle“, Frankfurt, Deutschland; 25.-26.06.2012.
- [06/2012] Gosztonyi, S.: *BioSkin: Potenziale aus der Bionik für adaptive energieeffiziente Fassaden der Zukunft*.
Geladener Vortrag: 10. Internationales Branchenforum für Frauen IBF 2012 (Holzfachtagung), Meran, Italien; 28.-29.06.2012.
- [10/2012] Gosztonyi, S.: *BioSkin - von der Natur lernen. Bionische Potenziale für Gebäudehüllen der Zukunft*. Geladener Vortrag: Rosenheimer Fenstertage. Konstruktionen für morgen – modular – einfach – sicher, Rosenheim, Deutschland; 11.-12.10.2012.

LEHRE

Einmalige Vorlesungen / Workshops

- [07/2010] Gruber, P.: *BioSkin, Research potentials for bioinspired energy efficient facades*, im Rahmen von: *Biomimetics in Architecture*. Vorlesung: Smart Buildings - Planning for the future, Summer Academy, Technische Universität Wien, Wien, 12.-23.07.2010.
- [07/2011] Gosztonyi, S.: *Biomimetics in Design*.
Vorlesung: Vienna Green Summer Academy, Technische Universität Wien, Wien, 04.-22.07.2011.
- [10/2011] Gruber, P.: *BioSkin Project – towards Bioinspired Facades*, im Rahmen von: *architektur bionik - projekte für die zukunft*.
Vorlesung: architektur transdisziplinär 11, Technische Universität Wien, Wien, 17.10.2011.

Fortsetzung LEHRE	
[10/2011]	Gosztonyi, S.: <i>Biomimetics and Sustainable Design</i> im Rahmen von: <i>Sustainability Challenges</i> . Vorlesung: Master Programme Future Building Solutions, Donau-Universität Krems, Krems, 10.-15.10.2011.
[2010/11]	Gosztonyi, S., Judex, F.: „Simulations of Natural Systems” Vorlesung: Masterlehrgang 'Bionik/Biomimetics in Energy Systems', Fachhochschule Kärnten, Villach; WS 2010/2011.
[2010-12]	Gosztonyi, S.: „Biomimetics in Design – Vienna Green Summer Academy” Vorlesung im Rahmen der <i>Vienna Green Summer Academy</i> , Technische Universität Wien, Wien; Sommer 2011 und 2012.
[2010/11]	Gosztonyi, S.: “Biology and Technology – inspiration pool for energy-efficient technology of the next generation” Vorlesung: Masterstudiengang Erneuerbare Urbane Energiesysteme, Fachhochschule Technikum Wien, Wien; WS 2010/2011.
[seit 2011]	Gosztonyi, S.: ILV Energiekonzepte 2: „Bionik und Energie” Vorlesung: Masterstudiengang Erneuerbare Urbane Energiesysteme, Fachhochschule Technikum Wien, Wien; jeweils im 3. Semester, laufend.
PUBLIKATIONEN nach Projektende	
[2013]	Gosztonyi S., Judex F., Brychta M., Gruber P., Richter S.: Beitrag BioSkin in Kapitel 6.29: <i>Grundlagen Ressourceneffizienter Fassadentechnologien</i> , Kapitel 6.30: <i>Tageslichtnutzung</i> , Kapitel 6.31: <i>Verschattung</i> , Kapitel 6.36: <i>Farbe ohne Pigmente 2</i> . in: Nachtigall, W., Pohl, G. (Hrsg.): <i>Bau-Bionik, Natur - Analogien – Technik</i> . 2. Auflage, Berlin: Springer-Verlag, 2013. ISBN 978-3-540-88994-6 (Erscheinungsdatum 10.2013)
[2013]	Gosztonyi, S. et al: Abschnitt 6: <i>Ergebnisse bionischen Arbeitens</i> , S. 16-18. in: VDI Richtlinie 6226: <i>Bionik – Architektur, Ingenieurbau, Industriedesign</i> . Berlin: Beuth-Verlag, 2013. (Erscheinungsdatum 12.2013).

3.4.4 Zusammenfassung

Auf den Prüfstand stellen [IV - EVALUATION]

Zielsetzungen

Zusammenfassung der analysierten Ergebnisse und Potenzialerhebung für die weiterführende Forschung und Entwicklung (Forschungsempfehlungen): Aufbereitung der Resultate; Verbreitung der Projektergebnisse durch Präsentationen, Vorträge, Publikationen, Lehre

Vorgehensweise

- 3. internationaler Expert/innenworkshop (Kombination mit AP3)
- Verbreitungsmaßnahmen (Öffentlichkeitsarbeit)
- Zusammenfassung und Gliederung der Ergebnisse und Erkenntnisse; Aufbereitung der einzelnen Teilergebnisse,
- Entwicklung eines Ordnungssystemen für den Katalog und Erstellung einer Online-Datensammlung bzw. eines virtuellen Bauteilkatalogs über die Ergebnisse des Projekts, um innovative Forschungs- und Produktentwicklungen für Fassadentechnologien anzuregen
- Programmierung der Online-Plattform; Aufbereitung der Darstellungsweise der Ergebnisse für den Online-Katalog (functional data base, biological data base, biomimetic concepts, best case models): www.bionicfacades.net

Top-Down Ansatz Bionik⁹ (allgemeine Formulierung des Ablaufs)

Phase 4 – Evaluation:

- Evaluation möglicher bionischer Best Case Ansätze
- Selektion von bionischen Best Case Ansätzen mittels wissenschaftlicher Analytik (Simulation, Funktionsmodelle, etc.)
- NICHT IN STUDIE: Prototyping und Optimierung (Anpassung an Anwendung)

Hinweis: Die Ersteinschätzungen wurden in der Studie bereits in Phase 3 durchgeführt. Detaillierte Analysen müssen aufgrund der Komplexität von Neuentwicklungen pro Konzept in gesonderten Projekteinheiten durchgeführt werden.

Methoden

Patentrecherchen, Grafische und schriftliche Aufbereitung; Templates für Katalog; Websiteentwicklung und –programmierung mit CMS und Datenbankfunktion (MySQL, CMS, HTML, CSS); grafische und inhaltliche Datenaufbereitung für Website; Präsentationstechniken und –tools

Herausforderungen und Lessons Learned

- Die Ergebnisse der Grundlagenstudie BioSkin konnten auch auf internationaler Ebene in der Bionikforschung gut verbreitet werden, da starkes Interesse an den Ergebnissen vorhanden war. In Österreich gab es Vorträge auf der Konferenz bionik-A, im Rahmen der Haus der Zukunft Veranstaltungen und an einem Symposiums zu Solar Aktiv Haus 2013. Weiteres wurden Firmen direkt angesprochen bzw. die Ergebnisse direkt vorgestellt.
- Die Online-Plattform zum Projekt erfreut sich einer hohen Aufmerksamkeit, auch über Projektende hinausgehend, sowohl von Forscher/innen und Unternehmer/innen, als auch von Doktorand/innen und Studierenden. Das bestätigt das Potenzial der Bionik als Forschungsaufgabe für zukünftige Lösungen im Bausektor, hier im speziellen für Fassaden.

Link

Online-Plattform BioSkin: www.bionicfacades.net

⁹ Im Rahmen des Projekts wurde ein Prozess entwickelt, der auf Literatur zum Top-Down Prozess in der Bionik (siehe 2.3.1) und technischen Produktentwicklungsprozessen beruhen (vgl. Systemanalyse nach Ehrlenspiel, 2007, S. 88 aus Lorenz, 2008)

4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

4.1 Einpassung in das Programm

Das Projekt (Projekttyp Grundlagenforschung) war dem Themenfeld „Energie in Gebäuden“ im Programm „Energie der Zukunft“ (1. Ausschreibung, Klima- und Energiefonds) zugeordnet und als solches genehmigt worden, und wurde letztendlich als Überleitungsprojekt vom Programm „Haus der Zukunft Plus“ übernommen (BMVIT, 2009).

Die Grundausrichtungen des Programms waren: Effizienter Energieeinsatz, Erneuerbare Energien und Intelligente Energiesysteme, welche in den Zielsetzungen dieser Studie in ganzheitlicher Form berücksichtigt wurden. Die Grundlagen, welche in dieser Studie geschaffen wurden, sollen der Entwicklung neuer Strategien und Lösungsansätze für energieeffiziente und nachhaltige Technologien im Gebäudebereich dienen, und im Speziellen der Weiterentwicklung von zukunftsfähigen Lösungen für intelligente bionischen Fassadenkonzepten. Fassaden spielen in den Bestrebungen, nachhaltige Lösungen für energieeffiziente Gebäude (Neubau, Bestand) zu finden, eine wesentliche Rolle.

4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Das Ziel des Projekts bezüglich der Generierung von weiterführenden Forschungsprojekten entspricht einem Ziel des Programms, sowie die Aufgabe, innovative Technologiekonzepte zu entwickeln, die zur Emissionsminderung und Energieeinsparung bzw. –gewinnung beitragen.

Ein kurzfristiges Outcome der Studie ist der öffentliche Informationsaustausch (Open Access Prinzip) und der damit verbundene Wissenstransfer über die innovative und relativ junge Wissensdisziplin Bionik. Ein mittelfristiges Outcome ist die Entwicklung von F&E Folgeprojekten zur Entwicklung von bionisch inspirierten Produkten oder Systemlösungen für Fassaden. Dies wurde durch die Aufbereitung und intensive Verbreitung der Ergebnisse gestartet. Die Innovationskraft in Österreich auf dem Gebiet der interdisziplinären Wissenschaften bzw. der Bionik konnte durch die Studie unterstützt und ausgebaut werden.

4.3 Einbeziehung der Zielgruppen

Durch die Verbreitungsmaßnahmen und durch die Online-Plattform erreichte die Grundlagenstudie eine ausgezeichnete Vernetzung und internationale Aufmerksamkeit bei Scientific Communities und Wirtschaftsbranchen. Diese zeigt sich auch an den Anmeldungen internationaler Firmen, Wissenschaftler/innen, Dissertant/innen sowie Student/innen auf der Online-Plattform des Projekts (siehe auch 3.4.3).

1. Zielgruppe Wissenschaft & Forschung, Lehre

- BioSkin wurde eines der stellvertretenden F&E Projekte Österreichs im Bereich Energietechnik/ Fassaden/ Architekturbionik im deutschsprachigen Raum,
- Es gab einige Anfragen über die Online-Plattform bzw. direkt bzgl. wissenschaftlichen Austausch und Optionen für Dissertations- und Masterarbeitsvorhaben,
- Ergebnisse von BioSkin wurden in Fachvorträgen bei internationalen Konferenzen vorgetragen und erhielten gute Sichtbarkeit in entsprechenden Publikationen,
- Durch die Studie konnte ein intensiverer Kontakt und Austausch zu internationalen Wissenschaftsnetzwerken aufgebaut werden, wie z.B. dem Centre of Biomimetics, UK; BOKON Deutschland, Biomimetiknetzwerk Baden-Württemberg; BOKON International,
- Durch Lehrtätigkeiten an der TU Wien, Donauuniversität Krems, FH Technikum, FH Kärnten, etc. konnten auch Studierende eingebunden werden,
- Es wird in diversen Publikationen auf die Studie referenziert (z.B. Dissertationen, Masterarbeiten),
- Es gibt Anfragen zu Vorträgen an Schulen (wurden noch nicht während Projektlaufzeit realisiert).

2. Zielgruppe Wirtschaft und Industrie (Produktentwicklung, Architektur, Konstruktion)

- BioSkin Ergebnisse wurden im Bereich des Industrial Designs vom Designerduo taliaYsebastian genutzt. Inspiriert von den bionischen Prinzipien zu Tageslicht haben die Designer ein nachhaltiges Leuchtendesign entwickelt, welches im Rahmen der Ausstellung „The Committee of Sleep“ im MAK gezeigt wird (Abbildung 77),
- Es gibt viel Feedback und Interesse von Firmen, Fachleuten auf Industriekongressen der Fachbranchen, wie z.B. der Holzindustrie (IBF Frauenforum Holz, IHF Holzforum Innovativ 2011, International Industrial Convention on Biomimetics) oder Fassadentechnik (ift Rosenheim GmbH, Fassaden-Fachtagungen, ITV Denkendorf),
- Es gibt Anfragen zu Ergebnissen und Austausch zur Thematik Bionik über die Online-Plattform oder direkt über Email, Telefonate,
- Input zur Richtlinien-Entwicklung / VDI 6226 – Methodennutzung (VDI 6226, 2013).

3. Zielgruppe Allgemeine Öffentlichkeit (Interessent/innen)

- Vorträge an öffentlichen Events, wie zB HdZ Plus Vernetzungsworkshop, Graz
- Buchbeitrag zu Buch „Bau-Bionik“, 2. Auflage, Springer Verlag (Nachtigall, W.; Pohl, G. (Hrsg), Erscheinungsdatum 2013)
- Öffentliche Design-Ausstellung „The Committee of Sleep“, Design Duo taliaYsebastian, MAK, 2012, Wien (Nutzung von BioSkin Beispiel als Inspirationsquelle).



Abbildung 77: Web-Auftritt zur Ausstellung „The Committee of Sleep“, MAK, 2013 [taliaYsebastian, <http://taliaysebastian.com>]

4.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale

Hierbei ist eingangs zu vermerken, dass es sich bei der Bionik um relativ junges Gebiet im Rahmen der Innovationsforschung handelt und es noch wenige bionische Produktentwicklungen für die Baubranche gibt. Diese sind vor allem im Leichtbau zu finden (vgl. 3.2.3, Gosztanyi, S.; et al., 2012). Die Ergebnisse der Studie sind theoretische Konzeptmodelle, welche als Basisinformation und Inspiration für industrielle Entwicklungen genutzt werden können.

Projektanbahnungen wurden während Projektlaufzeit mit Industrievertreter/innen aus der Textilforschung diskutiert, sowie mit Produktentwickler/innen aus der Glastechnologie. Die Entwicklung von Projektkooperationen wird weiterhin verfolgt und auch durch die Veröffentlichung der Daten generell angeregt.

Folgende Ergebnisse und Erkenntnisse können für Folgeaktivitäten eingesetzt werden:

- „functional data base“, "biological data base", „Best Case Models“ – Bereitstellung der Daten auf Basis des Open Access Prinzips:
 - Support bei Firmenanfragen zu spezifischen Problemstellungen und Produktentwicklungen (dzt. Anfragen aus der Glaserzeugungsindustrie, Lacke und Farbe, Intelligente Textilien),
 - Bereitstellung von Daten für die systematische Weiterentwicklung des Katalogs (z.B. Prof. Julian Vincent, University of Bath, UK, Ontology of Biomimetics),
 - Nutzung der Methoden in internationalen Bionik-Gremien, wie dem BIONIK International und dem VDI.

- Anregung von spezifischer Grundlagenforschung zu bionischen Modellen:
 - Geplante Projektanbahnung für die experimentelle Entwicklung eines der Best Case Modelle (Lichtemittierendes Textil) mit nationalen und internationalen Partnern aus Industrie (Textilien) und Wissenschaft (Materialwissenschaften, Textilien).
- Online-Plattform www.bionicfacades.net:
 - Die Plattform dient über den Projektzeitraum hinausgehend als Informationsseite für Bionik und Fassadentechnologien. Es ist geplant, diese weiterhin im Rahmen von Folgeprojekten zu betreuen.
- Wissenschaftliches Arbeiten und Lehre:
 - Laufende Lehraufträge im Masterstudiengang „Erneuerbare Urbane Energiesysteme“, Fachhochschule Technikum Wien und im Rahmen der „Vienna Green Summer Academy“, Technische Universität Wien,
 - (Weiter)bearbeitung der Ergebnisse in der Doktoratsarbeit von S. Gosztonyi (Gosztonyi, in Vorbereitung, 2014) und Anregung zu weiteren wissenschaftlichen Arbeiten.

5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Hohe Signalwirkung durch Methodenentwicklung

Die Entwicklung des begleitenden Innovations- oder Transferprozesses (BioSkin Prozess) war kein eigentliches Hauptziel des Projekts. Sie ist dennoch ein Highlight der Studie geworden, da der Aufbau einer eigenen Systematik, die verwendeten Methoden und Prozesse ein unerwartet großes Interesse bei Industrie und Wissenschaft auslöste. Die Anerkennung für die methodische Arbeit zeigt sich u.a. in der Anfrage des VDI (Verein deutscher Ingenieure), welcher Methoden aus BioSkin als exemplarisches Beispiel bionischen Arbeitens in der neuen VDI Richtlinie 6226 „Bionik – Architektur, Ingenieurbau, Industriedesign“ vorstellt.

Es gab großes Interesse seitens Industrie und Wissenschaft auf internationaler Ebene, die BioSkin Methodik für ähnlich geartete Aufgabenstellungen anzuwenden. Die BioSkin Methoden können z.B. für ähnlich angelegte interdisziplinäre Bionikprojekte angewendet werden.

Zusätzlich zur Erstellung des begleitenden Prozesses mussten qualitative Selektions- und Filterkriterien definiert werden, um die große Menge an biologischen Vorbildern möglichst effektiv sondieren zu können (Bio-Screening Prozess). Diese Evaluierungsprozesse konnten nur bis zu einem bestimmten Grad validiert werden und sollten daher durch Folgeprojekte verfeinert und verbessert werden.

Hohe Signalwirkung durch innovative Projektergebnisse

Die umfangreiche Datensammlung biologischer Vorbilder, die Entwürfe und die bionischen Konzepte erreichten durch Vorträge und durch die Online-Plattform ein internationales Umfeld aus Wissenschaft und Industrie, welches reges Interesse an den Ergebnissen und den weiteren Entwicklungspotenzialen zeigte. Erfreulicherweise wurde auch dieses Highlight durch geladene Vorträge an Fachkonferenzen bestätigt. Im Fachbuch „Bau-Bionik: Natur - Analogien – Technik, 2. Auflage“ (Nachtigall, W.; Pohl, G. (Hrsg), Erscheinungsdatum 2013) werden Konzepte von BioSkin vorgestellt. Und mit den derzeitigen Anfragen von Produktherstellern in Österreich, deren weitere Abklärung über die Projektlaufzeit hinausgeht, hat sich der Zweck der Studie, bionische Forschungsaktivitäten zu initiieren, erfüllt.

Impulse und Lessons Learned durch die bionischen Konzepte sind:

- Input zur Kriterienentwicklung für integrale Gebäudeplanung: Bionische Konzepte können einen Beitrag zur Lebenszyklusbetrachtung von Bauteilen, Fassadensystemen leisten (Berücksichtigung durch Analogien natürlicher Kreisläufe),
- Für das emergente Technologiethema „Intelligenz im Material“, also die Einbettung von Funktionen in Material (Structural Coatings, Functional Surfaces), sind bionische Konzepte richtungweisend,
- Es besteht ein grundsätzlicher Unterschied zwischen biologischen Lösungen und technischen Entwicklungen bei Fassaden: Die Komponenten von Fassaden erfüllen jeweils nur eine monofunktionale Aufgabe. Sie werden erst durch die Zusammenstellung zu einem System "multifunktional". Multifunktionalität in der Natur ergibt sich aus einer hierarchisch organisierten Komposition von Material-Strukturen aus einem oder sehr wenigen Rohstoffen. Diese natürlichen Systeme sind i.A. anpassungsfähiger, robuster und nachhaltiger als technische Lösungen. Die Frage, in wie weit Funktionsprinzipien biologischer Vorbildern auf technische Aufgaben übertragen werden können, kann letztendlich nur anhand von bionischen Produktentwicklungen im Einzelnen geklärt werden,
- Die Fokussierung auf die Lokalisierung von Funktionalitäten ist wichtig: Maßnahmen zur Energieeinsparung sind nicht nur auf den Ort (Klimazone, Standort) sondern auch auf bestimmte Platzierungen auf Fassadenflächen bezogen (Differenzierung der Nutzungsflächen einer Fassade).

Interdisziplinäre Vernetzung von Expert/innen

Aufgrund des hohen Grads an Interdisziplinarität und der notwendigen Vernetzung unterschiedlichster Fachbereiche aus Biologie und Technik wurde bereits im Antrag ein international anerkanntes Expert/innenteam definiert. Dieses Expert/innenteam hat die Abstraktions- und Modifikationsschritte des Identifizierens, Vergleichens und Übertragens von biologischen Prinzipien in technische Konzepte über die gesamte Projektlaufzeit wissenschaftlich begleitet und die Qualität der Ergebnisse evaluiert. Die Einrichtung des

interdisziplinären Expert/innenteams stellte sich als unverzichtbar für den erfolgreichen Verlauf des Projekts heraus: Zum Einen profitierte das Projektteam enorm von dem tiefen Wissen der renommierten Expert/innen und konnte die Arbeit sowohl methodisch als auch inhaltlich entsprechend gut entwickeln. Zum Anderen wurde das Projekt aufgrund der ausgezeichneten internationalen Vernetzung der Expert/innen auch hervorragend in den Scientific Communities und Wirtschaftsbranchen beworben und erlangte damit eine ungewöhnlich internationale Aufmerksamkeit.

Verbreitung und Vernetzung

Die Online-Plattform wird von Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen rege genutzt. Dies lässt sich durch die Registrierungen von internationalen Firmen, Wissenschaftler/innen, Dissertant/innen sowie Student/innen auf der Online-Plattform des Projekts ablesen. Einige Anfragen galten dem wissenschaftlichen Austausch, für z.B. Masterarbeiten und Dissertationen. Der damit verbundene Vorteil für das Projekt war das Feedback und der Zugang zu weiteren Akteur/innen aus der Grundlagenforschung. Auch Unternehmen und Vertreter/innen aus der Bauwirtschaft bzw. den relevanten Produktionsbranchen, wie z.B. Fassadenkonstruktion, Holzwirtschaft oder Glastechnologien, konnten über Anfragen zu industrienahen Entwicklungspotenzialen gewonnen werden.

Die Erkenntnisse aus BioSkin haben die Lehrtätigkeiten an der Fachhochschule Kärnten (Masterstudiengang „Bionik/Biomimetics in Energy Systems“), am Technikum Wien (Masterstudiengang „Erneuerbare Urbane Energiesysteme“), im Rahmen der International Summer University der Technischen Universität Wien und an der Donauuniversität Krems (Masterstudiengang Future Building Solutions) bereichert.

Nicht zuletzt konnte auch ein Bezug zum Social und Human Designs nach dem Motto „Sciences meets Design“ hergestellt werden: Das Industrial Design Duo taliaYsebastian hat für die 2012 stattfindende Ausstellung „The Committee of Sleep“ im MAK, Wien, mithilfe der BioSkin Creative Cards zukunftsweisende Entwicklungen zur innovativen Nutzung frei verfügbarer Energiequellen sondiert und ein nachhaltiges Design für Leuchtmittel entwickelt.

6 Ausblick und Empfehlungen

Die Erarbeitung bzw. "Übersetzungsarbeit" eines gemeinsamen Verständnisses von fachlichen Termini und Zusammenhängen aus den unterschiedlichen Blickwinkeln der eingebundenen Fachdisziplinen stellt bei Projekten mit hoher Interdisziplinarität wie z.B. bei bionischen Projekten eine große Herausforderung für die Projektteilnehmer/innen dar.

Durch den inhärenten Charakter der Interdisziplinarität ist eine hohe Flexibilität in der Kommunikations- und Abstraktionsfähigkeit der involvierten Expert/innen gefordert. Um dieses "Verstehen unterschiedlicher Fachsprachen" effektiv zu unterstützen, ist gerade in der Anfangsphase eines Bionik-Projekts ein intensiver persönlicher Diskurs zwischen den Beteiligten nötig. Da gerade dieser Abstimmungsprozess bei der Durchführung von interdisziplinären Forschungsprojekten und der zeitliche Aufwand häufig unterschätzt oder

weggelassen wird, wird empfohlen, mehr Ressourcen vor allem in der Anfangsphase (Recherchen und Identifikation) einzuplanen. Es wird auch empfohlen, bei Projekten, die den Top-Down Ansatz (Startpunkt Technische Problemstellung) einsetzen, bereits in der Konzeptentwicklungsphase die Zielsetzung möglichst detailliert von allen Projektbeteiligten abzufragen, um den Prozess zu erleichtern.

Die Erfahrung aus dem Projekt BioSkin zeigt weiteres, dass zum Thema ‚Bionik und Energie bzw. Energieeffizientes Bauen‘ derzeit noch auf wenig Literatur und Lösungen zugegriffen werden kann. Das bedeutet, dass die vorhandene Literatur jeweils ausschließlich den involvierten Fachgebieten zugeordnet ist, und daher von Expert/innen anderer Fachgebiete schwer bis gar nicht interpretiert werden kann. Für die Übersetzungsarbeit müssen daher adäquate Methoden und Instrumente (Prozesse) eingesetzt werden und teilweise auf die jeweiligen Projektziele angepasst werden.

Im vorliegenden Projekt BioSkin wurde ein begleitender Evaluierungs- und Selektionsprozess entwickelt, der Methoden und Prozesse für die Schnittstelle von Fassadentechnologien, Klima-Engineering, technische Wissenschaften sowie der Biologie mit den Fachgebieten mechanische Biologie, Botanik, Zellbiologie, Physiologie zur Verfügung stellt. Die Mitwirkung von (mittlerweile vorhandenen) geschulten Bioniker/innen ist von großem Vorteil für solche Projekte.

Auf nationaler Ebene war die Akzeptanz des Themas Bionik und Energie aufgrund der noch wenig etablierten und sichtbaren Wissensdisziplin herausfordernd. Daher wurde hier vor allem auf Publikationen und die Zusammenarbeit mit der FH Kärnten, Bionik in Energy Systems, gesetzt, um den Zugang zum Thema für Interessent/innen zu erleichtern. Es wird empfohlen, die Forschungsaktivitäten in der Bionik sowohl in der Grundlagenforschung als auch in der experimentellen industriennahe Forschung über spezifische Förderprogramme zu stärken, damit künftig auch Produktentwicklungen stattfinden können, die die Bionikpotenziale (be)greifbar machen. Dies wird durch die rasanten Entwicklungen der internationalen Bionikforschung und bionischen Produktentwicklung im internationalen Raum bestätigt.

7 Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

Amann, W., Jodl, H.G., Maier, Ch., Mundt, A., Pöhn, Ch., Pommer, G. (2007). *Massiv-Bauweise im sozialen Wohnbau in Wien*. Wien: IIBW, im Auftrag der Wirtschaftskammer Österreich, Fachverband Stein- und keramische Industrie.

Amtmann, M.; Gosztonyi, S.; Lechner, A.; Mach, T. (2012). *IEA-SHC Task 41: Solar Energy and Architecture (Endbericht)*. Wien: BMVIT.

Badarnah, L.; Knaack, U. (2008). Organizational features in leaves for application in shading systems for building envelopes. C. A. Brebbia (ed.), *Design and Nature IV*, WIT Press, Southampton , 87-96.

Benyus, J. M. (1998). *Biomimcry, Innovation inspired by nature*.

BIOKON. (02. 11 2010). *BIOKON - Bionik Kompetenz Netzwerk*. Von <http://www.biokon.net/> abgerufen

BIOKON International. (02. 11 2010). *BIOKON International - Working Groups*. Von <http://www.biokon-international.com/working.html> abgerufen

BMVIT. (2009). *Haus der Zukunft Plus, 2.Ausschreibung, Leitfaden für Projekteinreichung*. BMVIT.

Braun, D. H. (2008). *Bionisch inspirierte Gebäudehüllen*. Universität Stuttgart.

Brümmer, F., Pfannkuchen, M., Baltz, A., Hauser, T. & Thiel, V. (2008). Light inside sponges. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 367(2) , 61 – 64.

CEN/TC 350. (12. 11 2010). *CEN/TC 350 - Sustainability of construction works*. Von http://portailgroupe.afnor.fr/public_espacenormalisation/CENTC350/index.html abgerufen

Craig, S.; Harrison, D.; Cripps, A.; Knott, D. (2008). BioTRIZ Suggests Radiative Cooling of Buildings Can Be Done Passively by Changing the Structure of Roof Insulation to Let Longwave Infrared Pass. *Journal of Bionic Engineering* 5 , 55–66.

Davies, M. (1990). Eine Wand für alle Jahreszeiten. *Arch+ Zeitschrift für Architektur und Städtebau Nr. 104* , S. 49.

Deutsches Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. (August 2011). *Wege zum Effizienzhaus-Plus, im Rahmen der Förderinitiative ‚Modellprojekte im Plus-Energie-Haus-Standard‘*. Informationsbroschüre.

Drack, M. (2002). *Bionik und Ecodesign - Untersuchung biogener Materialien im Hinblick auf Prinzipien, die für eine umweltgerechte Produktgestaltung nutzbar sind*. Dissertation: Universität Wien.

EAVG 2012. (April 2012). *Energieausweis-Vorlage-Gesetz 2012*. Bundesgesetzblatt Republik Österreich.

Eicker, U. (2009). *Low Energy Cooling for Sustainable Buildings*. Wiley & Sons.

EPBD 2002. (December 2002). *Richtlinie 2002/91/EC über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive)*. Brüssel: EU.

EPEA Internationale Umweltforschung GmbH. (12. 03 2010). *Cradle to Cradle® Case Studies*. Von <http://epea-hamburg.org/index.php?id=170> abgerufen

EU Commission staff working document. *Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies in the EU" Current situation of key enabling technologies in Europe*. Brüssel: Commission of the European Communities.

EU Kommission. (19.10.2006). Aktionsplan für Energieeffizienz: Das Potenzial ausschöpfen. *EU Mitteilungsblatt*.

EU Kommission. (2007). *2020 vision: Saving our energy*. Brussels: Generaldirektion Energie und Transport.

EU Kommission. (22. 10 2009). *Zusammenfassung EU-Positionspapier „EU-Gebäuderichtlinie“*. Von http://www.eu-koordination.de/PDF/2009-06_Gebaeuderichtlinie abgerufen

EU Kommission (19.5.2010) ‚Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden‘, Richtlinie 2010/31/EU des europäischen Parlaments und des Rates. Amtsblatt der EU.

Fachmagazin für europäischen Recyclingmarkt. (12. 02 2010). Von <http://www.eu-recycling.com/> abgerufen

FBB Bauwerksbegrünung (2011). *Grüne Innovation Fassadenbegrünung*. Informationsblatt FBB, download: www.fbb.de, 29.04.2011.

Flectofin®: <http://www.itke.uni-stuttgart.de/forschung.php?id=61>. (2012). Abgerufen am 05. 07 2012 von BIONA Forschungsprojekt ITKE Uni Stuttgart, Arch Schleicher, Uni Freiburg, clauss markisen, ITV Denkendorf: <http://www.itke.uni-stuttgart.de/forschung.php?id=61>

gap-solution gmbh. (2012). Abgerufen am 05. 07 2012 von <http://www.gap-solution.at>

GLASSX. (2012). Abgerufen am 05. 07 2012 von GLASSX AG: <http://glassx.ch>

Gosztanyi S., AIT. (2007). MA 27: *Mehr Energieeffizienz für Glasfassaden in der Architektur*. Wien: Studie und Broschüre im Auftrag von Magistratabteilung 27.

Gosztanyi, S. (Dissertation in Vorbereitung, 2014). *Biomimetic façades – Investigation of the potential from biological principles for adaptive energy-efficient facade design*. TU Wien, TU Delft: Dissertation.

Gosztonyi, S.; Geissler, S.; Spitzbart, C. (2008). Technologieentwicklung für Nachhaltige Gebäude. *Wettbewerbe Architekturjournal*, 32. Jahrgang, 271/272 , S. 6 - 9.

Gosztonyi, S.; Schinagl, C.; Siegel, G.; Haslinger, E.; Kobltschnig R. (2012). *Baubionik Potenziale - Interdisziplinäre Identifikation und Aufbereitung von innovativen bionischen Schlüsseltechnologien für "Plus-Energie Gebäude der Zukunft"*. Wien: BMVIT.

Gramann, J. (2004). *Problemmodelle und Bionik als Methode*. München: TU München, Dissertation.

Gramann, J.; Lindemann, U. (2004). Engineering Design using Biological Principles. *International Design Conference – Design 2004*. Dubrovnik.

Gruber, P. (2008). *Biomimetics in architecture - architecture of life and buildings* . Wien: Dissertation, TU Wien.

Hart, F. (1965). *Skelettbauten*. 1. Auflage. München: Callwey.

Haselsteiner, E. (2011). *plus Fassaden - Internationaler Know-how- und Wissenstransfer über "intelligente Fassadensysteme" für österreichische AkteurInnen und KompetenzträgerInnen*. Wien: Endbericht, Haus der Zukunft Plus.

Hensel, M.; Kamvari, O.; Menges, A. (eds.). (2008). Performance-Oriented Design: Morpho-Ecological Design, Research and Practice in Architecture. *Iranian Architecture Quarterly Vol. 8 No. 31 & 32*. Teheran: Iranian Architecture Publications.

Interreg IVC Projekt. (18. 03 2010). *C2 Cradle to Cradle Design Österreich*. Von <http://www.cradletocradle.at> abgerufen

Klein, T. (2013). *Integral Facade Construction. Towards a new product architecture for curtain walls*. Delft University of Technology.

Knaack, U.; Klein, T.; Bilow, M.; Auer, T. (2007). Mike Davies: Polyvalente Wand. In *Fassaden - Prinzipien der Konstruktion* (S. 89). Basel: Birkhäuser.

Knaack, U.; Klein, T. (eds.). (2009). *The Future Envelope. Architecture - Climate - Skin* (Bd. 9). (D. U. Press, Hrsg.) IOS Press BV.

Knaack, U.; Klein, T.; Bilow, M. (eds.). (2011). *Performance driven envelopes*. . 010 publishers, Rotterdam.

Knaack, U.; Klein, T.; Konstantinou, T. (eds.). (2013). The Future Envelope 7 – Facade Value. *Conference proceedings on the Building Envelope, Delft University of Technology* .

LEDS Fassadensystem. (2012). Abgerufen am 05. 07 2012 von GIG Fassaden GmbH: http://www.gig.at/de/innovationen/innovations-schwerpunkte?view=item&item_id=138

Loonen, R.C.G.M.; Trčka, M.; Cóstola, D.; Hensen, J.L.M. . (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 25 , S. 483-493.

Lorenz, M. (2008). *Handling of Strategic Uncertainties in Integrated Product Development*. München: TU München, Dissertation.

Lucido®. (2012). Abgerufen am 05. 07 2012 von LUCIDO Solar AG: <http://www.lucido-solar.com>

Rennhofer, M.; Berger, K.; Kubicek, B.; Pranjovic, M. (2011). Photovoltaikintegration in eine multifunktionale Fassade. *Proceedings zum 3. Anwenderforum Gebäudeintegrierte Photovoltaik", OTTI, 1 (2011), ISBN: 978-3-941785-41-0 , S. 47 - 53.*

Rennhofer, M.; Berger, K.; Leidl, R.; Kubicek, B.; Popovac, M.; Gosztonyi, S.; Gerstmann, J.; Prankovic, M.; Wascher, H. and Aichinger, M. (2013). Lichttechnische Bewertung von photovoltaischen Verschattungselementen. *Bauwerkintegrierte Photovoltaik, OTTI e.V. Regensburg, ISBN: 978-3-943891-11-9 , S. 26 - 31.*

Martin, C.L.; Stott, C. (2011). The Future Life Cycle of Intelligent Facades. *Architecture & Sustainable Development - Proceedings- Vol. 1, Band 1 (S. 363-368)*. Louvain-la-Neuve: UCL Press.

Matini, M.-R. (2007). *Biogame Konstruktionen in der Architektur auf der Basis bionischer Prinzipien*. Dissertation, Universität Stuttgart.

McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: remaking the way we make things*. New York: North Point Press.

MPPF. (2008-2013). MPPF – Multifunctional Plug & Play Facade. K-Projekte COMET.

Mueller, W.E.G., Wendt, K., Geppert, C., Wiens, M., Reiber, A., Schröder, H.C. (2006). Novel photoreception system in sponges? Unique transmission properties of the stalk spicules from the hexactinellid *Hyalonema sieboldi*. *Journal of Biosensors and Bioelectronics 21* , 1149-1155.

Mueller, W.E.G., Wang, X., Zeng, L., Schroeder, H.C. (2007). Phylogenetic position of sponges in early metazoan evolution and bionic applications of siliceous sponge spicules. *Chinese Science Bulletin, Bd. 52* , 1372-1381.

Nachtigall, W. (2003). *Bau-Bionik, Natur - Analogien - Technik*. Springer Verlag.

Nachtigall, W.; Pohl, G. (Hrsg). (Erscheinungsdatum 2013). *Bau-Bionik, Natur – Analogien – Technik*, 2. Auflage. Springer Verlag.

Natur & Lehm. (2012). Abgerufen am 05. 07 2012 von <http://www.lehm.at>

OIB. (Oktober 2011). *OIB-Richtlinie 6 (Neuaufgabe): Energieeinsparung und Wärmeschutz*. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik.

Plattform Zukunft Bau. (18. 01 2010). *Innovationsförderung für die Bauwirtschaft*. Von <http://www.zukunftbau.ch> abgerufen

Preisler, A., Schneider, U., Pol, O., & Gosztonyi, S. (2012). *FUTUREbase - Verbindung innovativer Strategien und Technologien zu einem ganzheitlichen, ressourcenschonenden Plusenergiegebäude*. Wien: Forschungsprojekt im Rahmen des Programms "Haus der Zukunft Plus", gefördert durch BMVIT.

Rassart, M., Colomer, J. F., Tabarrant, T., Vigneron, J. P. (2008). Diffractive hydrochromic effect in the cuticle of the hercules beetle *Dynastes Hercules*. *New Journal of Physics*, 10. doi: 10.1088/1367-2630/10/3/033014 .

Rassart, M., Simonis, P., Bay, A., Deparis, O., Vigneron, J. P. (2009). Scale coloration change following water absorption in the beetle *Hoplia coerulea* (Coleoptera). *Physical Review E*, 80(3, part 1). doi: 10.1103/PhysRevE.80.031910 .

Ritter A. (2007). *Smart Materials in Architektur, Innenarchitektur und Design*. Basel: Birkhäuser Verlag für Architektur.

SARA/EU/TREN/FP6, 2004-2008. (17. 10 2008). *SARA - Sustainable Architecture applied to Replicable public Access buildings*. Von <http://www.sara-project.net> abgerufen

Schittich, C. (Hrsg.). (2006). *Im Detail: Gebäudehüllen, 2. Auflage*. Birkhäuser, Edition Detail.

Schleicher, S., Lienhard, J., Poppinga, S., Speck, T., Knippers, J. (2010). Abstraction of bio-inspired curved-line folding patterns for elastic foils and membranes in architecture. C. A. Brebbia (ed.), *Design and Nature V*, WIT Press, Southampton , 479-489.

Sempergreen®. (2012). Abgerufen am 05. 07 2012 von Sempergreen: <http://www.sempergreen.com>

Solar Energy and Architecture. (2012). Abgerufen am 05. 07 2012 von IEA SHC Task 41: IEA SHC Task 41: <http://www.iea-shc.org/task41>

Staub, G.; Dörrhofer, A.; Rosenthal, M. (2008). *Components and Systems - Modular construction: design, structure, new technologies* (Detail Ausg.). Birkhäuser.

Stock M. und Stock, W.G. (2003). Web of Knowledge. Wissenschaftliche Artikel, Patente und deren Zitationen. *Der Wissenschaftsmarkt im Fokus. Password. Vol. 10* , 30–37.

Strauß, H. (2013). AM Envelope, The potential of Additive Manufacturing for façade construction. In *Architecture and the Build Environment #01/2013*. Delft University of Technology.

Stricker, H. M. (2006): *Bionik in der Produktentwicklung unter der Berücksichtigung menschlichen Verhaltens*. München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 63). Zugl. München: TU, Diss. 2006.

Strohhaus S-House. (2012). Abgerufen am 05. 07 2012 von GrAT, TU Wien: <http://www.s-house.at>

System Fassadengarten. (2012). Abgerufen am 05. 07 2012 von Optigrün International AG: <http://www.optigruen.de/Planungshilfen/Fassadengarten.html>

- System Vertigreen*. (2012). Abgerufen am 05. 07 2012 von ZinCo: <http://www.zinco.de>
- System Vertiko*. (2012). Abgerufen am 05. 07 2012 von Vertiko GmbH: <http://www.vertiko-gmbh.de>
- TEmotion Fassade*. (2012). Abgerufen am 05. 07 2012 von Hydro Building Systems, Wicona: <http://www.wicona.at/de/Produkte/Fassaden/Autarke-Fassade/>
- VDI (2013). *Bionik – Architektur, Ingenieurbau, Industriedesign* (in Vorbereitung). VDI Richtlinie: VDI 6226. Berlin: Beuth Verlag.
- VDI (2012). *Bionik - Konzeption und Strategie - Abgrenzung zwischen bionischen und konventionellen Verfahren/Produkten*. VDI Richtlinie: VDI 6220, Blatt 1, Berlin: Beuth Verlag.
- Vincent Julian F.V. et al. (2006). Biomimetics – its practice and theory. *Journal of the Royal Society Interface* .
- Watts, A. (2011). *Modern Construction Envelopes*. Wien: Springer.
- Wibke, T. (2009). Soziale Nachhaltigkeit von Gebäuden und Bauprozessen. In I. GmbH (Hrsg.), *Kongress Nachhaltig Bauen und Bewerten - vom Energie zum Nachhaltigkeitsausweis*, (S. S.49-54). Messezentrum Wien.
- Wind, G., & Heschl, C. (2008). Graue Energie – ein wesentlicher Faktor zur Energieoptimierung von Gebäuden. *E-nova2008, Internationaler Kongress: Intelligente Gebäude – Responsive Buildings and Elements*.
- Wirth, S. (2011, 2012). „Zukunft Bauen 2011 und 2012“ - Befragungen von Bauexperten zu Gebäudekonzepten und anderen Zukunftsfragen durchgeführt jeweils im Jänner und Feber 2011/2012. Wien: Fachverband der Stein- und keramischen Industrie, Geschäftsstelle Bau, klima:aktiv.
- Zitzler, U. (17. 11 2008). *Licht im Schwamm - Schwämme haben die ersten Glas-Lichtleiter erfunden*. (Pressemitteilung Universität Stuttgart) Abgerufen am 17. 07 2010 von <http://idw-online.de/de/news289131>
- Zitzler, U. (2008). Licht im Schwamm - Schwämme haben die ersten Glas-Lichtleiter erfunden. *Pressemitteilung Universität Stuttgart, 17.11.2008 [download: <http://idw-online.de/de/news289131>, 17.07.2010]* .

Abbildungsverzeichnis

Alle Abbildungen ohne ausdrückliche Nennung der Quellen sind eigene Darstellungen im Rahmen des Projekts bzw. aus der Dissertation von Susanne Gosztonyi.

Abbildung 1: BioSkin Leitmotiv – Analogieforschung für Fassaden der Zukunft.....	13
Abbildung 2: Projektablauf in BioSkin basierend auf dem Top-Down Ansatz in der Bionik ...	16
Abbildung 3: KING-Workshop, Hightech-Fassaden der Zukunft, 27.3.2008.....	19
Abbildung 4: Energetische Anforderungen an die Gebäudehülle [Broschüre MA 27, 2007]..	22
Abbildung 5: Multifunktionsfassade oder integrale Fassade	25
Abbildung 6: Herausforderungen künftiger Multifunktionsfassaden	29
Abbildung 7: BioSkin Prozess (Top-Down Ansatz)	32
Abbildung 8: Vorgehensweise in BioSkin (Top-Down Prozess).....	39
Abbildung 9: Gegenüberstellung von Vision und Status-Quo in Phase 1	41
Abbildung 10: Erhebung von Ideen für Fassaden der Zukunft (Visionserhebung).....	46
Abbildung 11: BioSkin, Phase 1: Energetisch relevante Anforderungen	48
Abbildung 12: Analogiesuche in der Biologie und Übertragbarkeit der Prinzipien	54
Abbildung 13: Beispiel eines biologisches Kenndatenblattes [P. Gruber, transarch].....	65
Abbildung 14: Gegenüberstellung Konzeptentwicklung und wissenschaftlicher Analyse	67
Abbildung 15: Auszug aus morphologischer Kasten (Tethya aurantium) [S. Richter, AIT]	70
Abbildung 16: Auszug, Aufbereitung Funktionsprinzipien der selektierten Organismen.....	71
Abbildung 17: BioSkin Creative Cards [S. Richter, S. Gosztonyi, P. Gruber]	72
Abbildung 18: BioSkin Entwurfsablauf	72
Abbildung 19: Beispiel Entwurfskonzept zu Tageslichtnutzung [S. Richter, AIT].....	73
Abbildung 20: Grundriss Regelgeschosse mit fünf Zonen [S. Gosztonyi, M. Brychta, AIT] ...	77
Abbildung 21: Visualisierung der Referenzmodelle [S. Gosztonyi, M. Brychta, AIT]	77
Abbildung 22: Wandaufbauten des Typs 1 ‚MEE‘	77
Abbildung 23: Deckenaufbauten des des Typs 1 ‚MEE‘	78
Abbildung 24: Wandaufbauten des Typs 2 ‚NEE‘	79
Abbildung 25: Deckenaufbauten des Typs 1 ‚NEE‘.....	80
Abbildung 26: Zeitprofil Nutzung [M.Brychta, AIT]	83
Abbildung 27: Analyse Außentemperatur (VIE) [M.Brychta, AIT].....	84
Abbildung 28: Analyse Tagesmittelwerte Außentemperatur (VIE) [M.Brychta, AIT]	84
Abbildung 29: Analyse Feuchte (VIE) [M.Brychta, AIT].....	84
Abbildung 30: Analyse Globalstrahlung (VIE) [M.Brychta, AIT]	85
Abbildung 31: Analyse monatliche Strahlungssummen (VIE) [M.Brychta, AIT]	85
Abbildung 32: Analyse Temperatur/ Feuchte (VIE) [M.Brychta, AIT]	86
Abbildung 33: Analyse Außentemperatur (SIN) [M.Brychta, AIT]	87
Abbildung 34: Analyse Tagesmittelwerte Außentemperatur (SIN) [M.Brychta, AIT]	87
Abbildung 35: Analyse Feuchte (SIN) [M.Brychta, AIT]	88
Abbildung 36: Analyse Globalstrahlung (SIN) [M.Brychta, AIT]	88
Abbildung 37: Analyse monatliche Strahlungssummen (SIN) [M.Brychta, AIT]	88
Abbildung 38: Analyse Temperatur/ Feuchte (SIN) [M.Brychta, AIT].....	89
Abbildung 39: Problematik bei Bestandsbauten mit Zonen ohne Belichtung.....	90

Abbildung 40: Prinzip der Meerorange (<i>Thethya aurantia</i>) [S. Richter, AIT. Foto Universität Stuttgart, Zoologie (Pressemitteilung Universität Stuttgart, 17.11.2008)].....	92
Abbildung 41: BioSkin Konzeptstudie für Tageslichtnutzung	92
Abbildung 42: Definition der Materialeigenschaften [F. Judex, AIT].....	93
Abbildung 43: Parameterergebnisse mit Variation $w = 0,8 - 0,85$ [F. Judex, AIT].....	95
Abbildung 44: Parameterergebnisse mit Variation $w = 0,9 - 0,95$ [F. Judex, AIT].....	95
Abbildung 45: Beleuchtungsstärke, Büro, Wien, c_a [F. Judex, M, Brychta, AIT].....	97
Abbildung 46: Beleuchtungsstärke, Büro, Wien, c_b [F. Judex, R. Braun, M, Brychta, AIT].....	97
Abbildung 47: Base Case, Büro, Wien, MEE [F. Judex, M, Brychta, AIT].....	98
Abbildung 48: Lichtleitung ($c=54,7$), Büro, Wien, MEE [F. Judex, M, Brychta, AIT].....	98
Abbildung 49: Beleuchtungsstärke, Büro, Singapur, c_a [F. Judex, M, Brychta, AIT]	99
Abbildung 50: Beleuchtungsstärke, Büro, Singapur, c_b [F. Judex, M, Brychta, AIT]	99
Abbildung 51: Base Case, Büro, Singapur [F. Judex, M, Brychta, AIT]	100
Abbildung 52: Lichtleitung ($c=54,7$), Büro, Singapur [F. Judex, M, Brychta, AIT]	100
Abbildung 53: Zusammenfassung Ergebnisse Lichtleitung [F. Judex, M, Brychta, AIT]	101
Abbildung 54: Biologische Vorbilder für Farbanpassung	103
Abbildung 55: BioSkin Konzeptstudie für Farbanpassung	104
Abbildung 56: Wien, <u>NEE</u> , 0 % [M, Brychta, R. Braun, AIT].....	105
Abbildung 57: Wien, <u>MEE</u> , 0 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]	106
Abbildung 58: Singapur, <u>NEE</u> , 0 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]	106
Abbildung 59: Singapur, <u>MEE</u> , 0 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]	107
Abbildung 60: Wien, <u>NEE</u> , 40 % [M, Brychta, R. Braun, AIT].....	107
Abbildung 61: Wien, <u>MEE</u> , 40 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]	108
Abbildung 62: Singapur, <u>NEE</u> , 40 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]	108
Abbildung 63: Singapur, <u>MEE</u> , 40 % [M, Brychta, R. Braun, AIT].....	109
Abbildung 64: Wien, <u>NEE</u> , 80 % [M, Brychta, R. Braun, AIT].....	109
Abbildung 65: Wien, <u>MEE</u> , 80 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]	110
Abbildung 66: Singapur, <u>NEE</u> , 80 % [M, Brychta, R. Braun, AIT]	110
Abbildung 67: Singapur, <u>MEE</u> , 80 % [M, Brychta, R. Braun, AIT].....	111
Abbildung 68: Base Case, Wohnhaus, Wien, NEE [M, Brychta, R. Braun, AIT]	112
Abbildung 69: Farbe angepasst, Wohnhaus, Wien, NEE [M, Brychta, AIT].....	112
Abbildung 70: Base Case (Referenz), Wohnhaus, Singapur, NEE [M, Brychta, AIT]	113
Abbildung 71: Farbe angepasst, Wohnhaus, Singapur, NEE [M, Brychta, AIT].....	113
Abbildung 72: Überschreitungsstunden [F. Judex, M, Brychta, AIT].....	117
Abbildung 73: Aufbereitung der Daten als F& E Katalog	122
Abbildung 74: Übersicht der Teilergebnisse im Projekt BioSkin	123
Abbildung 75: BioSkin Forschungskatalog.....	124
Abbildung 76: BioSkin Online-Plattform – Auszug aus Datenbank	125
Abbildung 77: Web-Auftritt zur Ausstellung „The Committee of Sleep“, MAK, 2013 [taliaYsebastian, http://taliaysebastian.com]	133

TABELLENVERZEICHNIS

Alle Tabellen ohne ausdrückliche Nennung der Quellen sind eigene Darstellungen im Rahmen des Projekts bzw. aus der Dissertation von Susanne Gosztonyi.

Tabelle 1: Herausforderungen an moderne Fassaden.....	23
Tabelle 2: Typologien ausgewählter multifunktionaler Fassadensysteme	26
Tabelle 3: Internationales Expert/innenteam im Projekt BioSkin.....	34
Tabelle 4: Ziel-Indikatoren für den Identifikations- und Evaluierungsprozess	35
Tabelle 5: BioSkin Funktionsmatrix – Hauptfunktionen und Subfunktionen (Auszug)	50
Tabelle 6: BioSkin Funktionsmatrix (Auszug) – Kategorie Licht.....	51
Tabelle 7: Funktionsvergleich: Natur und Architektur [P. Gruber, transarch]	56
Tabelle 8: Aspekte Biologie und architektonische Analogie [P. Gruber, transarch]	57
Tabelle 9: "Biologised Questions" [P. Gruber, transarch].....	58
Tabelle 10: BioSkin Selektionsprozess	61
Tabelle 11: Mehrdimensionale Matrix (Morphologischer Kasten) [S. Richter, AIT].....	69
Tabelle 12: Liste der bionischen Entwürfe in BioSkin	73
Tabelle 13: Wärmelasten in W/m ² [M. Byrchta, AIT]	83
Tabelle 14: Auszug biologischer Prinzipien und Vorbilder zur Hauptfunktion ‚Tageslicht‘	91
Tabelle 15: Auszug biologischer Prinzipien und Vorbilder zur Hauptfunktion ‚Kühlung‘	102
Tabelle 16: Liste von erfolgten Verbreitungsaktivitäten	126

8 Anhang

1_1	Funktionsmatrix – Anforderungsprofile mit energetisch relevanten Zielkriterien [functional data base]
2_1	Literaturverzeichnis zu Architektur und Bionik - Zusammenstellung Referenzen
2_2	Vorbilder aus der Natur - Liste vielversprechender Prinzipien und Potenziale auf Basis biologischer Material/Systemlogik mit Bewertungen [biological data base, Teil 1]
2_3	Biologische Kenndatenblätter - Beschreibung der Phänomene inkl. der wirksamen Prinzipien und Referenzen der selektierten Vorbilder [biological data base, Teil 2]
3_1	Dokumentation der Entwurfsarbeiten in BioSkin zur Entwicklung von Grundmodellen
	Online-Plattform BioSkin: www.bionicfacades.net