

Publizierbarer Endbericht FUTUREbase

Anhang 01 – Masterthesis
Technologiescreening

MASTER THESIS

zur Erlangung des akademischen Grades

„Master of Science in Engineering“

im Studiengang Urbane Erneuerbare Energiesysteme

Arbeitstitel

Erstellung einer Bewertungsmatrix derzeitiger Einsetzbarkeit innovativer Technologien und Strategien für die FUTUREbase

ausgeführt von Mag. Günther Moser
1220 Wien, Siebeckstrasse 2a/30

1. BegutachterIn: Anita Preisler MSc
 2. BegutachterIn: DIⁱⁿ Susanne Gosztanyi
- Wien, 27. Mai 2011

Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.“

Wien, am 20. Mai 2011

Ort, Wien

Unterschrift

Kurzfassung

Gebäude verbrauchen global gesehen ca. 44 % der Gesamtprimärenergie und zählen damit neben Verkehr, Industrie und Landwirtschaft zu den größten CO₂ Emittenten und somit zu den wichtigsten Verursachern des Klimawandels. Ökologische, ökonomische und politische Gründe sprechen dafür, den Energieverbrauch von Gebäuden zu verringern. In dieser Arbeit sollen acht Technologien für ein konkretes Bauvorhaben (FUTUREbase) in Wien Floridsdorf untersucht und die Ergebnisse in einer Bewertungsmatrix dargestellt werden. Erklärtes Ziel ist, dass die FUTUREbase den Status eines Plusenergiegebäudes erreicht.

Untersucht werden Technologien und Strategien für natürliche Lüftung, multifunktionale Fassadensysteme, Einbindung von Kleinwindkraftanlagen, Pflanzeneinbindung zur Raumluftbefeuchtung, zentrale IT-Lösungen zur Verringerung der internen Lasten, wetterprognosegesteuerte Regelung und bodengebundene Kühlsysteme. Weiters soll ein Ausblick auf bionische Ansätze für Fassaden angeboten werden. Die Recherchen haben gezeigt, dass Technologien für natürliche Lüftung ein hohes Einsparpotenzial aufweisen. Mechanische Lüftungssysteme zählen zu den größten Energieverbrauchern eines Gebäudes. Vor allem in den Übergangszeiten könnte auf mechanische Lüftung gänzlich verzichtet und so nahezu die Hälfte der Lüftungsenergie eingespart werden. Multifunktionale Fassadensysteme können verschiedene Aufgaben erfüllen, zB Energieerzeugung (PV, Solarthermie), natürliche Lüftung (Klappen, Fenster), mechanische Lüftung (dezentral) oder Verschattung. Energieeinsparpotenziale sind lediglich bei natürlicher Lüftung und Verschattung gegeben. Dezentrale mechanische Lüftung scheint aufgrund höheren Energieverbrauches und hohen Wartungsaufwandes keine sinnvolle Technologie für die FUTUREbase zu sein. Bei Kleinwindkraft muss darauf geachtet werden, dass Photovoltaikflächen auf der FUTUREbase oder ENERGYbase nicht verschattet werden und es weder zu Vibrationen, Lichtflackern oder Geräuschentwicklungen kommt, die die Nutzer der umliegenden Gebäude stören könnten. Raumluftbefeuchtung durch Pflanzeneinbindung ist durch verschiedene Lösungen möglich, zum einen können zentrale Pflanzenpuffer als Feuchtegeneratoren dienen zu anderen kann einfache Innenraumbegrünung durchgeführt werden. Pflanzenpuffer benötigen hohen Ventilationsaufwand, was sich negativ auf die Energiebilanz auswirken könnte. Sie sind allerdings im Vergleich zu Innenraumbegrünung leichter steuer- und regulierbar. Zentrale IT-Lösungen mit Thin Clients oder Notebook-Systeme können bis zu 72 % des Wärmeeintrags in die Büros einsparen helfen. Thin Clients können nicht überall angewendet werden, dies stellt allerdings in so ferne kein großes Problem dar, da Mischlösungen mit PCs, Notebooks und Thin Clients durchaus üblich und technisch unproblematisch sind. Wetterprognosegesteuerte Regelung stellt ein äußerst komplexes System verschiedenster Disziplinen dar, da meteorologische Daten, Software, Haustechnik, Simulation und Gebäudeleitsystem aufeinander treffen und aufeinander abgestimmt werden müssen. Zur hohen Komplexität kommt noch hinzu, dass lediglich bei

schwerer Bauweise und relativ inflexiblen Verschattungssystemen ein begrenztes Energieeinsparpotenzial besteht. Unter bodengebundener Kühlung im engeren Sinn werden in dieser Arbeit Green Roofs und Vegetation um das Gebäude verstanden. Beide Ansätze verbessern das Mikroklima um das Gebäude und können helfen, Kühlenergie einzusparen. Für die FUTUREbase wird die Anlage intensiver Vegetation aufgrund von Platzmangel nicht möglich sein. Green Roofs stehen in Platzkonkurrenz mit etwaigen Photovoltaikmodulen, die für die Energieerzeugung benötigt werden.

Im Gebäudebereich gibt es bisher kaum marktfähige Produkte, die der Bionik entsprungen sind. In dieser Arbeit sollen Forschungsfelder aufgezeigt werden, die zurzeit von Universitäten oder anderen Organisationen bearbeitet werden, die zukünftig zu von der Natur inspirierten Produkten führen könnten.

Die Bewertungsmatrix zu guter Letzt soll die Eignung der verschiedenen Technologien für die FUTUREbase dokumentieren. Als Bewertungskriterien werden das Energieerzeugungspotenzial, das Energieeinsparpotenzial, die Umsetzbarkeit für die FUTUREbase, die Multiplikationsfähigkeit der Technologie und die Einfachheit des Systems herangezogen. Dabei wird im Hinblick auf den Technologiefokus auf Energie für die Kriterien Energieerzeugung und Energieeinsparpotenzial die doppelte Punktezahl vergeben.

Die Bewertungsmatrix zeigt deutlich, dass vor allem von den untersuchten Technologien der Einsatz von natürlicher Lüftung und zentrale IT-Lösungen das Potenzial besitzen, einen wesentlichen Beitrag dafür zu leisten, dass die FUTUREbase den Status eines Plusenergiegebäudes erreichen kann. Die Technologie mit dem geringsten Potenzial stellt die prognosegesteuerte Regelung dar.

Schlagwörter: Energieeffizienz, Gebäude, natürliche Lüftung, multifunktionale Fassaden, Kleinwindkraft, Pflanzen zur Raumluftbefeuchtung, zentrale IT-Lösungen, Prädiktive Regelung, bodengebundene Kühlsysteme

Abstract

Buildings account for approx. 44 % of the total consumption of primary energy and belong together with traffic, industry and agriculture to the largest CO₂ emission sources globally. Therefore buildings contribute considerably to the green house effect. There are ecological, economical and political reasons for efforts to reduce the energy consumption of buildings. Eight innovative technologies shall be described and assessed in this paper for a current building project in Vienna. The results are summarized in an evaluation matrix. The real estate called FUTUREbase is supposed to be a plus energy building.

Discussed technologies are natural ventilation, multifunctional facade systems, urban wind energy, plants for humidification of the in-room air, central IT-solutions to minimize internal heat gains, predictive control and soil cooling. Furthermore an outlook in biomimetics of energy related research or projects in this field should be discussed.

Research showed that natural ventilation has a significant energy savings potential. Mechanical ventilation accounts for a large amount of the energy consumed in a building, with natural ventilation during seasonal transition periods (spring and autumn) almost the half of the energy for ventilation could be saved. Multifunctional facades can fulfill a number of tasks, e.g. production of energy (PV, solar heat), natural ventilation (shutter or windows), peripheral mechanical ventilation or shading. Energy savings can mainly be gained from natural ventilation or shading. Peripheral mechanical ventilation uses more energy than central one and is very demanding in maintenance and therefore does not seem to be an appropriate solution for the FUTUREbase. If urban wind units are used it has to be considered that neither PV-modules of the FUTUREbase nor those of the ENERGYbase are shaded. Furthermore it must be ensured that there are no vibrations, flickering or noise disturbing users from the neighbouring buildings or from the FUTUREbase itself. There are at least two ways to use plants for humidification of the air in buildings. The first one is to use a plant buffer as it is used in the ENERGYbase, the second one is greening of building (office) space. Plant buffers act as humidity generators which can be easily controlled, however a lot of ventilation is necessary in order to avoid condensation. This fact has a negative impact on the energy balance of a building. Central IT-solutions with thin clients or notebook systems can save up to 72 % of heat gains through IT-devices in offices saving a lot of cooling energy. Thin clients are not applicable for every task, however, this is not a big issue because mixed solutions of thin clients, PCs and notebooks are common practise. Predictive control represents a very complex system with a variety of disciplines. Meteorology, software, building equipment, simulation technology and building management system need to be integrated into one control system. Given the very complex systems the expected energy savings are quite limited, only for heavy building technique and buildings with inflexible adjustable shading systems a modest energy savings potential is given. In this paper soil cooling in the narrower sense is described as vegetation zones around a building or as green roofs. These measures do have an impact on the microclimate of the surroundings of a building. In case PV modules

are used on the top of the building green roofs can not be applied because the space is needed. At the location of the FUTUREbase there is not much space left for vegetation zones. If it comes to buildings there is not much products which were derived from biomimicry. This paper should offer an outlook in which areas research is ongoing and for which application nature inspired products could be available in the future.

The evaluation matrix at the end of this paper is supposed to show which technology could be suitable for the construction of the FUTUREbase. Assessment criteria are the potential for energy production, the potential for energy savings, the feasibility for the FUTUREbase, the ability for applying the technology to other projects and the simplicity of a technology. Given the energy focus of this paper the criteria energy production and energy savings can be awarded with doubled points.

The evaluation matrix clearly shows that natural ventilation and central IT-solutions fit best for the FUTUREbase. Especially these two methods can contribute significantly to reaching the goal of creating a plus energy building. The research showed that predictive control is not the technology which should be prioritised because the energy savings potential is limited and complexity is high.

Keywords: energy, energy savings, building, natural ventilation, multifunctional facades, plants for air humidification, central IT-solutions to reduce heat gain, urban wind, predictive control, soil cooling

Danksagung

In Hinblick zu dieser Arbeit gilt mein besonderer Dank meiner Betreuerin Anita Preisler MSc, meiner Firmenbetreuerin DI Susanne Gosztonyi und Dr. Edith Haslinger vom Austrian Institute of Technology, die mir während der Zeit des Verfassens dieser Arbeit mit Rat und Tat geduldig beigestanden haben. Besonderen Dank möchte ich dem Institut für Erneuerbare Energie, vor allem dem Studiengangsleiter DI Hubert Fechner MSc MAS und der Studiengangsassistentin Gabriele Strohmeier aussprechen, die stets für die Studierenden ein offenes Ohr hatten und wo immer möglich Unterstützung angeboten haben.

Bedanken möchte ich mich für das Verständnis meiner Familie und Freunde, denen ich in den letzten beiden Jahren während des berufsbegleitenden Studiums weniger Zeit habe widmen können, als ich mir und sie sich gewünscht hätten. Widmen möchte ich diese Arbeit meinem Vater, der während des Studiums plötzlich und unerwartet vom Leben Abschied nehmen musste und eine unfüllbare Lücke hinterlässt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
1.1	Gebäude und Energieverbrauch	10
1.2	Projekt FUTUREbase	10
2	Zielsetzung	15
3	Methodik	16
4	Technologien	18
4.1	Natürliche Lüftung	18
4.1.1	Vor- und Nachteile zu Standardlösungen	23
4.1.2	Technische Einsatzgrenzen	24
4.1.3	Umsetzbarkeit im Bauprozess	25
4.1.4	Auswirkung auf die Energiebilanz	25
4.2	Multifunktion Fassadensysteme	26
4.2.1	Vor- und Nachteile zu Standardlösungen	28
4.2.2	Technische Einsatzgrenzen	28
4.2.3	Umsetzbarkeit im Bauprozess	29
4.2.4	Auswirkung auf die Energiebilanz	29
4.3	Einbindung von Kleinwindkraftanlagen	30
4.3.1	Klassifizierung von Kleinwindkraftanlagen	30
4.3.2	Grundlagen für Nutzung von Windkraft	31
4.3.3	Vor- und Nachteile für den Einsatz von KWKA	36
4.3.4	Technische Einsatzgrenzen	37
4.3.5	Umsetzbarkeit im Bauprozess	39
4.3.6	Auswirkung auf die Energiebilanz	41
4.4	Pflanzeneinbindung zur Raumluftbefeuchtung	42
4.4.1	Vor- und Nachteile zu Standardlösungen	44
4.4.2	Technische Einsatzgrenzen	47
4.4.3	Umsetzung im Bauprozess	47
4.4.4	Auswirkung auf die Energiebilanz	47
4.5	Zentrale IT-Lösungen zur Verringerung der internen Lasten	49
4.5.1	Vor- und Nachteile zu Standardlösungen	51
4.5.2	Technische Einsatzgrenzen	54

4.5.3	Umsetzbarkeit im Bauprozess	55
4.5.4	Auswirkung auf die Energiebilanz	55
4.6	Wetterprognosegesteuerte Regelung	58
4.6.1	Vor- und Nachteile zu Standardlösungen	64
4.6.2	Technische Einsatzgrenzen	64
4.6.3	Umsetzbarkeit im Bauprozess	65
4.6.4	Auswirkung auf die Energiebilanz	65
4.7	Bodengebundene Kühlsysteme (Soil Cooling)	66
4.7.1	Vor- und Nachteile	68
4.7.2	Technische Einsatzgrenzen	68
4.7.3	Umsetzung im Bauprozess	69
4.7.4	Auswirkung auf die Energiebilanz	70
4.8	Ausblick für bionische Konzepte für Gebäude	71
4.8.1	Forschung an bionischen Strukturen	72
4.8.2	Forschung an bionischen Materialien	74
4.8.3	Forschung an bionischen Funktionen	75
5	Bewertung der Technologien	78
5.1	Bewertungsmatrix	78
5.2	Beschreibungsmatrix	80
6	Schluss	88
	Literaturverzeichnis	91
	Relevante Links	94
	Abbildungsverzeichnis	95
	Tabellenverzeichnis	96
	Abkürzungsverzeichnis	97

1 Einleitung

1.1 Gebäude und Energieverbrauch

Gebäude sind heute zu ca. 44 % für den Gesamtprimärenergieverbrauch verantwortlich. Ein Grossteil davon, nämlich 70 % geht in die Raumwärme, gefolgt von der Warmwasserbereitung, die mit fünf Prozent des Gesamtprimärenergieverbrauches zu Buche schlägt, Beleuchtung und sonstiger Stromverbrauch betragen zwei bzw. fünf Prozent [vgl. Eicker 2001, S. 15]. Damit zählen Gebäude neben Verkehr, Industrie und Landwirtschaft zu den größten Emittenten von CO₂ und tragen wesentlich zur Verstärkung des Treibhauseffektes und der einhergehenden Klimaerwärmung bei. Neben diesen ökologischen Problemen kommen ökonomische Herausforderungen hinzu; die Energiepreise sind in den letzten Jahren deutlich über der Inflationsrate gestiegen, zeigten sich sehr volatil und damit schwer planbar. Hinzu kommt noch die Energieabhängigkeit von Ländern in politisch instabilen Regionen, die die Energieversorgungssicherheit gefährdet. Es ist also aus ökologischen, ökonomischen und politischen Gründen notwendig, einen energetischen Wandel herbeizuführen.

In den letzten Jahren ist es gelungen, den Energiebedarf für Raumwärme durch Isolierungen, neue Verglasungs- und Fenstertechnologien und moderne Lüftungsanlagen kontinuierlich zu reduzieren. Bei Neubauten mit geringem Heizwärmebedarf und vor allem bei Bürogebäuden mit hohem technischen Installationsgrad dominiert mehr und mehr der sonstige Energieverbrauch in Form von Klimatisierung, Lüftung, IT-Anwendungen, Kraft und Beleuchtung. Vor allem in diesem Bereich können erneuerbare Energieträger und innovative Technologien zur Energieeffizienzsteigerung beitragen, CO₂ einzusparen und den Gesamtenergieverbrauch zu senken. Einige neue Technologien sollen anhand eines konkret geplanten Bürogebäudes, der FUTUREbase in Wien, in dieser Arbeit näher beleuchtet werden.

1.2 Projekt FUTUREbase

Gegenstand wofür verschiedene Technologien dieser Arbeit beleuchtet werden sollen, ist ein Mehrzweckgebäude, die FUTUREbase, das im Plus-Energie-Standard in Wien Floridsdorf errichtet werden soll. Für den Plus-Energie-Standard gibt es heute noch keine eindeutige Definition. In der Literatur wird ein Plus-Energie-Gebäude meist ein Gebäude auf höchstem Passivhaus-Standard beschrieben, das rein rechnerisch mehr Energie gewinnt, als es verbraucht [vgl. Fechner 2010, S.5]. Zusätzlich ist es mit zahlreichen Photovoltaikzellen zur solaren Stromerzeugung ausgestattet. Weitere Anlagen sind thermische Solarkollektoren, Wärmerückgewinnung oder Erdwärmeübertrager. Diese Definition geht allerdings nicht konkret darauf ein, welcher Energieverbrauch gemeint ist, zB ob nur jene Energie, die für die Gebäudfunktion (Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung) oder die gesamte verbrauchte Energie inklusiver aller Geräte der Nutzer

oder Bewohner abgedeckt werden muss. Einen interessanten Ansatz diesbezüglich hat der Energie-Cluster in der Schweiz gefunden, der drei Kategorien von Plusenergiehäusern unterscheidet.

1. Das Plusenergiehaus 1 ist ein Gebäude, das über das Jahr gerechnet mehr Energie auf dem Grundstück erzeugt, als es einführt. Die erzeugte Energie muss den Energiebedarf von Warmwasser, Heizung, Lüftung, Hilfsenergien sowie den Strom für Licht und Apparate abdecken bzw. übertreffen.
2. Das Plusenergiehaus 2 muss sowohl den oben erwähnten Betriebsstrom als auch die graue Energie über den Lebenszyklus hinweg abdecken.
3. Das Plusenergiehaus 3 muss nach den Anforderungen des Energie-Clusters zu Haushalts- und grauer Energie noch jene Energie erzeugen, die für die Mobilität der Bewohner notwendig ist [vgl. www.energieplattform.ch/ph/definition].



Abbildung 1: Standort FUTUREbase, Quelle: www.googlemaps.com

Das Projektteam der FUTUREbase lehnt sich an die erste Definition an. Wichtig ist, dass die Energie für die Funktionsfähigkeit des Gebäudes durch lokale Energieproduktion abgedeckt (inkl. Fahrstühle und Notfallbeleuchtung) ist. Achtzugeben ist darauf, dass zumindest in Deutschland der Begriff „Plusenergiehaus“ rechtlich geschützt ist.

Als Projektträger für die FUTUREbase fungiert der Wiener Wirtschaftsförderungsfonds / WWFF Business and Service Center GmbH. Projektpartner sind das Austrian Institute of Technology und das Architektenbüro pos-architekten. Unter dieser Konstellation wurde bereits das Projekt ENERGYbase erfolgreich entwickelt und umgesetzt. Der geplante Standort liegt in einem neu aufgeschlossenen Gebiet in Wien im 21. Bezirk. Abbildung 1 zeigt die Position des Gebäudes, es liegt südlich der ENERGYbase, nördlich der TECHbase und östlich von Hallen der Firma Siemens. Die FUTUREbase wird sechs Stockwerke hoch sein und laut aktuellen Entwürfen eine Nutzfläche von insgesamt 13.068 m² aufweisen. Im Erdgeschoß sind Gewerbeflächen mit Labors von ca. 3.100 m² geplant, im 1. Obergeschoß soll ein Restaurant mit ca. 216 m² entstehen. Der größte Anteil der Fläche mit ca. 10.000 m² ist Büros gewidmet, wo zukünftig ca. 680 Personen ihren Arbeitsplatz haben werden. Bei der Planung und Errichtung des Gebäudes ist darauf acht zu geben, dass die Photovoltaikflächen der ENERGYbase nicht verschattet werden.

Das Projekt FUTUREbase verfolgt vier Hauptziele:

1. Evaluierung der derzeitigen Einsetzbarkeit neuer, innovativer Strategien und Technologien entsprechend des aktuellen Kenntnisstandes aus Forschungsvorarbeiten (HDZ, HDZplus, Neue Energien 2020, usw).
2. Weiters sollen Planungs- Bau- und Betriebserfahrungen von Best Practise Beispielen wie ENERGYbase aus Sicht der involvierten Gruppen (Immobilienentwicklung, Architektur, Haustechnik und Facility Management) eingebunden werden.
3. Entwicklung eines Plusenergiegebäudekonzepts mit hohem Multiplikationspotenzial und einer hohen Signalwirkung.
4. Entwicklung eines ökologischen Materialkonzepts über den Lebenszyklus mit Materialminimierungsstrategien und Lebenszykluskostenoptimierung.

Der Standort liegt in einer Seehöhe von 163 m nördlich der Donau in der Giefinggasse (siehe Abbildung 1) im 21. Bezirk in Wien (48°16'09.00"N / 16°25'37.47"O). Um später eine Bewertung der verschiedenen Technologien durchführen zu können, soll kurz auf die klimatischen Verhältnisse am Standort Wien eingegangen werden. Beim Wiener Klima handelt es sich um ein Übergangsklima mit ozeanischen und kontinentalen Einflüssen.

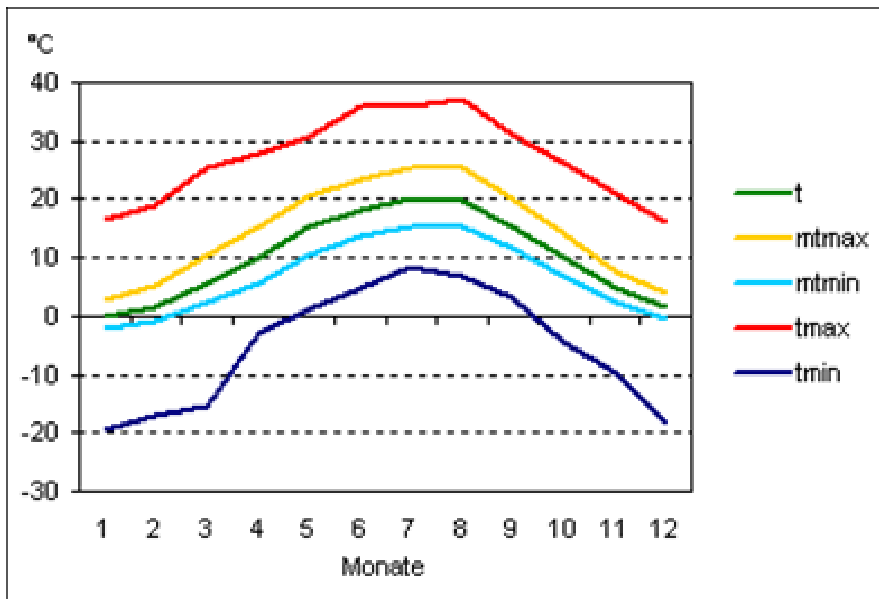


Abbildung 2: Temperaturverläufe in Wien, Hohe Warte (1971 – 2000), Quelle: www.zamg.at

Abbildung 2 zeigt 5 verschiedene Temperaturkurven für den Standort Hohe Warte in Wien, wobei die grüne Linie „t“ die Tagesmitteltemperatur darstellt. Die anderen Werte stellen Minima und Maxima der Temperaturen dar, wobei „mtmax“ und „mtmin“ das Mittel aller täglichen Maxima bzw. Minima beschreibt und „tmax“ bzw. „tmin“ das absolute Temperaturmaximum oder –minimum von 1971 – 2000. Das Wiener Klima zeichnet sich durch kalte Winter und warme Sommer aus. Dies bedeutet, dass im Winter für ein Bürogebäude geheizt und im Sommer auf jeden Fall auch gekühlt werden muss. Für Kühlungs- und Lüftungsanlagen stellt die vorherrschende Luftfeuchtigkeit am Standort des Gebäudes eine wichtige Rolle dar. Deshalb soll auch noch darauf kurz eingegangen werden.

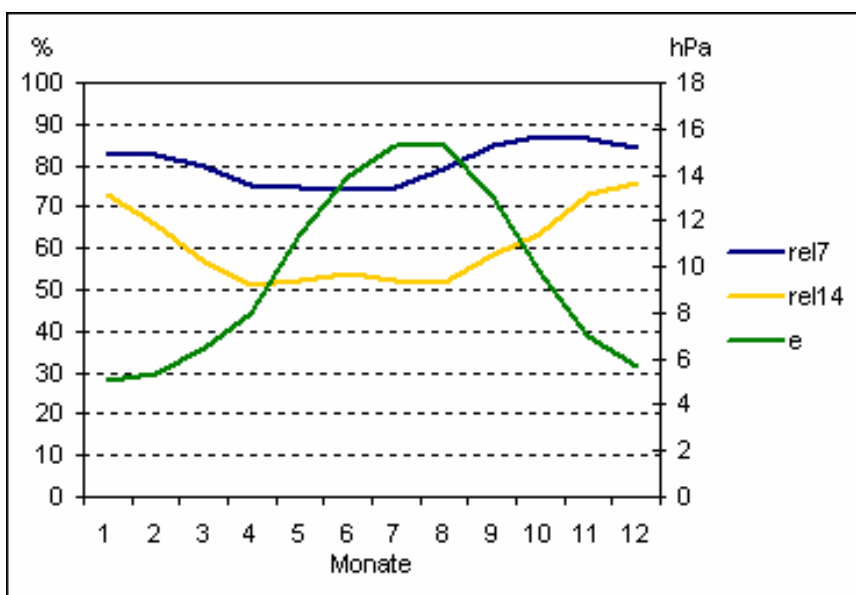


Abbildung 3: Verlauf Luftfeuchtigkeit in Wien, Hohe Warte (1971 – 2000), Quelle: www.zamg.at

Abbildung 3 spiegelt den Verlauf der Luftfeuchtigkeit von Jänner bis Dezember wider, wobei „rel7“ für die Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit um 7 Uhr morgens steht und „rel14“ für die relative Luftfeuchtigkeit um jeweils 14 Uhr. Die Linie „e“ stellt das Dampfdruckmittel aller 7, 14 und 19 Uhr Werte dar. Es ist deutlich zu sehen, dass die relative Luftfeuchtigkeit um 7 Uhr zwischen Jänner und Dezember konstant zwischen 70 und 90 % liegt, der Wert für 14 Uhr hingegen zeigt sich volatil. Liegt im Jänner die relative Luftfeuchte am frühen Nachmittag bei ca. 70 % so sinkt diese ab April bis August auf knapp über 50 %, um ab September bis Dezember wieder auf über 70 % zu steigen.

Um später den Einsatz von Kleinwindkraftanlagen bewerten zu können, muss auf die Windverhältnisse am Standort eingegangen werden. Auf der ENERGYbase befindet sich ein Windmessgerät, das die Windstärke, allerdings nicht die Windrichtung aufzeichnet. Die Daten dafür sind für den Zeitraum vom 1.1.2010 bis 31.12.2011 verfügbar. Die Windgeschwindigkeiten wurden in 5-Minuten-Frequenz gemessen. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit, die am Dach der ENERGYbase gemessen wurde, beträgt 3,4 m/s. Der Höchstwert lag im März 2010 bis 19,84 m/s.

2 Zielsetzung

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist die Erstellung eines Technologiescreenings verschiedener Technologien, das am Ende der Untersuchungen in einer Bewertungsmatrix resultiert, die qualitativ beschreibt, welche von den acht zu untersuchenden Technologien für den Standort der FUTUREbase im 21. Bezirk in Wien für ein Plusenergiegebäude geeignet sind. Diese Bewertungsmatrix soll den Projektpartnern als Entscheidungshilfe dienen, welche Maßnahmen für den Bau der FUTUREbase geeignet sind.

Folgende Technologien oder Strategien sollen dabei näher betrachtet werden:

- Natürliche Lüftung
- Multifunktion Fassadensysteme
- Einbindung von Kleinwindkraftanlagen
- Pflanzeneinbindung zur Raumluftbefeuchtung
- Zentrale IT-Lösungen zur Verringerung der internen Lasten
- Wetterprognosegesteuerte Regelung
- Bodengebundene Kühlsysteme (Soil Cooling)
- Bionische Ansätze für Fassaden

Als Evaluierungskriterien sollen Vor- und Nachteile zu Standardlösungen, technische Einsatzgrenzen, Umsetzbarkeit im Bauprozess, Multiplizierbarkeit, Energieeinsparungspotenzial und Energieerzeugungspotenzial herangezogen werden. Als Bewertungskriterien werden das Energieerzeugungspotenzial, das Energieeinsparpotenzial, die Umsetzbarkeit für die FUTUREbase, die Multiplikationsfähigkeit der Technologie und die Einfachheit des Systems herangezogen.

3 Methodik

Die vorliegende Arbeit stellt ein Arbeitspaket der ersten Phase des Projektes der FUTUREbase dar. Die Resultate sollen dazu dienen, den Projektpartnern pos-architekten, AIT und WWFF darzulegen, welche der acht innovativen vorgestellten Technologien oder Strategien für das zu errichtende Gebäude am Standort Giefinggasse geeignet sein können. Zu den meisten der acht untersuchten Technologien oder Strategien gibt es wenig Literatur in Form von Büchern. Aus diesem Grund werden internationale Forschungs- und Projektberichte oder wissenschaftliche Arbeiten die primären Informationsquellen für diese Arbeit darstellen. Die Technologiekapitel sind folgendermaßen aufgebaut: Zu Beginn sollen die verschiedenen Systeme bzw. Strategien in ihrer Funktionsweise und notwendige Rahmenbedingungen beschrieben werden. Im zweiten Schritt wird auf die Vor- und Nachteile der vorgestellten Technologien gegenüber konventioneller Lösungen eingegangen. Weiters werden technische Einsatzgrenzen, die Umsetzbarkeit im Bauprozess und den Beitrag zur Energiebilanz Bezug nehmend auf den Standort FUTUREbase erläutert. Besonders interessant für das Projektteam sind drei Technologien, auf die detaillierter eingegangen werden soll. Diese sind Einbindung von Kleinwindkraft, Einbindung von Pflanzen zur Raumluftbefeuchtung und prädiktive Regelung.

Anschließend wird eine Bewertungsmatrix erstellt, die die jeweiligen Technologien für den Standort FUTUREbase mittels verschiedener Kriterien bewertet. Als Bewertungskriterien werden das Energieerzeugungspotenzial, das Energieeinsparpotenzial, die Umsetzbarkeit für die FUTUREbase, die Multiplikationsfähigkeit der Technologie und die Einfachheit des Systems herangezogen. Tabelle 1 zeigt, wie die Punkte für die verschiedenen Kriterien vergeben werden. Diese Arbeit soll vor allem die energetischen Faktoren und die Auswirkung auf die Energiebilanz des Gebäudes der einzelnen Technologien eingehen, weshalb für die Kriterien „Energieproduktion“ und „Energieeinsparpotenzial“ im Vergleich zu den drei anderen Faktoren die doppelte mögliche Punktezahl vergeben wird.

Erfüllungsgrad der Kriterien	Energieproduktion	Energieeinsparpotenzial	Umsetzbarkeit am Standort	Multiplizierbarkeit	Einfachheit des Systems
Null	0	0	0	0	0
Gering	2	2	1	1	1
Mittel	4	4	2	2	2
Hoch	6	6	3	3	3

Tabelle 1: Punktesystem für Bewertungskriterien, Quelle: selbst erstellte Tabelle

Nach der Bewertungsmatrix soll eine Beschreibungsmatrix die Gründe für die jeweilige Punktevergabe der verschiedenen Technologien beleuchten. Diese soll vor allem zusammenfassend die Erkenntnisse dieser Arbeit mit Bezug auf die FUTUREbase dienen und einen Überblick der verschiedenen Technologien anbieten.

Voruntersuchungen haben gezeigt, dass es für den Bereich Bionik kaum Produkte auf dem Markt gibt, die tatsächlich eingesetzt werden können. Aus diesem Grund wird für diesen Bereich dieses Kapitel die Struktur anders aussehen. Dort soll gezeigt werden an welchen bionischen Fassadenkonzepten zurzeit geforscht wird. Voruntersuchungen haben gezeigt, dass kaum bionische Produkte für Fassaden auf dem Markt erhältlich sind. Aus diesem Grund werden bionische Technologien nicht in die Bewertungsmatrix mit einfließen.

Auf die Kosten der verschiedenen Technologien soll in dieser Arbeit nicht eingegangen werden. Beschrieben werden sollen lediglich technische und energetische Aspekte der jeweiligen Systeme und Strategien.

4 Technologien

Kapitel 4 stellt das umfangreichste Kapitel dieser Arbeit dar. Die acht beschriebenen Technologien bzw. Strategien werden hier erläutert und auf die Vor- und Nachteile eingegangen. Weiters wird auf technische Einsatzgrenzen, Umsetzbarkeit im Bauprozess und auf den Einfluss auf die Energiebilanz des Gebäudes Bezug genommen.

4.1 Natürliche Lüftung

Heute ist die mechanische Lüftung aufgrund gestiegener Anforderungen an thermischen Komfort und gute Luftqualität in Gebäuden gängige Praxis. Ein Nachteil der mechanischen Lüftung ist der hohe Energieverbrauch, heute werden beinahe 68 % der Gesamtenergie in einem Bauwerk für Heizung, Lüftung und Klimatisierung verwendet. Natürliche oder freie Lüftung ersetzt verbrauchte Raumluft mit frischer Außenluft ohne den Einsatz von Energie, natürlich belüftete Gebäude verbrauchen um ca. 40 % weniger Energie als solche mit mechanischer Lüftung [vgl. Stavrakakis et al 2008, S.1]. Natürliche Lüftung ist nichts Neues, sondern ein thermodynamisches Grundprinzip, das in vielfältiger Weise in der Natur vorkommt, wie zB bei der Belüftung eines Termiten- oder Präriehundbaus.

„Bei den freien Lüftungssystemen erfolgt die Förderung der Luft ausschließlich durch natürliche Druckunterschiede infolge von Temperaturdifferenzen (Auftriebsströmung) oder von Wind (Winddruck, Windströmung, Luv, Lee)“ [Trogisch 2003, S. 55]. Mit steigender Temperatur wird die Dichte der Luft geringer und somit leichter. Diese Dichteunterschiede entstehen im Allgemeinen durch Temperaturunterschiede wie zum Beispiel der Raum- und Außenluft, in benachbarten Räumen, in Schächten oder Kanälen oder in hohen Räumen durch die Änderung der Lufttemperatur in Abhängigkeit von der Raumhöhe [vgl. Trogisch 2003, S. 55]. Ist ein Gebäude Wind ausgesetzt, so bildet sich auf der Anströmseite (Luvseite) Überdruck und auf der Abströmseite Unterdruck. Daraus resultiert sowohl eine Querlüftung als auch eine Überecklüftung in einem Gebäude [vgl. Trogisch 2003, S. 58].

Die Fensterlüftung stellt eine der ältesten Formen der freien Lüftung dar, die dann sinnvoll ist, wenn keine äußere Schadstoffbelastung vorherrscht, der Schallpegel im Raum nicht unzulässig erhöht wird und entsprechende Druckverhältnisse am und im Gebäude vorliegen. Die Wirksamkeit der Fensterlüftung wird vor allem durch die Fensterform und deren Lüftungseffektivität, den effektiven freien Querschnitt und die Höhe des Fensters bzw. der Höhendifferenz zwischen zwei Lüftungsöffnungen bestimmt [vgl. Trogisch 2003, S. 60]. Bei der Fensterlüftung wird zwischen der einseitigen Lüftung und der Querlüftung unterschieden. Einseitige Lüftung besteht dann, wenn in einem Raum ein Fenster geöffnet wird, hier ist eine intensive Durchlüftung des Raums möglich, wenn die Raumtiefe nicht mehr als das Zweifache der Raumhöhe ausmacht. Beträgt die Raumtiefe drei Mal mehr als die Raumhöhe, ist eine eingeschränkte Durchspülung von 60 bis 70 Prozent möglich. Bei

der Querlüftung werden Fenster in gegenüberliegenden oder orthogonal angeordneten Außenwänden geöffnet, der Raum wird dabei vollständig durchspült [vgl. Trogisch 2003, S. 61].

In Bezug auf wie die Fenster geöffnet werden, kann man zwischen manueller und automatischer Fensterlüftung unterscheiden. Bei der manuellen Fensterlüftung werden die Fenster einfach per Hand durch den Nutzer geöffnet. Bei der automatischen Fensterlüftung besteht das System auf einem elektrischen Fensterantrieb, welcher mit einer Lüftungsautomatik ausgestattet ist. Diese kann wahlweise temperatur- und zeitabhängig, manuell mittels Fernbedienung oder mittels CO₂-Sensoren gesteuert werden. Die Steuerungen lassen sich mit einem Elektroinstallationsbus in eine Gebäudeautomation integrieren [vgl. Drusche 2004, S. 83 f].

Interessante Technologien und Strategien im Bereich der freien Lüftung neben der Fensterlüftung sind Windtürme, Solarkamine und Vorhangfassaden (Klimafassaden).

Windtürme oder Bagdirs, wie man sie auf Persisch nennt, werden seit Jahrhunderten in trockenen heißen Regionen des Irans und der Länder am Persischen Golf verwendet, um natürliche Lüftung und passive Kühlung zu gewährleisten. Wind und thermischer Auftrieb ermöglichen die natürliche Lüftung eines des Gebäudes.

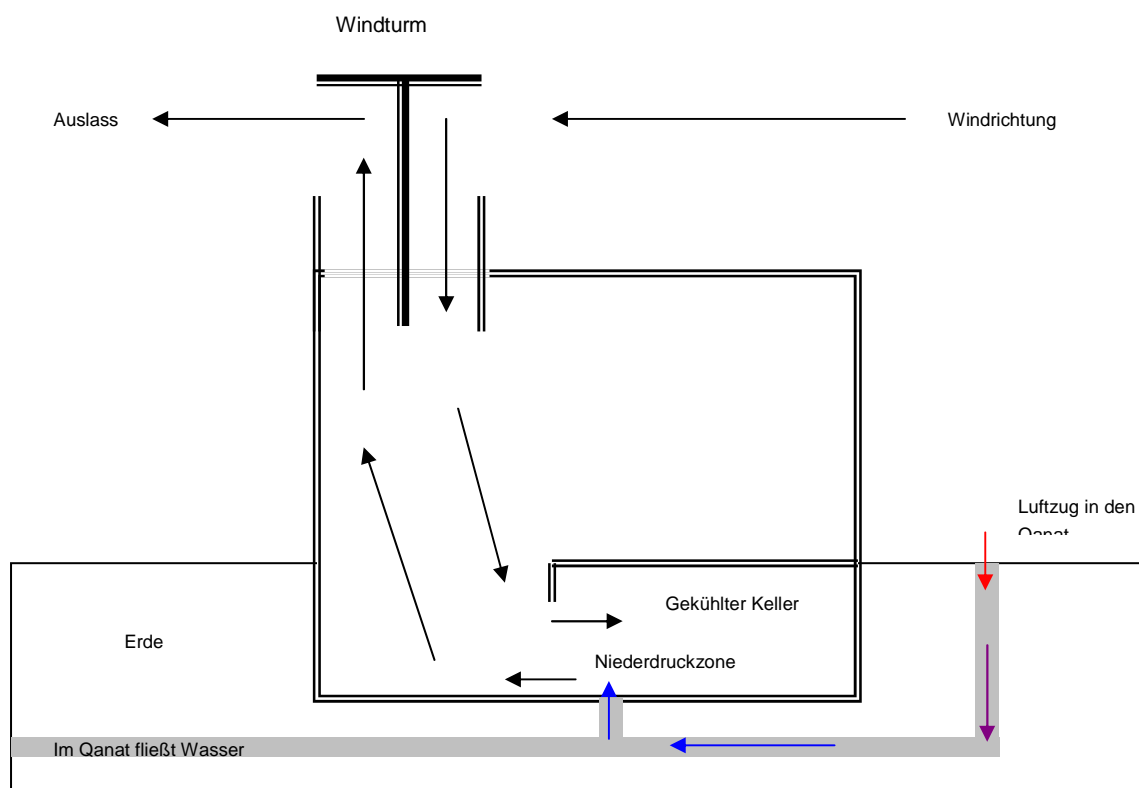


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Windturmes, Quelle: selbst erstellte Grafik

Abbildung 4 zeigt das Funktionsprinzip eines Windturmes, hier noch zusätzlich mit einem Qanat, einem Kanal, mit dessen Hilfe der Luftstrom durch Konvektion und Evaporation gekühlt wird. Frische Luft wird durch den Wind in das Gebäude geblasen, den Bewohnern wird direkt konvektiv und evaporativ Kühlung verschafft. Indirekt kühlt das System derart, dass in der Gebäudestruktur gespeicherte Wärme abtransportiert wird. Die Abluft wird über den Auslass abgeführt [vgl. Montazeri et al 2008, S. 1]. Herrschen innerhalb des Gebäudes höhere Temperaturen als draußen und weht kein Wind, wirkt der Kamineffekt, was vor allem in der Nacht vorkommt. Windeinlass- und auslassöffnungen können manuell geregelt werden. Im Iran gibt es Windtürme mit bis zu zwölf vertikalen Luftschächten.

Solarkamine sind eine Weiterentwicklung von Windtürmen und passive Lüftungssysteme und als solche nicht neu. Es gibt Berichte, wonach diese Technik seit dem 16. Jahrhundert verwendet wird [vgl. Stavrakakis et al 2008, S.1]. Ein Solarkamin hat das Ziel, die Ventilation durch solare Gewinne zu maximieren indem ein genügend großer Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenluft erzeugt wird, um einen genügenden Luftaustausch zu generieren. Speziell an heißen Sommertagen ist der Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenbereich relativ gering. Folglich sind in einem normalen Kamin die thermisch induzierten Druckunterschiede wie oben beschrieben nicht ausreichend, um einen befriedigenden Luftaustausch zu gewährleisten. Durch einen Solarkamin kann ein hinreichender Temperaturunterschied erzeugt werden, indem man solare Strahlung nutzt.

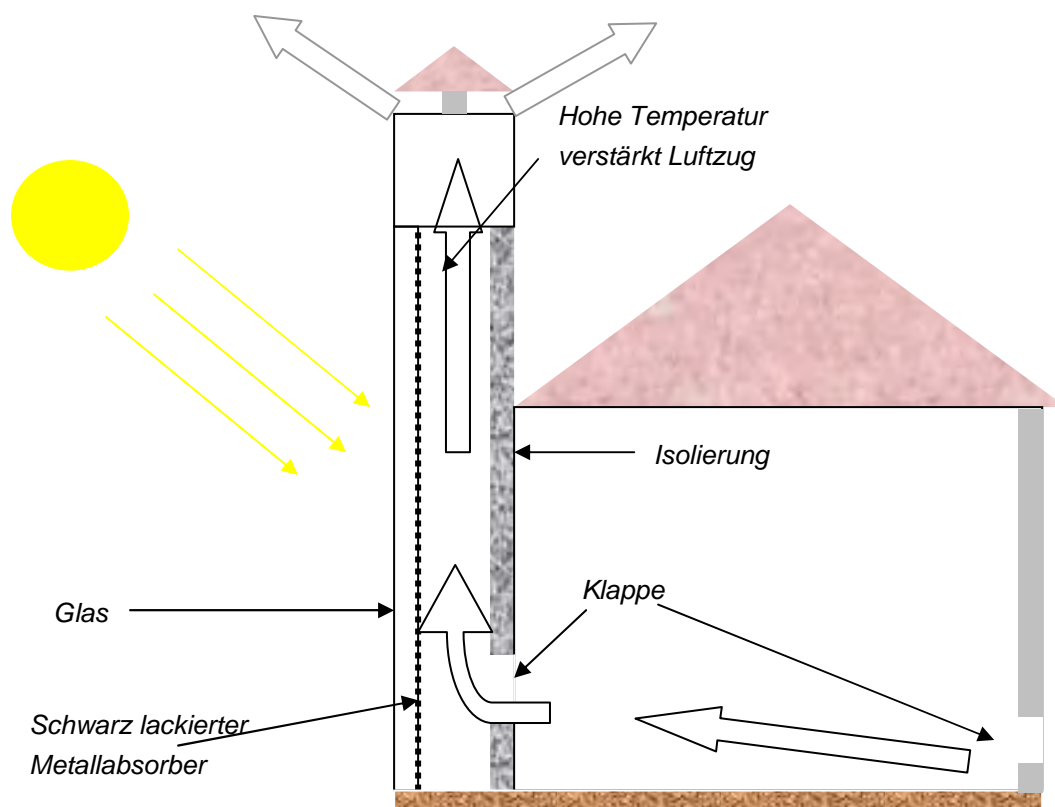


Abbildung 5: Schematische Darstellung eines Solarkamins, Quelle: selbst erstellte Grafik

Dabei wird ein Absorber durch die solare Strahlung weit über die Außentemperatur erwärmt [vgl. Khanal et al. 2011, S.2]. Abbildung 5 zeigt eine schematische Abbildung eines Solarkamins. Die Hauptkomponenten jedes Solarkamins sind der schwarz lackierte Absorber, der Lufteinlass, der Luftausgang und die Verglasung. Ein Solarkamin ist ein thermosyphonischer Luftkanal, dessen Luftstrom hauptsächlich durch thermischen Auftrieb ausgelöst wird. Der schwarz lackierte Absorber wird durch die solare Strahlung so stark erhitzt, dass der Temperaturunterschied zwischen Raum und Solarkamin so stark ist, dass ein Auftrieb erzeugt wird. Dadurch wird Frischluft durch den Lufteinlass angesaugt und ins Rauminnere geführt. Dabei gibt es verschiedene Kamindesigns, die von einer Reihe von Faktoren wie Standort, Klima, Ausrichtung, Größe des zu belüftenden Raumes oder internen Wärmegewinnen abhängig sind [vgl. Khanal et al. 2011, S 2]. Die Recherchen haben gezeigt, dass es viel Forschung und Untersuchungen über Solarkamine gibt. Über tatsächliche umgesetzte Projekte ist allerdings wenig dokumentiert.

Diesbezüglich haben Studenten der Hochschule für Technik Stuttgart im Rahmen des Decathlon Europe Wettbewerbes 2010 einen Energieturm entwickelt, der auf das Prinzip des Solarkamins zurückgreift. Der Solar Decathlon Europa 2010 umfasst verschiedene Aspekte wie Nachhaltigkeit von Architektur, Internationalität, Interdisziplinarität, integralem Planen und Bauen, Teamfähigkeit und Impulsen für die Zukunft der Hochschulen. Beim Solar Decathlon geht es um Ideen- und Formfindung, Konstruktion, Funktion, Technik und Ökonomie und fordert so Studierende zu integriertem Planen auf [vgl. Institut für internationale Architektur-Dokumentation, S. 8 f]. Im Jahr 2010 fand der Wettbewerb in Madrid statt.

Der Energieturm des Teams Stuttgart hat mehrere Funktionen. Zum einen wird die von Wind veranlasste einströmende Luft mittels mit Wasser benetzten Baumwolltüchern befeuchtet und somit gleichzeitig durch adiabate Kühlung abgekühlt. Abbildung 6 zeigt, wie die warme Luft am oberen Ende des Turmes eintritt, durch die Tücher gekühlt wird im Sockelbereich des Turms quellluftartig in den Innenraum getragen wird.

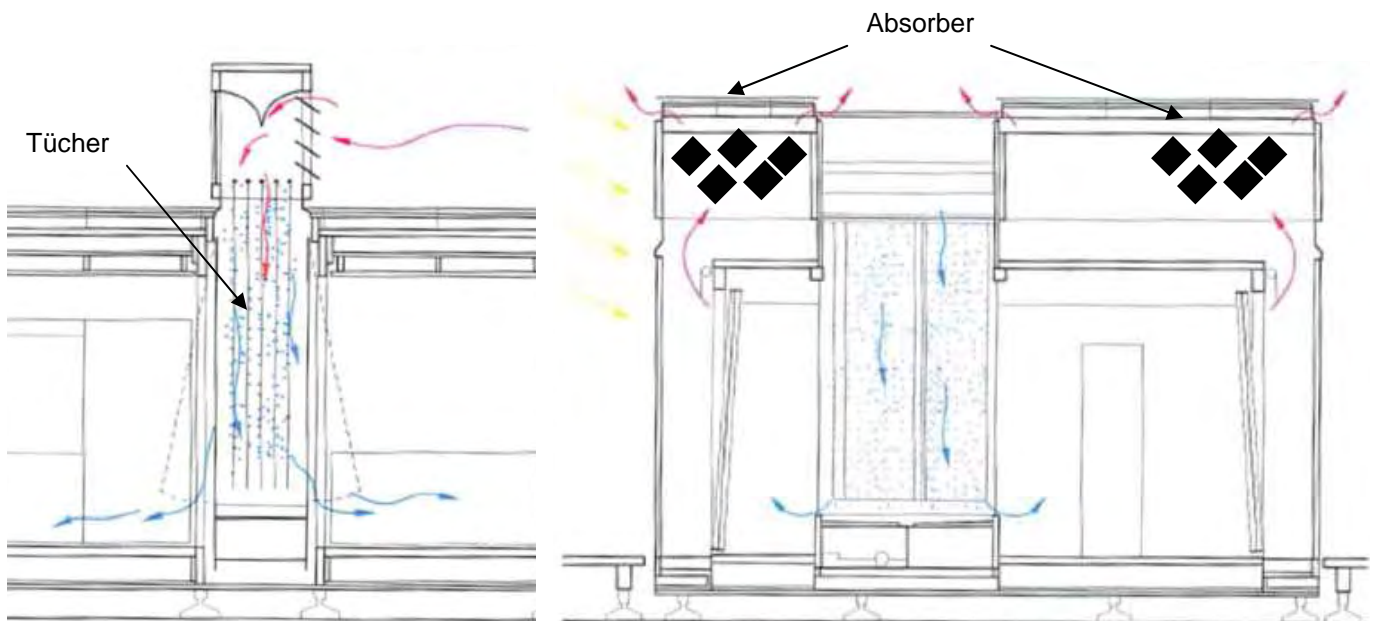


Abbildung 6: Schnitt Haus Team Stuttgart und Energieturm, Quelle: Institut für internationale Architektur-Dokumentation 2011

Die Abluft verlässt das Haus durch die Bereiche im Energieturm, die geöffnet werden können, links und rechts neben dem Wundeintrittsbereich (siehe Abbildung 6, rechte Grafik). Das Prinzip des oben besprochenen Solarkamins unterstützt das System insofern, als dass mobileartig gestaltete Absorberflächen am oberen Ende des Turmes durch solare Einstrahlung aufgeheizt werden und Wärme an die umgebende Luft abgegeben wird. Dadurch entsteht thermischer Auftrieb und somit ein Unterdruck im Gebäude, die Durchströmung der Kamine wird verstärkt und die Funktion des kühlenden Teiles unterstützt. Der Energieturm bringt dann die besten Ergebnisse, wenn die Umgebungstemperaturen nicht zu hoch und die Umgebungsfeuchte niedrig ist. Die relative Feuchte im Raum soll auf 55 % bei 25 °C Raumtemperatur begrenzt werden. Lassen die Außenbedingungen die Nutzung des Energieturmes nicht mehr zu, muss auf die aktiven Systeme ausgewichen werden. Der energetische Beitrag zur Kühlung des Gebäudes im Sommer ist mit 1,1 kWh/m² eher gering, die Nutzung des Energieturms ist aber vor allem in den Übergangszeiten sinnvoll, da dann Kühlung und vor allem Lüftung beinahe ohne Antriebsenergie durchgeführt werden kann [vgl. Institut für internationale Architektur-Dokumentation 2011, S. 67 ff.].

Vorhangfassaden werden in der heutigen Architektur immer öfters angewandt. Dafür gibt es verschiedene Gründe, zum Beispiel dass im städtischen Bereich die Lärmsituation es nicht zulässt, normale Fensterlüftung zu betreiben. Oder aber auch für Hochhäuser, wo versucht wird, den Einfluss von Windkräften zu vermeiden, indem man eine Glasfassade vor dem Gebäude anbringt und somit ermöglicht wird, auch in höheren Stockwerken

Fenster zu öffnen. Ferner sollen die äußere Wärmebelastung im Sommer und die Wärmeverluste im Winter reduziert werden [vgl. Trogisch 2003, S. 68].

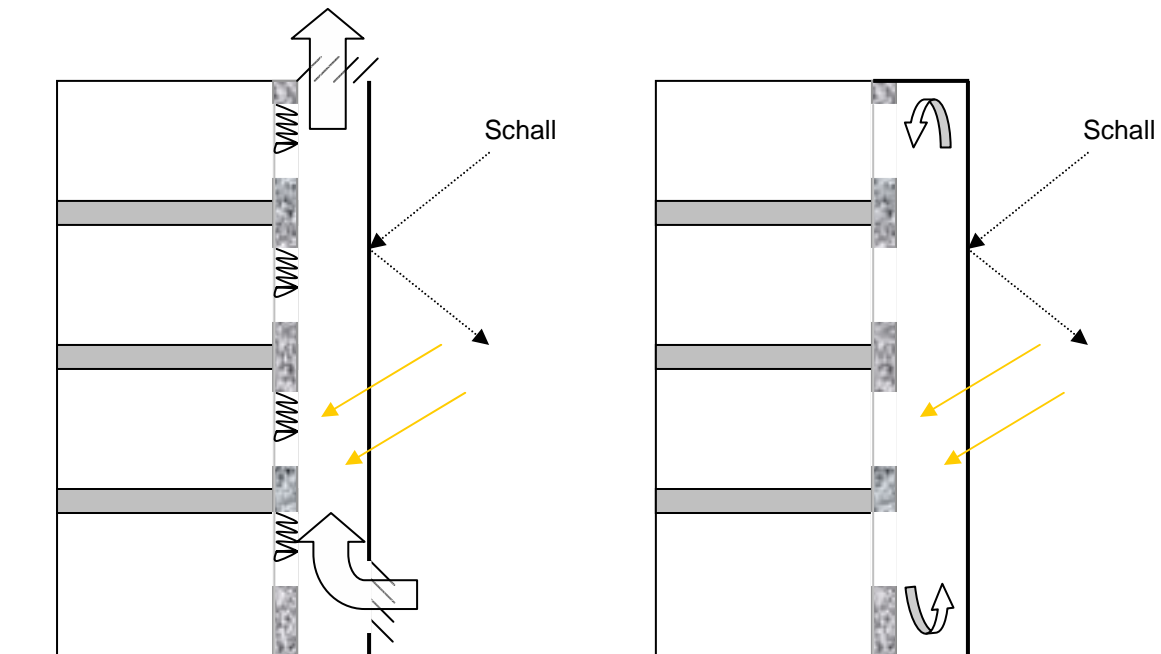


Abbildung 7: Vorgehängte Fassade, Sommer- und Winterbetrieb, Quelle: selbst erstellte Grafik

Abbildung 7 zeigt das Funktionsprinzip einer vorgehängten Fassade im Sommer- und im Winterbetrieb. Im Sommer sind die Lüftungsklappen unten und oben weit geöffnet. Der solare Eintrag erhöht die Spalttemperatur und verstärkt den thermischen Auftrieb. Die Fenster sollen während des Tages geschlossen bleiben, ein äußerer Sonnenschutz verhindert Strahlungsbelastung der Räume. Im Winterbetrieb sind die Lüftungsklappen unten und oben geschlossen. Der Solar Eintrag erhöht die Spalttemperatur und verringert den Transmissionswärmeverlust. Im Spalt bildet sich eine konvektive Eigenströmung aus, indem sich die Luft an der kalten Glaswand abkühlt. Sowohl im Winter als auch im Sommer ist bei geöffnetem Fenster aufgrund der schallharten Vorsatzschale die Luftschallübertragung von einem Raum zum anderen Raum erhöht [vgl. Trogisch 2003, S. 69].

4.1.1 Vor- und Nachteile zu Standardlösungen

Alle Systeme für natürliche Lüftung haben den Vorteil, dass für die Luftbewegung keine elektrisch betriebenen Ventilatoren notwendig sind wie bei heutigen konventionellen mechanischen Lüftungstechniken, sondern thermischer Auftrieb oder Winddruck für den Lufttransport sorgen. Dadurch kann im Vergleich zur mechanischen Lüftung eine hohe Energieeinsparung erzielt werden. Bis auf die Fensterlüftung gilt für alle vorgestellten Systeme, dass natürliche Lüftung ohne Lärmbeitrag in das Gebäude möglich ist, was vor allem im städtischen Bereich ein wichtiger Punkt ist. Die thermische Masse von Gebäuden

kann durch natürliche Lüftung während der Nacht noch besser genützt und Kälte darin gespeichert werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Luftwechsel total geräuschlos passiert, was den Komfort innerhalb des Gebäudes steigert.

Fensterlüftung hat den Vorteil, dass sie flexibel wechselnden Anforderungen gut anpassbar ist. Sie ist energiewirtschaftlich dort günstig, wo kurzfristig große Luftvolumenströme benötigt werden und in der übrigen Zeit keine Luftvolumenströme erforderlich sind. Zusätzlich sind bei manueller Fensterlüftung keine Investitionen in RLT-Anlagen notwendig [vgl. Trogisch 2003, S. 60]. Manuelle Fensterlüftung setzt bewusstes Lüftungsverhalten durch die Nutzer voraus. Erfahrungen zeigen allerdings, dass diese oft entweder zu wenig lüften, was zu hohem Luftschadstoff- und Feuchtgehalt führt, oder Fenster einfach gekippt bzw. offen gelassen werden, wodurch ein enorm höherer Lüftungswärmeverlust entsteht. Auf die Richtung der Durchströmung ist oft ungünstig. So kann es zB vorkommen, dass es zB durch das gekippte Küchen- oder WC-Fenster hereinzieht und die vorbelastete Luft durch das gesamte Gebäude durchfließt, bis sie durch Fenster oder Undichtigkeiten wieder nach außen dringt [vgl. Drusche 2004, S. 83].

Fensterlüftung hat den Nachteil, dass im fensternahen Bereich besonders im Winter Zugerscheinungen auftreten können. Weiters ist der Einbau von Energierückgewinnungs- und Filteranlagen nicht möglich. Auf die stark individuelle Lüftung geprägt durch die Nutzer wurde bereits eingegangen. Automatische Fensterlüftungssysteme sind aufgrund der Sensoren und Motoren komplexer, als man auf den ersten Blick erwarten würde. Zusätzlich muss man darauf achten, dass sichergestellt wird, dass durch offene Fenster keine Sicherheitsrisiken entstehen. Es ist unbedingt zu gewährleisten, dass man durch geöffnete Fenster nicht in das Gebäude eindringen kann.

Solarkamine haben gegen Windtürmen den Vorteil, dass sie auch bei Windstille an heißen Tagen einen Luftwechsel ermöglichen, die Abhängigkeit von Wind zur Lüftung wird so minimiert. Die angesaugte Luft kann sowohl bei Windtürmen als auch Solarkaminen durch ein Erdregister im Sommer abgekühlt und im Winter angewärmt werden.

Doppelglasfassaden haben den Vorteil, dass Fensterlüftung auch bei hohen Häusern möglich ist und sowohl Heiz- als auch Kühlenergie eingespart werden kann. Weiters schützen sie vor Lärm der Gebäudeumgebung. Ein Nachteil bei Doppelglasfassaden ist die Tatsache, dass aufgrund der schallharten Vorsatzschale die Luftschallübertragung von einem Raum zum anderen erhöht ist. Auf jeden Fall zu achten ist auf die Einhaltung der Brandschutzbedingungen und wie die Reinigung der Außenseite des Fensters und der Innenseite der Glasvorhangfassade durchgeführt werden soll [vgl. Trogisch 2003, S. 73].

4.1.2 Technische Einsatzgrenzen

Sowohl manuelle als automatische Fensterlüftung sind für die FUTUREbase mit maximal sechs Stockwerken für die natürliche Lüftung eine mögliche Lösung. Solarkamine oder

Windtürme wurden in Bürogebäuden bisher kaum eingesetzt, weshalb es schwierig ist, verwirklichte Projekte als Anschauungsobjekte zu verwenden oder Best Practise Vergleiche durchzuführen. Doppelglasfassaden dagegen werden dagegen häufiger verwendet.

4.1.3 Umsetzbarkeit im Bauprozess

Alle der vier vorgestellten Lösungen können theoretisch für die FUTUREbase umgesetzt werden. Es liegen keine Gründe vor, warum eine vorgestellte Technologie für dieses Screening ausgeschlossen werden sollte. Für manche Lösungen gibt es zwar noch nicht viele umgesetzte Beispiele, allerdings verfolgt das Projekt der FUTUREbase innovative und neue Konzepte, weswegen Energieturm oder Solarkamin durchaus eingesetzt werden könnten.

4.1.4 Auswirkung auf die Energiebilanz

Wie weiter oben beschrieben trägt der Energiebedarf der Lüftung einen hohen Anteil am Gesamtenergieverbrauch eines Bürogebäudes bei. Geht man von einer ähnlichen Lüftungstechnologie aus, wie sie in der ENERGYbase verwendet wird (5,9 kWh/m²a) läge der Gesamtverbrauch für Lüftung in der FUTUREbase bei ca. 77.300 kWh/a. Gelingt es in der FUTUREbase in den Übergangszeiten eine natürliche Lüftung zu realisieren, könnte man ca. 45 Prozent der Lüftungsenergie, die in den Übergangszeiten benötigt wird, einsparen. Für die FUTUREbase würde das eine Energieersparnis von 34.780 kWh/a bedeuten.

4.2 Multifunktion Fassadensysteme

Unter multifunktionalen Fassadensystemen werden in dieser Arbeit jene Fassadenlösungen verstanden, die verschiedene Komponenten der Haustechnik wie jene für Lüftung, Heizung, Kühlung oder andere Funktionen integriert haben. Besonders in Bürogebäuden werden zunehmend multifunktionale Fassadensysteme eingesetzt. Im Hochhausbau werden vermehrt Doppelfassadensysteme mit integrierter Lüftungstechnik verwendet, diese wurden im vorigen Kapitel unter natürlicher Lüftung bereits behandelt. Abgesehen von Lüftungsgeräten können Bau- oder Geräteteile für andere Funktionen in der Fassade integriert werden. Der Bogen spannt sich dabei von integrierter Photovoltaik- oder Solarthermiemodule, außen liegende Verschattung bis hin zu Lichtleitsystemen [vgl. Drusche 2004, S. 201 f]. Bei der BMW-Welt in München ging man sogar soweit, das Sprinklersystem für den Brandschutz in die Fassade zu integrieren.

Hier gibt es die verschiedensten Ansätze. Manche Systeme verbinden die Fassadenrahmen mit ihren Heiz- oder Kühlkreisen wo dann kaltes Wasser zur Kühlung oder warmes Wasser für Heizzwecke durchgepumpt wird, die Fassade wirkt dabei wie eine Flächenheizung bzw. -kühlung, die ein behagliches Raumklima ermöglichen [vgl. Josef Gartner GmbH 2010, S. 5].

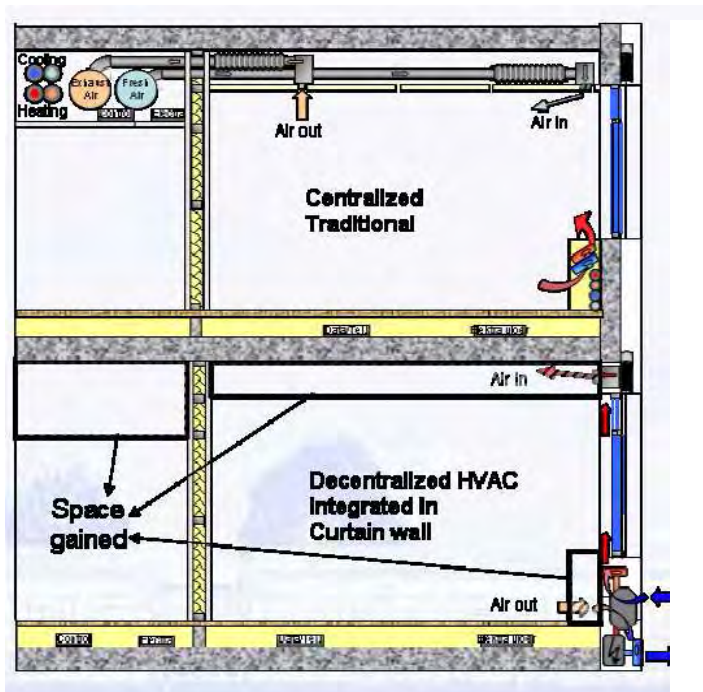


Abbildung 8: Dezentrale und zentrale HVAC Systeme, Quelle: Josef Gartner 2007

Abbildung 8 zeigt die Unterschiede zwischen einem klassischen Lüftungssystem und einer in der Fassade integrierten Lösung. Bei der zentralen Lösung (der obere Raum in der Abbildung) liegen Verrohrungen für Zu- und Abluft im Zwischenraum der abgehängten Decke. Zusätzlich gibt es pro Stockwerk eine zentrale Verteilereinheit, die die Frisch- und

Abluft innerhalb des Geschoßes verteilt. Bei in der Fassade integrierten Lösungen hingegen sind alle Komponenten für die Zu- und Abluft in der Fassade integriert. Zusätzliche Leitungen oder Verteilerstationen werden nicht benötigt. In der Grafik ist unter „Space gained“ angedeutet, wie viel Raum man durch den Einsatz von fassadenintegrierten Systemen gewinnen kann.

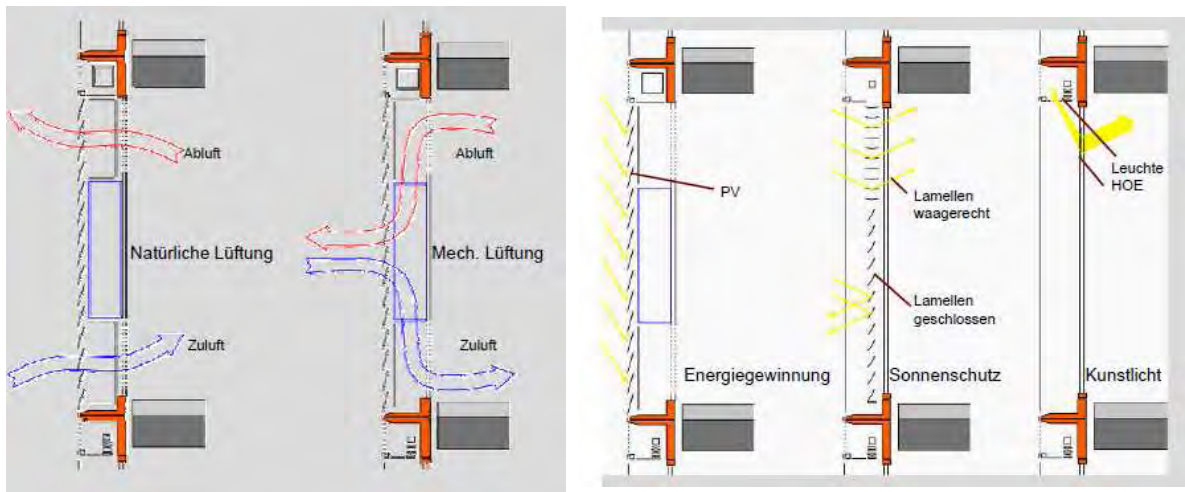


Abbildung 9: TeMotion Fassadenelement, Quelle: Müller 2008

Ein interessantes Projekt stellt das Fassadensystem „TeMotion“, das an der Technischen Universität Dortmund entwickelt worden ist, dar. TeMotion dargestellt in Abbildung 9 erlaubt die Integration von Lüftung (inkl. Wärmerückgewinnung), Stromerzeugung (Photovoltaik), Sonnenschutz, Kunstlichtlenkung, Tageslichtlenkung, Kunstlichtbeleuchtung und Tageslichtbeleuchtung in einem Modul. Die Energiegewinnung erfolgt dabei durch PV-Lamellen mit 78° Neigung und einem Wirkungsgrad von 20 %. Diese Lamellen dienen gleichzeitig als Sonnenschutz. Die konkave Form der oberen Lamellen lenkt direktes Sonnenlicht in den Raum und verringert so den Kunstlichtbedarf. Zusätzlich erlauben punktförmige Leuchten im Fassadenzwischenraum eine Kunstlichtlenkung durch Hologramme in die Raumtiefe und erhellen somit den Raum [vgl. Müller 2008, S. 21 ff]. Nachforschungen haben ergeben, dass das TeMotion Fassadensystem 2009 im WICONA Technologie Centre Bellenberg in der Schweiz eingesetzt wurde.

Wie beim vorigen Beispiel gezeigt gibt es eine große Vielfalt an möglichen technischen Kombinationen für Mehrzweckfassadensysteme. Verschiedene Hersteller bedienen sich verschiedenster Lösungen, auf sie alle einzugehen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Eingehen muss man auf die verschiedenen Ansätze für ein dezentrales oder zentrales System. Bei der dezentralen Lösung gibt es jeweils für jeden Raum ein eigenes Gerät für Lüftung, Kühlung, Wärmerückgewinnung oder Heizung. Hier bilden die Einheiten autarke Subsysteme, die unabhängig voneinander geregelt werden können. Bei zentralen

Systemen hingegen werden Funktionen wie Heizung, Kühlung oder Lüftung zentral ausgeführt und die lediglich die Leitsysteme und Auslässe in die Fassade integriert.

Die oben vorgestellten Systeme repräsentieren eine Verschmelzung verschiedener Funktionen in der Fassade. Um die spätere Bewertung transparenter zu machen, soll auf verschiedene Funktionen isoliert eingegangen werden. Begonnen werden soll hier mit der Lüftung. Diese fassadenintegriert zu bewerkstelligen ist durch Klappen, Fenster oder dezentrale mechanische Lüftungseinheiten möglich. Besonders in den Übergangszeiten stellt Lüftung durch die Fassade eine einfache Möglichkeit dar, Energie für den notwendigen Luftaustausch einzusparen. Die Energieerzeugung in der Fassade ist durch fassadenintegrierte Photovoltaik oder Solarthermie möglich. Wie im obigen Beispiel gezeigt können Verschattungselemente mit Photovoltaikmodulen ausgerüstet sein. Es gibt nur wenige Beispiele dafür, dass auch Heiz- oder Kühlsysteme dezentral in Fassaden integriert sind. Wenn durch die Fassade geheizt oder gekühlt wird, so wird die Fassade meist für die Verlegung von Rohrleitungen verwendet, die Erzeugung der Wärme oder Kälte erfolgt meist zentral. Die Fassade fungiert hier lediglich als Verteiler der Energie. Eine wichtige Funktion einer Fassade ist die integrierte Verschattung. Diesbezüglich gibt es eine Anzahl von verschiedenen Lösungen und Technologien, von vertikaler zu horizontaler Verschattung und verschiedenen Steuerungssystemen.

4.2.1 Vor- und Nachteile zu Standardlösungen

Der Raumgewinn bei sowohl dezentralen als auch zentralen Multifunktion Fassadensystemen stellen einen großen Vorteil dar. Verschiedenste Funktionen sind in der Fassade integriert. Abgehängt Decken können oft entfallen, wodurch die Raumhöhe geringer ausgeführt werden kann. Bei mehrstöckigen Gebäuden kann das bedeuten, dass ein zusätzliches Stockwerk bei einer maximalen zulässigen Bauhöhe errichtet werden kann. Bei dezentralen Anlagen machen die vielen einzelnen Geräte für jeden Raum die Wartung extrem aufwendig. Zusätzlich muss hier gewährleistet werden, dass der Zutritt zur Technik ständig gewährleistet ist. Der Vorteil bei dezentralen Anlagen ist, dass die Steuerung und Regelung auf die Bedürfnisse der Nutzer abgestimmt werden kann.

4.2.2 Technische Einsatzgrenzen

Die Einsatzgrenzen hängen primär davon ab, welche Funktion durch die Fassade erfüllt werden soll. Lüftung kann durch die Fassade recht einfach verwirklicht werden. Kühlen oder Heizen durch dezentral erzeugte Wärme oder Kälte ist aufgrund der hohen Komplexität der Systeme aufwändig und schwer in ein Gebäudemanagementsystem integrierbar. Fassadenintegrierte Solarthermie oder Photovoltaik stellen für die Erreichung eines Plusenergiegebäudes eine mögliche Form der Energieerzeugung für das Gebäude dar.

4.2.3 Umsetzbarkeit im Bauprozess

Prinzipiell ist jede der vorgestellten Funktionen für Fassadenintegration für die Errichtung der FUTUREbase möglich. Dezentrales Heizen oder Kühlen durch die Fassade scheint durch die Komplexität der Systeme allerdings nicht sinnvoll und widerspricht der Idee der FUTUREbase des einfachen Facility Managements. Fassadenintegrierte Energieerzeugung durch Photovoltaik oder Solarthermie sind möglich. Natürliche Lüftung durch die Fassade durch Klappen oder Fenster ist energetisch sinnvoll, mechanische dezentrale Lüftung wird laut Auskunft von pos-architekten nicht angestrebt, da viele kleine Ventilatoren ineffizienter als wenige große sind.

4.2.4 Auswirkung auf die Energiebilanz

Energieerzeugende Systeme wie Photovoltaik oder Solarthermie tragen aktiv dazu bei, aus der FUTUREbase ein Plusenergiegebäude zu machen. Integrierte Verschattungssysteme verringern den solaren Eintrag in das Gebäude und führen so zu einer Verringerung des Kühlbedarfes. Dezentrale Heiz- oder Kühlsysteme sind energetisch ineffizienter als zentrale Heiz- oder Kühleinheiten und sind für die Energiebilanz negativ zu bewerten, da viele dezentrale kleine Systeme für die Wärme- oder Kälteerzeugung ineffizienter arbeiten als zentral geführte.

4.3 Einbindung von Kleinwindkraftanlagen

Windkraft hat in den letzten Jahren einen starken Aufschwung erlebt. Seit dem Jahr 2000 hat sich die installierte Leistung weltweit mehr als verzehnfacht [vgl. GWEC, 2011]. Windkraft spielt heute bei der Erzeugung von erneuerbaren Energieträgern in Europa eine wichtige Rolle. 86.075 MW an Leistung sind in Europa installiert, 1.011 MW davon in Österreich [vgl. GWEC, 2011]. Obwohl dabei bisher die großen Multi-Megawatt Windparks die größte Aufmerksamkeit auf sich ziehen konnten, könnten Kleinwindkraftanlagen als dezentrale Stromerzeugungseinheiten zukünftig eine wichtige Rolle spielen. Großes Interesse für Kleinwindkraft liegt bei Endkonsumenten definitiv vor, die IG Windkraft (österreichische Interessensvertretung der Windenergieerzeuger) meldet diesbezüglich einige Anfragen pro Woche. Gründe dafür sind der eigene Beitrag zum Klimaschutz oder die verringerte Abhängigkeit von großen Energieversorgern. Ein weiterer Hinweis dafür, dass in Österreich das Interesse für die Kleinwindkraft stetig wächst, ist die Tatsache, dass die Plattformen www.kleine-windkraft.at geschaffen wurde. Die Nachfrage für Kleinwindkraft scheint also gegeben.

Bis dieses Potenzial gehoben werden kann, müssen allerdings erst einige Hindernisse überwunden werden. Die Entwicklung von großen und mittleren Windkraftwerken ist einigermaßen weit fort geschritten. Im Vergleich dazu ist die Kleinwindkraft weit von der technologischen Reife und ökonomischer Wettbewerbsfähigkeit entfernt. Es gibt zwar eine große Anzahl von Herstellern bzw. Distributoren für Kleinwindkraftanlagen in Europa; auf der Homepage der europäischen Kleinwindkraftvereinigung (www.urbanwind.org) finden sich per Februar 2011 33 Produzenten und Händler von Anlagen verschiedenster Größen. Die Nennleistungen der vorgestellten Produkte zeigen eine hohe Bandbreite und reichen von 0,025 bis 100 kW. Die wenigen Referenzanlagen die es gibt, sind auf Schulen und Universitäten angebracht, viele Anlagen verfügen allerdings über noch keine Referenzen und scheinen über das Planungsstadium noch nicht hinaus gekommen zu sein. Es gibt noch nicht viele Erfahrungswerte über die Einsatzfähigkeit oder Wirtschaftlichkeit in urbanen Gebieten von KWKA. Die durchschnittlichen Kosten für allein stehende Windturbinen variieren von EUR 2.500 bis 6.000 pro installierte kW, jene von Kleinwindanlagen können zwischen EUR 2.700 und 8.000 betragen. Diese hohen Kosten werden vorwiegend durch den notwendigen Einsatz von Stromrichtern für die Netzanbindung verursacht. Diese Zahlen stehen im starken Kontrast zu Kosten von ungefähr EUR 1.500 pro installierte kW für große Windanlagen in Windparks [vgl. www.wind-energy-the-facts.com].

4.3.1 Klassifizierung von Kleinwindkraftanlagen

Um weiter über Kleinwindkraft sprechen zu können, muss zuerst einmal definiert werden, wie die Abgrenzung zu großen Windkraftanlagen möglich ist. Die Einteilung nach

Größenklassen bei Windkraftanlagen ist nicht einheitlich geregelt. Diesbezüglich gibt es verschiedene Ansätze.

Laut der Norm IEC 61400-2 der International Electrotechnical Commission haben Kleinwindanlagen einen Rotordurchmesser von bis zu 16 m. Diese 16 m Durchmesser mögen zwar klein sein im Vergleich zu den heutigen größten Anlagen, deren Durchmesser bereits mehr als 100 m betragen, scheinen aber für urbane Anwendungen noch zu groß bzw. die Segmentierung innerhalb dieser Norm nicht befriedigend. Die Definition von Kleinwindkraftanlagen nach IEC 61400-2 dient lediglich zur Abgrenzung zur Großwindanlagen in dieser Arbeit, weshalb eine weitere Unterteilung von Kleinwindkraftanlagen laut IEC 61400-2 sinnvoll erscheint. Eine etwas feinere Einteilung für Kleinwindanlagen bietet die American Wind Energy Association (AWEA) an, die die Zuordnung aufgrund der Nennleistung der Anlage vornimmt:

Nennleistung Bezeichnung

- Bis 0,9 kW Micro-Wind (Mikrowindanlagen)
- 1 bis 10 kW Residential (Anlagen für den Haushalt)
- 11- 20 kW Commercial (kleine gewerbliche Anlagen)
- 21 – 100 kW Upper Commercial (große gewerbliche Anlagen)

Eine ähnliche Einteilung sieht der Deutsche Bundesverband für Kleinwindanlagen vor, der eine Unterscheidung innerhalb der IEC 61400-2 wie folgt vorschlägt [<http://www.bundesverband-kleinwindanlagen.de>]:

- Micro-Windturbinen (Maximal 1,5kW Nennleistung bzw. 6m² Windangriffsfläche)
- Hausanlagen auf dem Dach oder direkt mit dem Haus verbunden als Nebengebäude ohne Größenbeschränkungen dem Gebäude angepasst
- Kleinwindanlagen zur Selbstversorgung bis einschließlich 6 kW Nennleistung
- Kleinwindanlagen bis maximal 200 m² Windangriffsfläche (EN 61400-2)

Theoretisch technisch und rechtlich anwendbar für den Einsatz in Wien scheinen Anlagen aufgrund der Größe mit max. 20 kW zu sein, was laut AWEA Kategorisierung Mikrowindanlagen, Haushaltsanlagen und kleine gewerbliche Anlagen umfasst.

4.3.2 Grundlagen für Nutzung von Windkraft

Um später Bewertungen über die Eignung von Kleinwindkraftanlagen für die FUTUREbase in Wien 21 eingehen zu können, ist es für diese Arbeit unerlässlich, auf die wichtigsten Grundlagen über die Nutzung von Windenergie einzugehen.

Kenngrößen von Windkraftanlagen

Das Spektrum der technischen Ausführungsformen von Windkraftanlagen ist groß. Die wichtigsten Parameter zur Kategorisierung von WKA sind [www.urbanwind.org] zum Beispiel Nennleistung, Stellung der Rotorachse (vertikal oder horizontal), Rotordurchmesser, Höhe des Masten, max. Drehzahl, Lebensdauer, Schallemissionen, Getriebeart, Bremssystem und viele mehr.

Es würde den Umfang dieser Arbeit sprengen, um auf alle Parameter im Detail einzugehen. Im Hinblick auf Kleinwindkraftanlagen in urbanen Gebieten scheint es für diese Arbeit jedoch wesentlich, zumindest auf die Unterschiede zwischen vertikalen und horizontalen Achsenkonvertern einzugehen.

Horizontale vs. vertikale Rotationsachse

Die heutigen Großanlagen sind nahezu zu 100 % WKA mit horizontalen Rotationsachsen konstruiert. Diese müssen der Windrichtung nachgeführt werden, die Gondel ist dabei drehbar auf dem Turm angebracht. Die Ausrichtung der Rotoren wird mittels Stellmotoren durchgeführt, die Windrichtung über Windrichtungsgeber ermittelt. Horizontalachsenkonverter werden fast ausschließlich in der Propellerbauart verwirklicht und stellen heute das Hauptkonstruktionsprinzip in der Windenergietechnik dar [vgl. Jungbauer 1998, S. 15]. Dass dem so ist, liegt an den Vorteilen dieser Technologie. Bei optimaler Gestaltung der Rotorblattform wird das aerodynamische Auftriebsprinzip maximal genutzt wodurch nachweislich der höchste Wirkungsgrad erreicht werden kann. Beim Propellertyp kann durch Verstellen der Rotorblätter um ihre Längsachse die Rotordrehzahl und Leistungsabgabe geregelt werden. Diese Blattverstellwinkelregelung stellt den wirksamsten Schutz gegen Überdrehzahl und extreme Windgeschwindigkeiten dar.

Bei Windkraftanlagen mit vertikaler Rotationsachse wird unter anderem zwischen Savonius-Rotor und Darrieus-Rotor unterschieden. Den Darrieus-Rotor gibt es in zwei Ausprägungen, den normalen Darrieus-Rotor und den H-Rotor (siehe Abbildung 10).

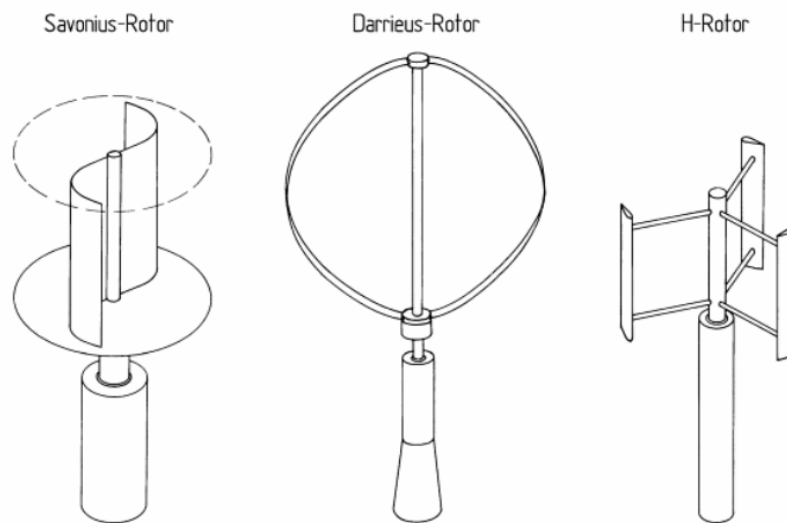


Abbildung 10: Rotorentypen mit vertikaler Rotationsachse, Quelle: Hau 2008, S. 66

Der Savonius-Rotor zählt zu den ältesten Rotorenarten und wurde schon vor hunderten Jahren in Mühlen angewendet. Aufgrund der niedrigen Schnelllaufzahl und des geringen Leistungsbeiwertes kommt er für wirtschaftliche Stromerzeugung in Windkraftanlagen nach heutigem Stand der Technik nicht in Frage [vgl. Hau 2008, S. 69]. Aus diesem Grund wird auch nicht weiter in dieser Arbeit darauf eingegangen.

Interessanter für die Stromerzeugung ist der Darrieus-Rotor, der im Vergleich zum Savonius-Rotor einen höheren Wirkungsgrad hat. Da er eine senkrechte Achse hat und damit windrichtungsunabhängig ist, kann auf eine Windnachführung verzichtet werden. Außerdem kann der turbulente Wind nah am Boden genutzt werden, was heutigen WKA mit horizontaler Rotationsachse nicht gelingt. Weitere Vorteile sind, dass als Rotorblätter Strangpressprofile eingesetzt werden können, die sich kostengünstig anfertigen lassen, dass Generator und Getriebe bodennah angebracht sind, was die Wartung der Anlagen wesentlich vereinfacht und dass seine Blätter im Umlauf um ihre Drehkreisebene nicht durch von der Schwerkraft verursachte Lastwechsel in Mitleidenschaft gezogen werden. Als Nachteile sind anzumerken, dass der Erntegrad von Darrieus-Rotoren bisher nur bis 40 % beträgt, wogegen konventionelle WKA bei ca. 50 % liegen. Weiters kann es durch die Lastwechsel und deren Wirkung auf die Fliehkraft an den Blättern zu Materialermüdungen kommen und die Lebensdauer beeinträchtigen [vgl. Hau 2008, S. 66 ff; vgl. Jungbauer 1998, S. 13 ff].

Zusammenfassend kann man sagen, dass Windrotoren mit vertikaler Achse, vor allem der Darrieus-Rotor, noch über ein unausgeschöpftes Entwicklungspotenzial verfügen und im Vergleich zu konventionellen WKA einen Forschungsnachholbedarf aufweisen. Als KWKA im urbanen Bereich könnte der Darrieus-Rotor aufgrund der höheren Toleranz von

Turbulenzen durchaus eine viel versprechende Alternative zu Horizontalachsenkonvertern darstellen.

Windbedingungen

Die Windbedingungen an einem Standort an dem eine WKA installiert werden soll, sind wesentliche Determinanten für die technische Auslegung der Windkraftanlage und den zu erwartenden Ertrag über die Lebensdauer hinweg.

In der Literatur wird zwischen „normalen Windbedingungen“ und „extremen Windbedingungen“ unterschieden, wobei normale Windbedingungen jene Windverhältnisse abbilden, die im Laufe des Jahres während des Betriebes einer Windkraftanlage häufig auftreten [vgl. Hau 2008, S. 198 ff].

Normale Windbedingungen werden in mittlere Jahresgeschwindigkeit, Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit, vertikales Windprofil und Turbulenzen unterschieden.

Die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit ist der wichtigste Parameter zur Kennzeichnung der Windbedingungen an einem Standort. Sie wird als 10-Minuten-Mittelwert in Rotornabenhöhe gemessen und gibt Auskunft in Hinblick auf die notwendige Ermüdungsfestigkeit der Windkraftanlage, wobei nicht nur die mittlere Windgeschwindigkeiten selbst, sondern die längerfristigen Schwankungen der mittleren Windgeschwindigkeiten Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit haben.

Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit gibt an, welche Werte der Windgeschwindigkeit wie oft im Jahr auftreten und wird als Rayleigh-Verteilung angesetzt. Wie die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit hat auch die Häufigkeitsverteilung einen Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit der Windkraftanlage und ist somit wichtig für die strukturelle Auslegung einer WKA.

Das vertikale Windprofil zeigt die durchschnittliche Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit abhängig von der Höhe. Dieses Windprofil ist wesentlich für das Schlagbiegemoment der Rotorblätter, da es bei unterschiedlichen Windstärken auf unterschiedlichen Höhen auf den Rotorblättern zu verschiedenen Lasten kommt. Je homogener das vertikale Windprofil ist, desto ausgeglichener sind die Kräfte, die auf die Rotoren wirken und desto gleichmäßiger werden die Rotoren belastet.

Turbulenzen sind neben den umlaufperiodischen Wechsellasten von dem Eigengewicht der Bauteile der zweite entscheidende Einfluss. Ein grundlegendes Verständnis der Windturbulenzen ist eines der Schlüsselthemen für die weitere Entwicklung von WKA.

Die extremen Windbedingungen an einem Standort für eine WKA zu kennen ist wesentlich für die technische Beanspruchung und somit zur Auslegung der Anlage. Dabei muss man die maximalen Lasten auf die WKA ermitteln. Extreme Windbedingungen umfassen extreme Windgeschwindigkeiten und Böen, extreme Windrichtungsänderungen und extreme Schräganströmung.

Diese extremen Windbedingungen werden für die Auslegung einer Windkraftanlage statistisch berechnet und werden als Einjahres- und 50-Jahres Ereignisse angesetzt. Messungen am Standort können aufgrund des seltenen Auftretens dieser Ereignisse nicht angewendet werden.

Andere Umwelteinflüsse die auf Windkraftanlagen wirken, auf die in dieser Arbeit jedoch nicht näher eingegangen werden kann, sind der Temperaturbereich in dem die WKA arbeitet, die Luftdichte, die Sonneneinstrahlung, der Eisansatz der Rotorblätter, der Salzgehalt in der Luft, Vogelschlag, orographische Einflüsse (Windströmung über Hügel und Berge) und Erdbeben [vgl. Hau 2008, S. 201].

Windschichten

Die für Windkraftanlage relevante Windschicht ist die untere planetare Grenzschicht. Hier nimmt die Erdoberfläche Einfluss auf die Windverhältnisse [vgl. Kirchwegger 2009, S. 18]. Diese planetare Grenzschicht wird in drei Schichten eingeteilt:

- Eckmann-Schicht
- Prandtl-Schicht und
- bodennahe, turbulente Schicht

Die Eckmann-Schicht ist die oberste Schicht. Hier nimmt die Windgeschwindigkeit mit der Höhe kaum noch zu. Mit modernen Großwindkraftanlagen versucht man, durch die darunter liegende Prandtl-Schicht zu stoßen, um in der Eckmann-Schicht die relative homogene Strömung zu nutzen. Forschungen kamen zum Ergebnis, dass eine Rotornabenhöhe von 50 m zu 70 % oberhalb der Prandtl-Schicht liegt, bei einer Höhe von über 100 m steigt der Wert auf über 90 % [vgl. Hau 2008, S. 515].

Innerhalb der Prandtl-Schicht steigt die Windgeschwindigkeit stetig an, hier spielen sich vertikale turbulente Austauschprozesse ab. Die Höhe der Prandtl-Schicht hängt und meteorologischen Gegebenheiten ab und verändert sich während der Tageszeiten, bei Nacht beträgt die Höhe dieser Schicht 10 – 50 m, bei Tag 50 – 150 m [vgl. Hau 2008, S. 515].

Reibung und Thermik sorgen in der bodennahen, turbulenten Schicht für unregelmäßige Verwirbelungen in der Luft. Diese Schicht kann zwischen 1 m (über Wasser) oder zig Meter (über Gebäude) hoch sein. Die turbulente Strömung nach einem Hindernis wie in bebauten Gebieten erreicht die doppelte Höhe dieses Hindernisses und die 20fache Länge – siehe Abbildung 11.

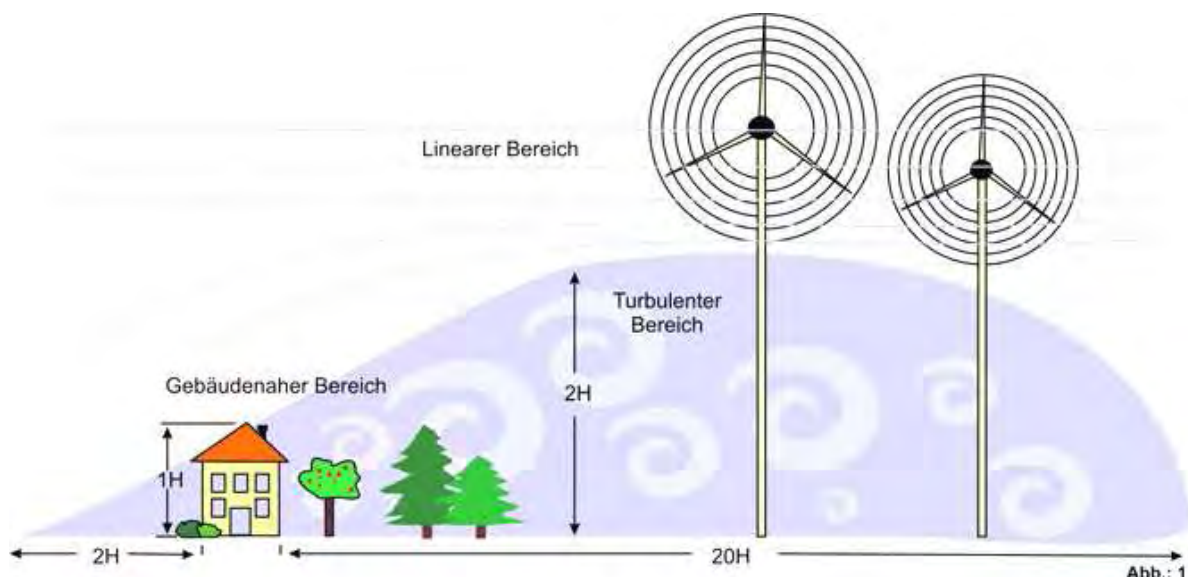


Abbildung 11: Windbedingungen in bebauten Gebieten, Quelle: AEE Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie NÖ-Wien, 2010, zitiert in Dos Santos 2010

Bei Windkraftanlagen innerhalb des turbulenten Bereiches es schwierig, den zu erwartenden Energieertrag abzuschätzen, da dieser stark davon abhängt, in welchem Punkt in der Ablöseblase sich die Anlage befindet. Dies ist ein generelles Problem von Kleinwindkraftanlagen im urbanen Bereich.

Wie gezeigt hat also die exakte Positionierung von KWKA für den Wirkungsgrad der Anlagen aufgrund von Windturbulenzen eine entscheidende Bedeutung. Bisher übliche Einzelmessungen haben sich als unzureichend für die optimale Positionierung der Anlagen erwiesen. Numerische Strömungssimulationen, auch kurz CFD (Computational Fluid Dynamics) können helfen, den idealen Standort für eine KWKA auf einem Gebäude zu identifizieren. Das Grundprinzip dabei besteht darin, den gesamten Strömungsraum der Umströmung eines Objektes in kleine Volumenelemente aufzuteilen und mittels der Finite-Elemente-Methode Strömungszustände zu ermitteln und diese miteinander zu verbinden [vgl. Hau 2008, S. 98].

Natürlich handelt es sich bei diesem Verfahren um eine komplexe aufwendige Simulation, und es stellt sich die Frage, ob für jede Errichtung einer KWKA eine solche durchgeführt werden kann. Diese Frage ist wahrscheinlich zu verneinen, allerdings könnten generalisierte Modellsimulationen mit verschiedenen Parametern (zB Dachneigung, Gebäudeabstand, usw.) wichtige Erkenntnisse für die Positionierung von KWKA in bebauten Gebieten bringen, die generell eingesetzt werden können.

4.3.3 Vor- und Nachteile für den Einsatz von KWKA

Stromerzeugung am Dach der FUTUREbase scheint große Vorteile zu bilden. Die lokale Stromerzeugung passiert dort, wo sich die Verbraucher befinden, das öffentliche

Stromnetz wird entlastet, ein bedeutender Beitrag zur Erreichung des Plusenergiestandards scheint gegeben. Allerdings scheinen die Nachteile von KWKA am Standort in der Giefinggasse zu überwiegen.

Die bodennahe, turbulente Windschicht macht es schwierig, das Energieerzeugungspotenzial für Kleinwindkraft am Standort abschätzen zu können. Simulation könnte helfen, den optimalen Standort am Gebäude zu errechnen.

Pro installierte kW sind KWK heute im Vergleich zu großen WKA ca. drei mal so teuer. Kleinwindanlagen kosten heute zwischen 3000 € und 5000 € pro kW Nennleistung. In den nächsten 10 Jahren werden diese Anlagen zu Massenprodukten und daher sind Reduzierungen der Preise zu erwarten. Kurzfristig können zusätzlich sinkende Stahlpreise und freie Kapazitäten im Maschinenbau die Herstellungskosten weiter senken.

Recherchen der rechtlichen Rahmenbedingungen haben gezeigt, dass es heute nahezu unmöglich ist, eine behördliche Genehmigung von Windkraftanlagen im bewohnten städtischen Bereich in Wien zu erhalten. Ein wesentlicher Punkt dabei ist, dass es rechtlich keine Unterscheidung zwischen Groß- und Kleinwindkraftanlagen gibt. Die weitere Entwicklung der gesetzlichen Rahmenbedingungen für Windkraft in Wien wird maßgeblich dafür sein, ob in Zukunft Energie durch Windkraft in der österreichischen Hauptstadt auf Gebäuden erzeugt werden kann. Für das Projekt FUTUREbase ist es daher wichtig, die juristische Entwicklung bezüglich Kleinwindkraft in Wien ständig zu verfolgen.

4.3.4 Technische Einsatzgrenzen

Im Projekt WINEUR werden 17 Kriterien genannt, nach denen man beurteilen kann ob eine Kleinwindkraftanlage im bebauten Gebiet ein erfolgreiches Projekt werden kann [vgl. WINEUR 2007, S. 32]. In nachfolgender Tabelle wird untersucht, ob die Kriterien für den Standort FUTUREbase zutreffen:

Kriterium	Ja/Nein
Die jährliche durchschnittliche Windgeschwindigkeit soll mindestens 5.5 m/s betragen	Nein *)
Der Mast oder das Gebäudedach soll ungefähr 50 % höher sein als angrenzende Objekte	Nein
Die Turbine sollte in der Nähe der Dachmitte installiert werden	Ja
Die Turbine sollte auf der Seite der Hauptwindrichtung ausgerichtet werden	Ja
Die unterste Position des Rotors sollte mindestens 30 % der Gebäudehöhe oberhalb des Daches sein	Nein

Wenn möglich, sollte das Gebäude in der Hauptwindrichtung positioniert werden	Nein
Wenn möglich, sollte das Gebäude eine abgeschrägte Fassade in der Hauptwindrichtung haben, um die Windgeschwindigkeit zu erhöhen.	Nein
Das Dach muss den statischen und dynamischen Belastungen standhalten.	Ja
Installation mehrerer Turbinen, um Energieertrag zu erhöhen.	Nein
Abstimmung der erzeugten Energie im Verhältnis des Energiebedarfes am Standort der KWKA	Ja
Bevor KWKA installiert werden, sollen Energiesparmaßnahmen durchgeführt worden sein	Ja
Maßnahmen gegen Lichtflackern, Lärm und Vibrationen	Ja
Gestatten Nachbarn und Bauvorschriften WKA	Nein
Zugangsmöglichkeit für Wartung	
Leitungskanal zwischen Turbine und Schaltkasten vorsehen	Ja
Platz schaffen für zusätzliche Ausstattung wie Wechselrichter, Monitoring-Geräte usw.	Ja
Anschluß am öffentlichen Netz, Voraussetzungen dafür erfüllen	Ja

*) durchschnittliche Windgeschwindigkeit am Standort ENERGYbase beträgt 3,4 m/s

Tabelle 2: Kriterien für erfolgreiche KWKA Projekte für FUTUREbase, Quelle: selbst erstellte Tabelle, nach WINEUR 2007

Wie obige Tabelle zeigt, werden einige die von WINEUR definierten Kriterien am Standort der FUTUREbase zum heutigen Zeitpunkt (Mai 2011) nicht erfüllt. Bis zum Baubeginn des Gebäudes müssen technische und rechtliche Entwicklungen weiter verfolgt werden um später bestimmen zu können, ob KWKA installiert werden können.

4.3.5 Umsetzbarkeit im Bauprozess

Für die Umsetzbarkeit im Bauprozess für die FUTUREbase muss unterschieden werden, ob Photovoltaik am Dach angewendet wird oder nicht. Wird Photovoltaik großflächig eingesetzt, ist es nahezu unmöglich, Kleinwindkraftanlagen zu installieren, die weder die PV-Module der ENERGYbase noch jene der FUTUREbase verschatten.



Abbildung 12: Mögliche Platzierung KWKA ohne PV, Quelle: selbst erstellte Grafik

Abbildung 12 soll zeigen, an welchen Punkten Kleinwindkraftanlagen an der FUTUREbase (Voraussetzung: keine PV am Dach der FUTUREbase) installiert werden könnten, ohne eine Verschattung der PV-Module der ENERGYbase zu verursachen. Weiters muss bei der Platzierung darauf acht gegeben werden, dass weder die Nutzer der ENERGYbase noch der TECHbase durch Lichtflackern der Kleinwindkraftanlagen gestört werden. Die drei rot markierten Punkte erfüllen diese Anforderungen. Alle anderen Standorte würden entweder die PV-Module der ENERGYbase verschatten oder die Nutzer der TECHbase durch Lichtflackern behindern. Wesentlich ist weiters, dass Anlagen gewählt werden, deren Geräuschentwicklung im akzeptablen Bereich liegt. Zusätzlich ist bei einer Errichtung von KWKA sicherzustellen, dass eine Entkopplung zwischen Gebäude und Montageelement

der Anlage besteht, damit allfällige Vibrationen nicht in das Bauwerk geleitet werden. Aus den genannten Gründen ist ersichtlich, dass es noch viele Fragen in Bezug auf Kleinwindkraftanlagen auf Gebäuden zu klären gibt. Für den Fall der FUTUREbase bedeutet dies, dass man die technische Entwicklung vor allem von Darrieus-Rotoren und die zukünftige rechtliche Situation für die Errichtung von Kleinwindkraftanlagen weiter beobachten muss. Aufgrund der turbulenten Windschichten und der Ablösewolke, in der sich die KWKA befinden wird, wird es unerlässlich sein, am geplanten Standort der KWKA exakte Windmessungen durchzuführen, um bewerten zu können, ob Windkraft am Standort der FUTUREbase effizient zur Stromerzeugung herangezogen werden kann.

Die Windmessdaten, die am Dach der ENERGYbase durchgeführt worden bieten pro Tag 288 Messwerte an. Die Daten spiegeln die Windgeschwindigkeiten wider, die Windrichtung wurde nicht gemessen. Zur Veranschaulichung des Potenzials soll untersucht werden, eine am Markt erhältliche 5 kW Anlage mit den zur Verfügung stehenden Winddaten zu verbinden. Bei der KWKA handelt es sich um eine 5kW Anlage¹ mit einem H-Rotor, die den Vorteil hat, dass sie dem Wind nicht nachgeführt werden muss und die nicht verfügbaren Werte über die Windrichtung für die Untersuchung unwesentlich sind. Die Anlage hat eine Anlaufgeschwindigkeit von 1,5 m/s, die Nennwindgeschwindigkeit beträgt 11,4 m/s und die Abschaltgeschwindigkeit 17 m/s.

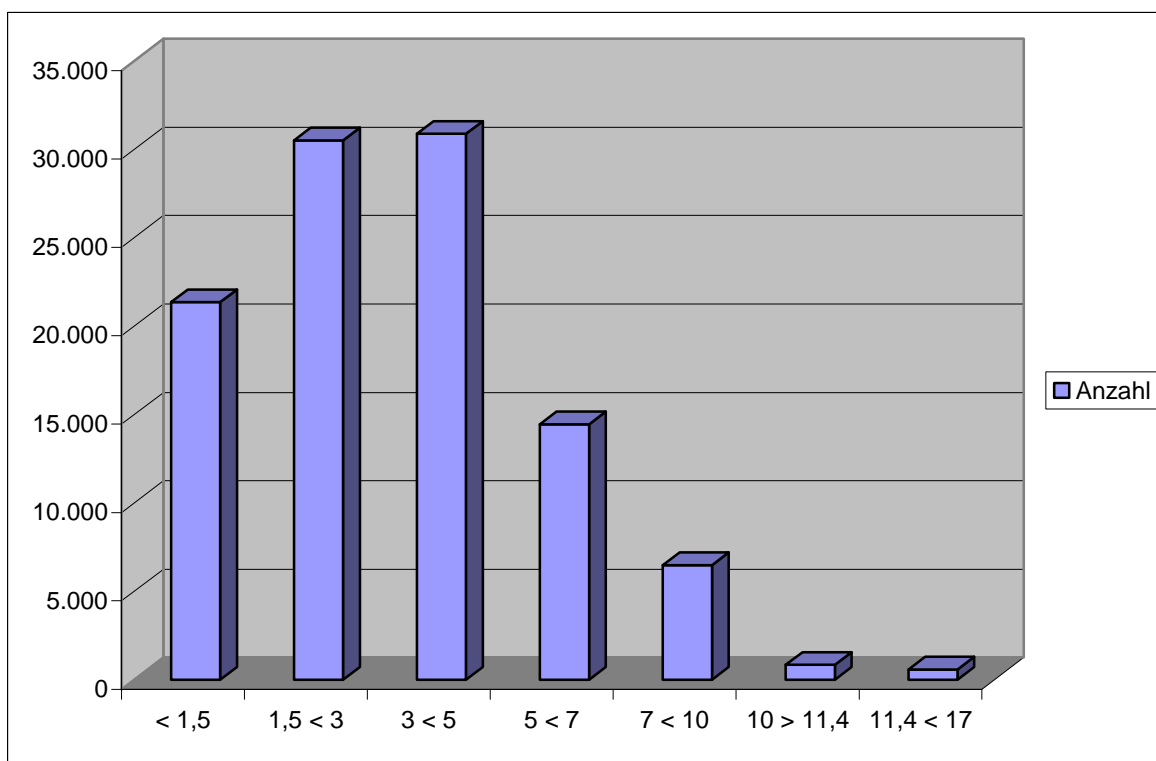


Abbildung 13: Häufigkeiten der Windgeschwindigkeiten (m/s), Quelle: selbst erstellte Grafik

¹ Windenergiesystem Vata H5, Quelle: www.neuhueser.com

Abbildung 13 zeigt die Häufigkeit für verschiedene Windstärken, die erste Säule zeigt die Häufigkeiten für Windstärken unter 1,5 m/s, die zweite Säule den Bereich zwischen 1,5 und 3 m/s, die dritte Säule den Bereich zwischen 3 und 5 m/s, die vierte den Bereich zwischen 5 und 7 m/s, die fünfte zwischen 7 und 10 m/s, die sechste zwischen 10 und 11,4 m/s und die siebte schließlich zwischen 11,4 und 17 m/s. Die Grafik zeigt deutlich, dass die Windgeschwindigkeiten von Null bis 5 m/s die größte Häufigkeit aufweisen. Die Nennleistung der ausgewählten Anlage wird bei einer Windgeschwindigkeit von 11,4 m/s erreicht, wo die Leistung von 5 kW der KWKA voll entfaltet wird. Diese 11,4 m/s bis 17 m/s, wird nur in 0,5 % der Fälle erreicht. Von den aufgezeichneten 105.120 Messpunkten erfüllen nur 572 Punkte diesen Wert. Zu ca. 20 % läuft die Anlage nicht, weil die Windgeschwindigkeit unter der Anlaufgeschwindigkeit 1,5 m/s liegt. Nachdem die Kennlinie dieser Anlage nicht bekannt ist, kann keine Abschätzung über den Ernteertrag gemacht werden.

4.3.6 Auswirkung auf die Energiebilanz

Vorausgesetzt, dass die technischen und rechtlichen Voraussetzungen eine Installation von Kleinwindkraftanlagen zulassen, könnten diese einen aktiven Beitrag zur Energiebilanz der FUTUREbase beitragen. Auf jeden Fall werden weitere Messungen notwendig sein, um das Energieproduktionspotenzial abschätzen zu können. Obiger Versuch hat allerdings gezeigt, dass die Windgeschwindigkeiten zur Erreichung der Nennleistung am Standort nicht häufig vorkommen.

4.4 Pflanzeneinbindung zur Raumlufthefeuchtung

Vor allem während der Heizperiode im Winter ist es notwendig, die Zuluft von Lüftungsanlagen in Bürogebäuden zu befeuchten, da die relative Luftfeuchtigkeit unter den für Wohn- und Arbeitsräumen empfohlenen Bereich von 40 % relativer Luftfeuchte liegt. Zu trockene Luft beeinträchtigt funktionell und organisch die Schleimhäute der oberen Atemwege, besonders des Nasenraumes, was zu gesundheitlichen Problemen und Unbehaglichkeit führen kann [vgl. Laasch et al. 2005, S. 726]. Die Befeuchtung in zentralen Lüftungsanlagen erfolgt durch Zerstäuben von Wasser oder Einblasen von Dampf. Die befeuchtete Luft wird über Rohrsysteme den einzelnen Räumen zugeführt. In dieser Arbeit soll untersucht werden, welche Auswirkungen Pflanzeneinbindung zur Raumlufthefeuchtung für das Luftbefeuchtungskonzept für das Projekt FUTUREbase haben können. Diesbezüglich wird auf die wissenschaftlichen Erkenntnisse von zwei Projekten zurückgegriffen werden, die Pflanzeneinbindung zur Raumlufthefeuchtung verwenden. Bei den zwei Gebäuden handelt es sich zum einen um das Bürogebäude ENERGYbase in Wien und zum anderen um den Biohof Achleitner in Oberösterreich, wobei zwei äußerst verschiedene Ansätze gewählt wurden. Unabhängig davon, welche Technologie verwendet wird, brauchen Pflanzen Licht, Wärme, Wasser und Nährstoffe.



Abbildung 14: Position Pflanzenpuffer ENERGYbase, Quelle: www.caliqua.at

Die ENERGYbase ist mit vier zentralen Pflanzenpuffern ausgestattet, die sich im Wesentlichen an vier Standorten im Gebäude befinden. Wie Abbildung 14 zeigt befinden sich zwei Puffer an der Ost- und Westfassade des Gebäudes und zwei Pflanzenpuffer in der in der Gebäudemitte hinter der verglasten Südfassade. Die Gesamtfläche der Puffer beträgt rund 175 m². Jeweils ein außen und innen liegender Puffer sind in einer Einheit der Lüftungsanlage zusammengefasst. Die Regelung erfolgt über jeweils zwei Volumenstromregler je Lüftungsanlage, wobei einer für den inneren und einer für den äußeren Pflanzenpuffer zur Anwendung kommt. In der ENERGYbase kommt eine einzige Pflanze, eine Sorte von Zyperngras zur Anwendung, die über eine besonders hohe Feuchteabgabekapazität verfügen soll [vgl. Hamp 2011, S. 10]. Grundsätzlich wurde davon ausgegangen, dass die Menge der Feuchteabgabe von Pflanzen primär von den Lichtbedingungen abhängig ist. Eine Bachelorarbeit an der Fachhochschule Technikum Wien zum Thema Pflanzenpuffer in der ENERGYbase hat allerdings gezeigt, dass sich die Lichtstärke als Einflussfaktor als kaum relevant herausstellte. Die Auswertungen dieser Arbeit kommen zum Ergebnis, dass tatsächlich für die Befeuchtungsleistung sowohl für die äußeren, als auch die inneren Puffer eine starke Abhängigkeit von der vorherrschenden Temperatur festgestellt werden konnte. Sogar kleinere Temperaturschwankungen in den Puffern haben einen erheblichen Einfluss auf den Feuchtegewinn [vgl. Hamp 2011, S. 40].

Der Biohof Achleitner wählte eine andere Strategie. Wie Abbildung 15 zeigt, ist hier der gesamte Bürobereich sowie Teiles des Bio-Kulinariums und des Bio-Frischmarktes mit großzügig dimensionierter und dauerhafter funktionaler Innenraumbegrünung ausgestattet.



Abbildung 15: Innenraumbegrünung Biohof Achleitner, Quelle: Preisack et al. 2008, S. 70

Anders als in der ENERGYbase kommen im Biohof Achleitner verschiedenste Pflanzen als Feuchtespender zur Anwendung. Sie sind direkt in den Büros und Verkaufsfächen platziert, weshalb Mitarbeiter und Kunden in direkten Kontakt mit den Pflanzen kommen. Grundsätzlich ist anzumerken, dass abgesehen von der Raumklimatisierung mit Hilfe von

Pflanzen das gesamte Gebäudekonzept ökologisch ausgelegt ist, was zu folgenden Schwerpunkten bei der Umsetzung führte [vgl. Preisack et al 2008, S. 10]:

- Nachhaltige Ansätze bei der Wahl der Baumaterialien
- Einsatz von Holz, Lehm und Stroh
- Strohdämmung, erzeugt auf den eigenen Feldern für Hallenwände und –dach
- Einsatz erneuerbarer Energien (PV, Grundwasser, Erdregister)
- Raumklimatisierung mit Hilfe von Pflanzen

Ein erwähnenswerter Punkt an dieser Stelle ist, dass die Ergebnisse der Untersuchungen des Biohofs Achleitner zu dem Schluss kommen, dass die Feuchteabgabe der Pflanzen stark mit dem Tageslichtangebot korreliert – dies ganz im Gegensatz zu den Erkenntnissen, die in der ENERGYbase gefunden wurden [vgl. Preisack et al. 2008, S. 61], wo man beobachten konnte, dass die Wärme in den Pflanzenpuffern maßgeblich entscheidet, wie viel Feuchte abgegeben wird. Ob dies auf die unterschiedlich verwendeten Pflanzen zurückzuführen ist oder andere Gründe hat, kann in dieser Arbeit nicht weiter verfolgt werden.

4.4.1 Vor- und Nachteile zu Standardlösungen

Aufgrund der Verschiedenartigkeit der Varianten mit zentralen Pflanzenpuffern in der ENERGYbase und mit frei aufgestellten Pflanzen wie im Biohof Achleitner muss auf die Vor- und Nachteile der angewandten Systeme getrennt eingegangen werden. Begonnen werden soll mit den Vorzügen und Schwachstellen der zentralen Pflanzenpuffer in der ENERGYbase.

Die Pflanzenpuffer tragen dazu bei, während der Wintermonate durch ökologische, kontrollierte Befeuchtung der Zuluft ein behagliches Raumklima zu schaffen. Ein großer Vorteil dieses Systems ist, dass sie als abgeschlossene Feuchtegeneratoren arbeiten, regelbar, präzise steuerbar und damit als berechenbare Größe in ein haustechnisches System integrierbar sind [www.ENERGYbase.at/im_energiekonzept.html]. Ein weiterer Vorteil ist, dass Wärme- und Feuchterückgewinnungsanlagen installiert werden können, die über Wirkungsgrade von 80 – 90 % verfügen [vgl. Hamp 2011, S. 5]. Mit den grünen Pflanzenpuffern wird das Erscheinungsbild des Gebäudes aufgelockert und diese helfen, die ökologischen Gesichtspunkte, denen bei der Planung und der Errichtung der ENERGYbase Rechnung getragen wurde, optisch zu unterstreichen.

Eine Schwachstelle stellt die Kondensationsproblematik mit der Gefahr der Schimmelbildung in den Grünpuffern der ENERGYbase dar. Diese kann hauptsächlich in den Wintermonaten auftreten. Denn aufgrund der niederen Außentemperaturen ist es nicht möglich, das Problem durch Fensterlüftung zu lösen. Anders hingegen im Sommer, wo aufgrund der hohen Feuchteproduktion der Pflanzen Kondensation zwar auftreten kann, hier aber die Fensterlüftung möglich ist, da die Außentemperatur dies zulässt. Voruntersuchungen mittels Simulation haben ergeben, dass an der nordseitigen Verglasung des Westpuffers für mehr als 3000 Stunden mit Kondensation zu rechnen ist (mit Gesamtluftmenge in den vier Puffern von 5900 m³/h von 6 – 18 Uhr). Weitere Simulationen mit dem Ziel der Lösung dieses Phänomens haben gezeigt, dass die Kondensationszeiten auf bis unter 200 Stunden reduziert werden können. Dieser stark verbesserte Wert ist aber nur dann möglich, wenn auch am Wochenende und während der Nacht (0 – 6 Uhr und 18 – 24 Uhr) die Lüftung aktiviert ist. Das beste Ergebnis von den erwähnten 200 Stunden ist zu erreichen, wenn der Gesamtluftstrom 5900 m³/h beträgt (derselbe Wert wie unter Tags, wenn das Gebäude besetzt ist) und die Feuchterückgewinnung deaktiviert ist [vgl. Arsenal Research 2008, S. 39ff]. Obwohl die Kondensationsproblematik durch diese Maßnahme gut beherrschbar ist, stellt der hohe Energieaufwand für die ständige Lüftung während der Nacht und an Wochenenden einen wesentlichen Kritikpunkt dar. So betrug zum Beispiel der Stromverbrauch der westlichen Lüftungsanlage von Ende Jänner bis Ende März aufgrund des notwendigen Stützbetriebes 3.692 kWh und lag somit um ein Drittel höher als im Vergleichszeitraum von Ende Oktober bis Ende Dezember [vgl. Hamp 2011, S. 25], wo allerdings auch schon Stützbetrieb erforderlich war. Das Kondensationsproblem wurde innerhalb des FUTUREbase Projektteams diskutiert. Laut pos-architekten könnte das Problem heute verringert werden, indem man heute erhältliche bessere Rahmen und besser abgedichtete Klappen in den Pflanzenpuffern verwendet. Weiters ist zu sagen, dass die Gesamtleistung der Befeuchtung nicht ausreicht und zusätzlich zu diesem innovativen System eine herkömmliche künstliche Zuluftbefeuchtung – wenn auch kleiner dimensioniert - notwendig ist. Man muss also zwei Systeme planen und betreiben, weiters sind komplexe Regelstrategien notwendig. Die Datenlage reicht im Moment nicht aus, um eine Aussage, wie viel die Pflanzenpuffer zur Befeuchtung des Gebäudes beitragen, treffen zu können.

Innenraumbegrünung wie beim Biohof Achleitner angewendet weist zum obigen System unterschiedliche Vor- und Nachteile auf. Da sich die Pflanzen in den Räumen befinden, kommen Mitarbeiter und Gäste in direkten Kontakt mit den Pflanzen, was zu positiv psychischen Wirkungen führen kann. Diese positiven Effekte durch Steigerung des Wohlbefindens werden von der umfangreich angelegten Studie zur Bürobegrünung bei BMW in München, Untersuchungen der norwegischen Forscherin Tove Fjeld und Mitarbeiterbefragungen des Biohofs Achleitner belegt. Weiters positiv zu erwähnen ist die Schallreduktion durch die Pflanzen in Räumen, diverse Studien kommen zum Ergebnis, dass Schallpegeldämpfungen von bis zu 5 dB möglich sind. Intensiver Innenraumbegrünung wird zusätzlich nachgesagt, Schadstoffabbau in Büroräumen zu

fördern, diesbezüglich weichen Studien allerdings voneinander ab, allgemein gültige Aussagen können dazu nicht getroffen werden [vgl. Preisack et al. 2008, S. 44]. Obwohl obige Vorteile auf jeden Fall erwähnenswert sind, soll der Schwerpunkt in dieser Arbeit auf die Befeuchtungsleistung von direkt in Räumen platzierten Pflanzen liegen.

Die zusammengefassten Untersuchungen der Donauuniversität Krems im Bericht von Preisack et al. zeigen deutlich, dass Innenraumbegrünung unter der Voraussetzung professioneller Ausführung und Planung einen nachweislichen Beitrag zur Feuchteregulation und auf diesem Weg zur evaporativen Kühlung beitragen können. Sämtliche in der Folge angegebenen Erkenntnisse beziehen sich auf diese Untersuchungen [vgl. Preisack et al. 2008, S. 68f.]. Demnach kann eine standortgerechte Innenraumbegrünung im Ausmaß von ca. 5 – 10 % der Nutzfläche eine Steigerung der relativen Luftfeuchte um 5 – 10 % bewirken, wobei die Verdunstungsleistung im Wesentlichen nur tagsüber stattfindet. Ein wesentlicher Punkt für haustechnische Dimensionierungen ist, dass mit hoher Genauigkeit davon ausgegangen werden kann, dass das gesamte Gießwasser verdunstet wird. Zusätzlich kann für die haustechnische Dimensionierung überschlagsmäßig eine mittlere stündliche Verdunstungsleistung durch Division der Gießwassermenge durch die Anzahl der Tage des Gießzyklus unter Rücksichtnahme der Stunden zwischen Sonnenauf- und untergang ermittelt werden. Die aus der Verdunstung resultierende Kühlleistung unter den gegebenen Annahmen kann mit etwa 8 W/m² angegeben werden. Die Temperatur der Blattoberfläche, die meist unter der Raumtemperatur liegt, kann einen weiteren Beitrag zur Temperaturregulation leisten, dieses Phänomen war aber nicht Gegenstand der Untersuchungen. Für die FUTUREbase hieße das, dass bei selben Bedingungen wie im Biohof Achleitner bei einer angenommenen Nutzfläche für Büros von 10.320 m² eine intensive Begrünung von ca. 1000 m² (10 Prozent) eine Kühlleistung von 82,5 kW bringen würde. Ein weiterer Vorteil von Innenraumbegrünung im Gegensatz zu Pflanzenpuffern ist, dass die Feuchtigkeit nicht mit Hilfe von Ventilationsanlagen transportiert werden muss, da die Pflanzen die Feuchtigkeit dort abgeben, wo sie benötigt wird, nämlich im Büro- oder Verkaufsraum.

Ein Nachteil dieses Systems ist es, dass eine seriöse Prognose über die Verdunstungsleistung einer geplanten Innenraumbegrünung nur äußerst schwierig ist, da diese von der Pflanzenart, der Lufttemperatur, der Luftfeuchte, Luftzug und der individuellen Vitalität der Pflanze abhängig ist [vgl. Preisack et al. 2008, S. 68 f.]. Das bedeutet, dass im Gegensatz zu Pflanzenpuffern Innenraumbegrünung nicht regel- und steuerbar und in das haustechnische System integrierbar ist. Ein weiterer Nachteil ist der hohe Platzbedarf der Pflanzen von ca. 10 % der Nutzfläche. Wie bei Pflanzenpuffern ist die Befeuchtungsleistung von Pflanzen nicht ausreichend, um auf eine herkömmliche Luftbefeuchtungsanlage verzichten zu können.

4.4.2 Technische Einsatzgrenzen

Klar als technische Einsatzgrenze zu sehen ist die Tatsache, dass sowohl bei Pflanzenpuffern als auch bei Innenraumbegrünung klassische Befeuchtungsanlagen notwendig sind. Das heißt, dass man dem Gebäude ein weiteres System hinzufügt und das Bauwerk um einen Teil komplexer wird. Entscheidend bei Pflanzenpuffern ist deren Lage im Gebäude, da Lichtangebot und Wärmeeintrag einen hohen Einfluss auf die Befeuchtungsleistung der Pflanzen ausüben. Eine große Gefahr bergen die Pflanzenpuffer im Bereich der Kondensation, denn kommt es zu Schimmelbildung werden dessen Sporen über das Lüftungssystem in die Räume transportiert, was zu negativen gesundheitlichen Effekte führen könnte.

Bei sowohl Pflanzenpuffern als auch Innenraumbegrünung bedarf es genauer Planung. Voraussetzungen sind die genaue Kenntnis der einzusetzenden Pflanzen, exakte Architekturplanung für Tageslicht und Situierung der Pflanzen, Festlegung der Bereiche für automatische Bewässerungsanlagen und händische Pflanzenbewässerung, Auslegung der Größe der Pflanzgefäße und Pflanzen, die Umsetzung von Pflanzthemen und bauphysikalische Bewertung der Pflanzenoberflächen [vgl. Preisack et al. 2008, S. 25].

4.4.3 Umsetzung im Bauprozess

Wie beschrieben muss man die Einbindung von Pflanzen zur Raumlufthefeuchtung schon im Planungsstadium des Gebäudes berücksichtigen. Sowohl Pflanzenpuffer als auch Innenraumbegrünung verlangen auf verschiedenste Dinge Rücksicht zu nehmen. Zum Beispiel stellen die heute verwendeten Funktionsverglasungen eine Herausforderung an die Pflanzenauswahl dar. Oft sind diese heute für Sonnenschutz oder Bruchsicherheit mit Metallbedampfung oder mit Folien beschichtet, die ganz bestimmte Wellenlängen der Sonnenstrahlung wegfiltern, die die Pflanzen möglicherweise unbedingt benötigen. Bezüglich Verglasung sei erwähnt, dass die verwendeten Gläser eine Lichttransmission von mindesten 70 % aufweisen sollten [vgl. Preisack et al. 2008, S. 34 und 47]. Weiters gilt es bei der Bauplanung darauf zu achten, dass ausreichend Wasseranschlüsse für automatische Bewässerungsanlagen eingerichtet werden müssen. Grundsätzlich können für die FUTUREbase sowohl Pflanzenpuffer als auch Innenraumbegrünung angewandt werden, da keine technischen Gründe gegen einer der beiden Technologien sprechen.

4.4.4 Auswirkung auf die Energiebilanz

Auch bei beim Beitrag zur Erreichung des Plus Energie Standards der Future Base muss man zwischen Pflanzenpuffern à la ENERGYbase und Innenraumbegrünung mit Vorbild Biohof Achleitner unterscheiden. Die Pflanzenpuffer führen zwar zu einer Verminderung des künstlichen Befeuchtungsbedarfes, allerdings muss die befeuchtete Luft mit Hilfe stromgetriebener Ventilatoren im Gebäude transportiert werden. Ein wesentliches

Hindernis von Pflanzenpuffern zur Verbesserung der Energiebilanz in der FUTUREbase ist die Tatsache, dass auch während der Nacht und an Wochenenden zu bestimmten Zeiten, vor allem im Winter, die Ventilation laufen müsste, um Kondensation in den Puffern und somit mögliche Schimmelbildung zu vermeiden.

Intensive Innenraumbegrünung hingegen kommt gänzlich ohne Ventilation aus. Die entstandene Feuchtigkeit wird direkt dort erzeugt, wo sie benötigt wird. Die Pflanzen in den Räumen verringern den künstlichen Befeuchtungsbedarf und den Transport der befeuchten Luft und tragen so der Energiebilanz des Gebäudes positiv bei. Ein weiterer Punkt hier ist, dass weniger gekühlt werden muss, da man von einer Kühlleistung der Pflanzen von 8 W/m^2 Bürofläche ausgehen kann, für die FUTUREbase entspräche dies einer Kühlleistung von ca. 80 kW. Aus energetischer Sicht wäre somit die intensive Innenraumbegrünung den Pflanzenpuffern vorzuziehen.

4.5 Zentrale IT-Lösungen zur Verringerung der internen Lasten

Der Kühlbedarf für ein Bürogebäude ist heute meist höher als der Heizbedarf. Dies hat mehrere Gründe. Zum einen befinden sich mehr Menschen auf kleinerem Raum über längere Zeit im Gebäude, ein Mensch gibt eine Leistung von ungefähr 100 W ab. Zum anderen führt die hohe elektronische Ausstattung wie Kopierer, PC, Drucker oder Bildschirme von Büroarbeitsplätzen zu hohen Wärmeabgaben. Die Beleuchtung stellt einen weiteren Temperaturtreiber dar.

In diesem Abschnitt dieser Arbeit soll untersucht werden, ob dezentrale IT-Lösungen zu einer Verringerung der internen Lasten in einem Bürogebäude führen können. Beleuchtung, solarer Eintrag und die von Menschen emittierte Wärme sollen nicht besprochen werden. Abbildung 16 zeigt das noch heute in der Bürowelt dominierende Client/Server-Modell.

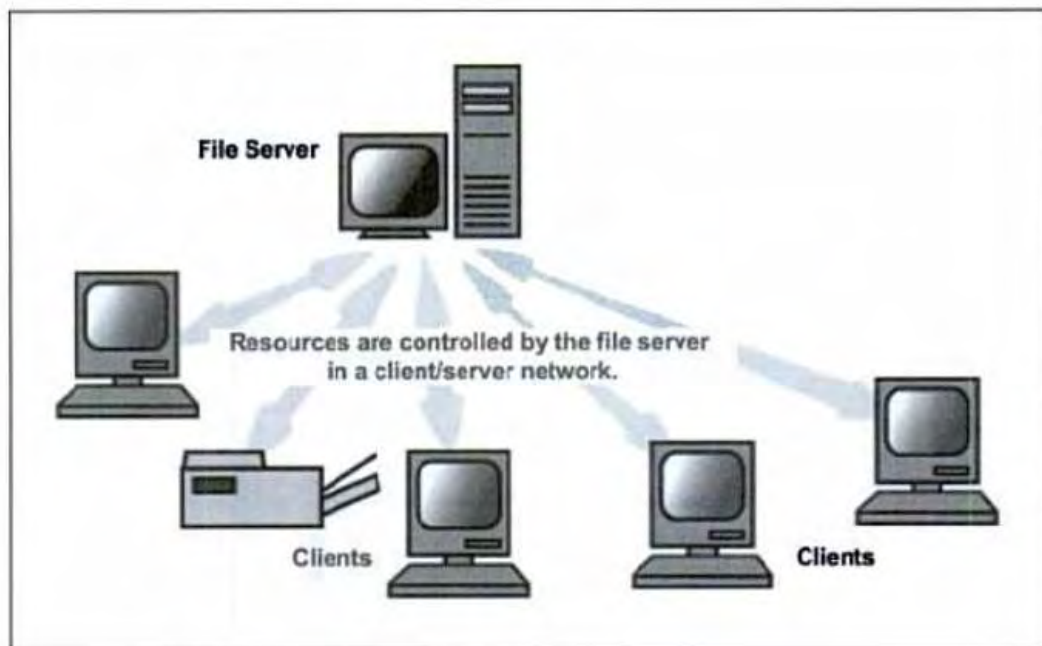


Abbildung 16: Client/Server-Modell, Quelle: Lampe 2010 S. 92

Dabei liegen die Daten zentral auf einem File Server und die Anwendungen auf den einzelnen PCs der Mitarbeiter. Am PC bearbeitet der Anwender Daten mit dem lokal installierten Programm und hat dann die Wahl, die geänderten Dateien entweder am PC selbst oder aber auf dem File Server abzuspeichern. Dies führt dazu, dass Daten auf verschiedenen Speichermedien in der Netzwerklanschaft verstreut liegen, was es schwierig macht, diese konzentriert zu sichern [vgl. Lampe 2010, S. 91 f].

Beim Server Based Computing, wie in Abbildung 17 dargestellt, liegen sowohl Daten als auch Programme zentral auf dem Server, lediglich Bildschirminhalte, Maus- und Tastatureingaben werden über Netzwerke übertragen. Eine Speicherung lokal auf dem Client ist nicht möglich.

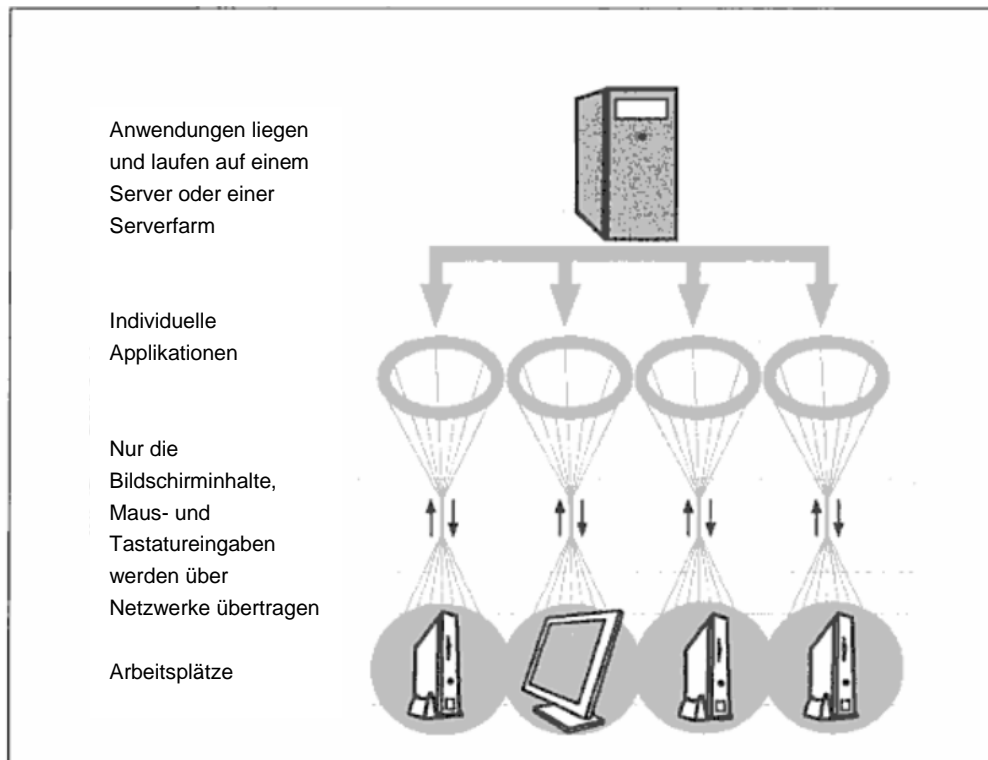


Abbildung 17: Server Based Computing, Quelle: Lampe 2010 S. 93

Der Server oder die Serverfarm fungieren quasi als großer Rechner, auf dem alle Anwender dieselben Programme benutzen können. Der Zugriff auf den Rechner erfolgt über so genannte Thin Clients, die über keine Festplatte verfügen [vgl. Lampe 2010, S. 93]. Für Thin Clients gibt es keine eindeutige Definition, das Fraunhofer-Institut bezeichnet diese Geräte als „Desktopcomputer ohne bewegliche Teile, wie beispielsweise Festplatten, CD-Laufwerke oder Lüfter, die über eine zentrale Verwaltungssoftware konfiguriert und verwaltet werden können“ [Fraunhofer-Institut 2008, S. 10]. Neu ist das Prinzip der Zentralisierung in der EDV nicht. Auch früher wurden zentrale IT-Systeme als Mainframe-Zentralrechner und Terminals betrieben, allerdings waren diese Vorgänger der Thin Clients Text basiert, wogegen deren Nachfolger heute eine grafische Oberfläche und ein Mouse basiertes Handling anbieten, die sich kaum von der Arbeit an einem PC unterscheiden [vgl. Lampe 2010, S. 93]. Abbildung 17 zeigt einen typischen Thin Client Arbeitsplatz, wobei der einzige optische Unterschied für den Anwender ist, dass Eingabegeräte und Bildschirm am Thin Client und nicht auf einem Rechner angeschlossen sind.



Abbildung 18: Thin Client Arbeitsplatz, Quelle: www.contactcloud.net

Die Verwendung von Thin Clients stellt die extremste Art und Weise dar, um die Wärmelasten von IT-Geräten in Büros zu minimieren. Wie man im nächsten Kapitel sehen wird, sind Thin Clients nicht für alle Anwendungen geeignet, weshalb dann der Einsatz von Notebooks anstelle von PCs zu bevorzugen wäre.

4.5.1 Vor- und Nachteile zu Standardlösungen

Thin Client Modelle erfreuen sich in großen Unternehmen bereits heute großer Beliebtheit, Unternehmen wie Coca Cola, 3M, BASF, Bayer Healthcare, ArcelorMittal, Carrier, Procter&Gamble, GlaxoSmithKline, Siemens, Subaru, UPS und viele andere Konzerne setzen auf die Vorteile dieser schlanken Technologie [vgl. www.thinmanager.com]. Der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. hat aufgrund der Erkenntnisse der Studie „Ökologische Vergleich der Klimarelevanz von PC und Thin Client Arbeitsplatzgeräten 2008“, die vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) durchgeführt worden ist, Tabelle 3: Gegenüberstellung Thin Client und PCs, Quelle: BITKOM 2008 erstellt, die Thin Clients mit PCs in verschiedenen Bereichen vergleicht:

	Thin Clients	PCs
Anwendungssoftware-Management	Zentral verwaltet	Muss auf jeden Desktop gewartet werden
Nutzungsdauer	Über fünf Jahre	Ca. drei Jahre
Altersfaktor / Upgrademanagement	Gering: Kein Hardware-Upgrade erforderlich, um neue Applikationen zu betreiben	Hoch: Applikationen der nächsten Generation erfordern oftmals ein Upgrade
Software-/Hardware Interdependenzen	Praktisch keine	Hoch: Die Hardware muss in der Lage sein, die Applikation zu betreiben.
Sicherheit: Anfälligkeit für Datendiebstahl	Nicht vorhanden. Daten können nicht entfernt werden (sofern vom IT-Manager spezifiziert)	Daten können per Diskette, Zip-Laufwerk, CD-Brenner, etc. entfernt werden.
Sicherheit: Virenanfälligkeit	Nicht vorhanden. Keine Eintrittsstelle für Viren	Viren können über Disketten, E-Mail und Internet eindringen.
Zuverlässigkeit	Keine beweglichen Teile vorhanden, die versagen könnten.	Laufwerke, CD-Rom, Gebläse etc. sind verschleißanfällig
Nutzung der Netzwerkbandbreite / vorhersagbare Auslastung	Gering – Ein Zehntel der üblichen „Fat Client“ Nutzung. Sehr gut vorhersagbar.	Stark schwankend – schwer vorherzusagen. Im Vergleich zum Thin Client ist die zehnfache Bandbreite erforderlich.
Jedem Anwender zur Verfügung stehende effektive Rechenleistung	Abhängig von der Anzahl der gleichzeitigen Anwender, der Leistung und Anzahl der Server, etc.	Dem Anwender stehen 100 % der PC-Ressourcen zur Verfügung, wovon jedoch in der Regel nur 10 % genutzt werden.
Zielanwender	Task-based Personal, Point of Service, Knowledge Workers, öffentliche Terminals, Fabriken	Power User, Informationsschaffende, reisende Anwender, technisches und grafisches Personal
Kaufpreis	Ab 199 EUR	Unternehmens PCs ab 650 EUR
Relative Total Cost of Ownership (TCO)	Weniger als 63 %	100 %

Tabelle 3: Gegenüberstellung Thin Client und PCs, Quelle: BITKOM 2008

Obige Tabelle zeigt, dass die Vorteile von Thin Clients gegenüber PCs vielfältig sind. Bei Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verwaltung punktet das Server Based

Computing. Der Energieverbrauch von Thin Clients spiegelt sich in obiger Auflistung in den Relative Cost of Ownership wider. Studien belegen, dass diese schlanke Art von IT-Infrastruktur im Vergleich zu Client/Server Modellen ca. 50 % Strom sparen helfen, der Stromverbrauch der zentralen Serverfarmen ist dabei bereits inkludiert. Gemäß der Studie gibt ein PC, wenn er nicht abgeschaltet ist, konstant ca. 78 W ab, ein Thin Client hingegen 18 W im Betrieb und 1,4 W im „Soft-off“ [vgl. Fraunhofer-Institut 2008, S. 69 f.]. Für die FUTUREbase mit angenommenen 800 Büroarbeitsplätzen würde das heißen, dass im gesamten Gebäude durch PCs konstant 60kW abgegeben werden würden, im Vergleich dazu würde die Wärmeabgabe von Thin Clients im Betrieb 14.4 kW betragen. Das heißt, dass vom PC verursachte interne Lasten im Büro um nahezu 75 % reduziert werden können und somit die erforderliche Kühlleistung in demselben Ausmaß sinkt. Der dadurch erhöhte Energieverbrauch im Serverraum verursacht dort eine höhere Wärmelast, hier kann die Wärme jedoch besser genutzt werden und für die Erzeugung von Raum- oder Nutzwasserwärme verwendet werden [vgl. Der Spiegel 47/2010, S. 133]. Die Studie des Fraunhofer-Institutes geht über den Energieverbrauch hinaus und vergleicht Thin Clients mit konventionellen PC-Lösungen anhand des Life Cycle Ansatzes. Über fünf Jahre hinweg reduziert die Verwendung eines Server Based Computing 54 % weniger CO₂ als eine Client/Server-Lösung [vgl. Fraunhofer-Institut 2008, S. 73], da neben geringerem Energieverbrauch im Betrieb bereits die Herstellung wesentlich weniger material- und energieintensiv ist als jene für PCs.

Erwähnt soll an dieser Stelle der Einsatz von Notebooks werden. Obwohl diese von der Netzwerkstruktur ähnlich verwendet werden wie ein PC, also ein dezentrales Client/Server Modell darstellen, verfügen sie bezüglich Stromverbrauch und Wärmeabgabe PCs gegenüber wesentliche Vorteile. So verbraucht ein Notebook, das grundsätzlich Energiesparmodi nützt, durchschnittlich 25,2 W im Betrieb und 1,2 W im „Soft-off“ [vgl. Fraunhofer-Institut 2008, S. 69]. Der große Vorteil von Notebooks ist, dass diese mobil verwendet werden können ohne zusätzliche Bildschirme jederzeit und überall eingesetzt werden können. Der Nachteil von Notebooks im Vergleich zu PCs oder Thin Clients sind die in der Anschaffung höheren Kosten und die kürzere Lebensdauer.

Trotz ihrer Vorteile werden Thin Clients heute relativ wenig eingesetzt, in Europa wurden 2008 etwa 27 Millionen Desktop PCs und 1,2 Millionen Thin Clients verkauft [vgl. Fraunhofer-Institut 2008, S. 79], was an den vorhandenen Nachteilen liegen mag. Grafiklastige Anwendungen lassen sich eventuell nicht sinnvoll ausführen, wenn das Netz die Datenmenge nicht schnell genug verarbeiten kann oder Grafikkarten benötigt werden, die in Thin Clients oft nicht vorhanden sind. Als Grundregel gilt: je häufiger sich der Inhalt des Bildschirms ändert, desto mehr Last haben Server und Netzwerk zu verkraften. Zum Beispiel macht es einen Unterschied, ob der Inhalt eines SVGA- oder UXGA Bildschirms komprimiert und übertragen werden muss, weiters besteht ein Unterschied zwischen einer Grafikkarte mit 256 (8 Bit pro Pixel) oder 16 Mio. Farben (24 Bit pro Pixel) [vgl. <http://www.contentmanager.de>]. Bildschirmscrollen, Drucken oder Scannen können weitere Stolpersteine darstellen.

Hinzu kommt, dass der Betrieb von Anwendungen auf Servern aufgrund von Lizenzbestimmungen oftmals nicht erlaubt ist und kostspielige Genehmigungen von den Softwareentwicklern erfordern. Zudem kommt noch, dass Thin Clients nur eingeschränkt mobil nutzbar sind, wobei betont werden muss, dass sie für besondere Anwendungen als Home Office Geräte sehr gut geeignet sind, da externe Mitarbeiter auf zentrale Terminalserver über das Internet zugreifen können. Durch das komprimierte Übertragungsprotokoll wird nur eine geringe Bandbreite benötigt, es müssen keine Vorkehrungen gegen Datenverlust getroffen werden und erfüllen somit höchste IT-Sicherheitsanforderungen [vgl. BITKOM 2008, S. 8].

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Thin Clients über eine beachtliche Anzahl von Vorteilen verfügen, allerdings nicht in jedem Bereich die geeignete Lösung darstellen und Notebooks die bessere Wahl sind. Die gute Nachricht ist hier allerdings, dass man sich nicht zwischen einer reinen Thin Client oder dezentralen Landschaft entscheiden muss. Laut der Thin Client Plattform „Thinmanager.com“ sind gemischte Systeme durchaus wünschenswert, um den Anwendern eine gewisse Übergangsphase von PCs auf Thin Clients anbieten zu können und für gewisse Anwendungen einfach bei den herkömmlichen Geräten zu bleiben [vgl. www.thinmanager.com]. Ist es für gewisse Bereiche nicht möglich, auf Thin Clients umzusteigen, so empfiehlt sich der Einsatz von Notebooks, die aus energetischer Sicht effizienter sind und die Wärmelast dadurch reduziert wird. Der Bericht „Ökologische Vergleich der Klimarelevanz von PC und Thin Client Arbeitsplatzgeräten 2008“ geht davon aus, dass sich Thin Clients aufgrund von schnelleren Rechenleistungen, der Umstieg von der 32 auf die 64 Bit Technologie und der steigende Kostendruck auf Unternehmen zukünftig immer mehr durchsetzen werden [vgl. Fraunhofer-Institut 2008, S. 82 f].

4.5.2 Technische Einsatzgrenzen

Thin Client Netzwerke können frei skaliert werden, eine quantitative Begrenzung scheint nicht gegeben zu sein. Technisch gesehen ist ein Server Based Computing Netzwerk einfacher zu installieren als ein Client/Server Modell. Wie im oberen Kapitel beschrieben stoßen Thin Clients bei der Art der Anwendung oder Art der Anwender an Ihre Grenzen. Werden mobile oder grafische Leistungen vom Gerät erwartet, liegen PC- oder Notebook-Lösungen heute noch im Vorteil. Können Thin Clients nicht verwendet werden, so sind aus energetischer Sicht Notebooks mit Docking-Stations auf jeden Fall PCs vorzuziehen.

Wird an Thin Client Netzwerke gedacht, sollte im Vorfeld geklärt werden, ob der EMS- / ECM-Hersteller (Electronics Support Measures / Electronic Counter Measures) den zum Einsatz kommenden Terminalserver unterstützt. Weiters ist wichtig, ob Funktionen wie OCR, Renditioning, Archivieren von Dokumenten aus Mail und Office-Anwendungen etc. unterstützt wird. Bei der Auswahl der Hardware sollte der Hersteller Referenzen von

Projekten mit einem ähnlichen Anwendungsprofil vorweisen können [vgl. <http://www.contentmanager.de>].

4.5.3 Umsetzbarkeit im Bauprozess

Baulich gesehen sind zwischen einem Client/Server Modell und einem Server Based Computing nur geringe Unterschiede festzustellen. Beide benötigen einen Serverraum, Netzwerkleitungen und Stromversorgung. Der Serverraum für die Lösung mit Thin Clients muss größer dimensioniert werden. Bei der Bauplanung sollte man darauf achten, ob man die Abwärme der Serverfarmen nutzen will und gegebenenfalls den Standort des Serverraums so bestimmt, dass diese Energie optimal in das Energiekonzept des Gebäudes integriert werden kann. Wie in den Vor- und Nachteilen beschrieben, wird es nicht möglich sein, zu 100 % Thin Client Lösungen umzusetzen. Falls dezentrale Rechenleistung benötigt wird, sollte dies in Form von Notebooks anstelle von PCs zur Verfügung gestellt werden.

4.5.4 Auswirkung auf die Energiebilanz

Die Recherchen haben gezeigt, dass zentrale IT-Lösungen mit Thin Clients sogar einen dreifachen Beitrag zur Erreichung des Plus Energie Standards für ein Bürogebäude liefern können. Zum einen hilft Server Based Computing den Energieverbrauch des Gebäudes für die IT-Infrastruktur inklusive erhöhter Serverleistung um bis zu 50 % zu senken, zweitens hilft diese Technologie, die Wärmelasten in den Büros selbst zu vermindern und so die notwendige Kühlenergie in einem Bürogebäude zu minimieren. Als dritter Punkt kommt hinzu, dass die Abwärme der Serverräume viel besser genutzt werden kann, da diese zentral anfällt und gebündelt verwendet werden kann. Wie in den vorigen Kapiteln beschrieben, können Thin Clients nicht für jede Anwendung herangezogen werden, in diesem Fall sind Notebooks aus energetischer Sicht PCs vorzuziehen, da weniger Energie verbraucht und somit weniger Energie an das Büroumfeld abgegeben wird. Die Recherchen haben gezeigt, dass es nicht notwendig ist, sich bei der Planung der FUTUREbase für eine der beiden Technologien zu entscheiden. Mischsysteme, d.h. Arbeitsplätze mit Thin Clients und klassischen PCs oder vorzugsweise Notebooks werden durchaus betrieben und wirken sich positiv auf den Energieverbrauch des Gebäudes aus, ohne den Komfort der Anwender einzuschränken.

In der FUTUREbase werden ca. 700 Computerarbeitsplätze entstehen. Da nicht vorausgesagt werden kann, welche Anforderungen die künftigen Nutzer haben werden und daher nicht bestimmt werden kann, ob Thin Clients für alle User geeignet sein werden, sollen einige Szenarien einen Ausblick darüber geben, wie sich verschiedene Systemkonstellationen auf den Wärmeeintrag im Gebäude auswirken.

Im ersten konservativen Thin Client freien Szenario wird davon ausgegangen, dass der PC-Anteil 70 % und der Notebook-Anteil 30 % der IT-Infrastruktur beträgt. Im zweiten Szenario haben PCs einen Anteil von 30 %, Notebooks einen von 40 % und Thin Clients

einen Anteil von 30 %. Im dritten Szenario überwiegen bereits Thin Clients mit 50 %, Notebooks haben Anteil von 40 % und PCs einen Anteil von 10 %. Das vierte PC-freie Szenario schließlich soll zeigen, wie sich die Wärmelast von 75 % Thin Clients und 25 % Notebooks darstellt.

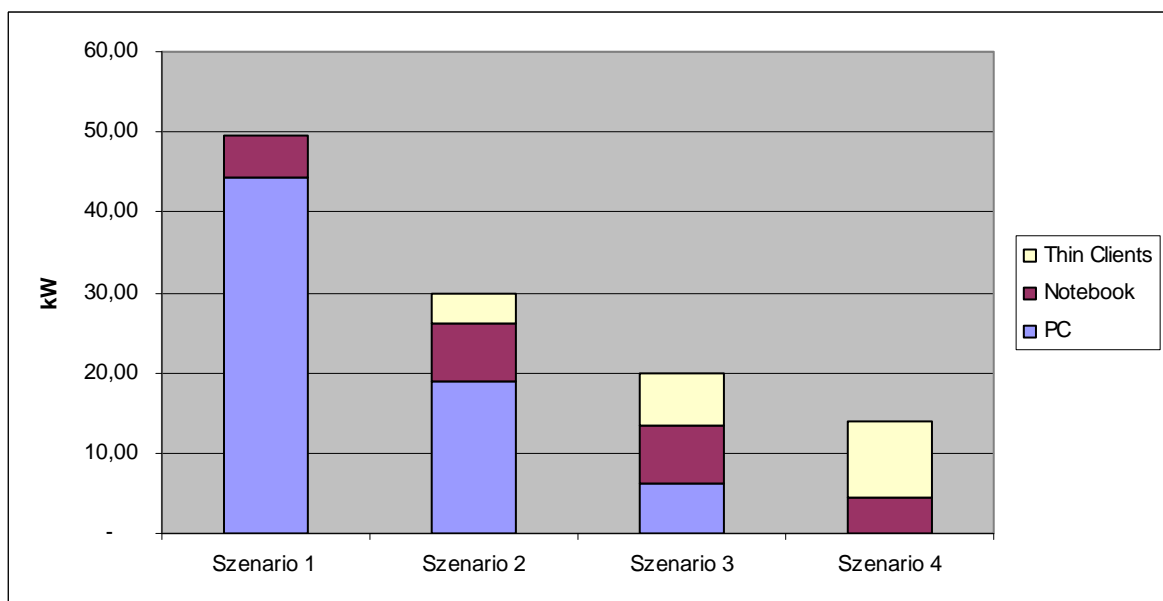


Abbildung 19: Wärmelast verschiedener IT-Szenarien, Quelle: selbst erstellte Grafik

Als Richtwerte der Wärmelast für die verschiedenen Geräte wurden die Messungen des Fraunhofer Institutes für den Bericht „Ökologischer Vergleich der Klimarelevanz von PC und Thin Client Arbeitsplatzgeräten 2008“ herangezogen. Dort wurde bei PCs von einer durchschnittlichen Leistung von 90,5 W, bei Notebooks von einer von 25,2 W und von Thin Clients von einer durchschnittlichen Leistungsaufnahme von 18,3 W ausgegangen. Diese Werte spiegeln den Durchschnitt eines neunstündigen Arbeitstages wider, wobei alle Geräte während der Nacht ausgeschaltet wurden [vgl. Fraunhofer-Institut 2008, S. 69 ff].

Abbildung 19 zeigt, dass das erste PC-lastige Szenario mit einem PC-Anteil von 70 % oder 490 Geräten eine Wärmelast für die Büros von knapp unter 50 kW bedeutet. Im zweiten Szenario werden nur noch 30 % PCs, 40 % Notebooks und bereits 30 % Thin Clients eingesetzt, hier beträgt die Wärmelast ziemlich genau 30 kW. Senkt man den PC-Anteil auf nur mehr 10 %, betreibt 40 % Notebooks und die Hälfte der Geräte durch Thin Clients, so kann die Wärmelast auf knapp unter 20 kW reduziert werden. Im vierten Szenario sieht man schließlich, dass wenn man gänzlich auf PCs verzichtet und ein Verhältnis Notebook zu Thin Clients auf 25 % zu 75 % bewirkt, die Wärmelast auf 14 kW begrenzen kann.

Die Szenarien zeigen ganz deutlich das hohe Einsparpotenzial der Wärmelast durch die Verwendung von Notebooks und Thin Clients. In unserem Beispiel konnte diese in den Büroräumen um 72 % reduziert werden. Sollte aus verschiedenen Gründen der Einsatz

von Thin Clients nicht möglich sein, so sollten nach Möglichkeit Notebooks PCs bevorzugt werden. Hier soll noch einmal erwähnt werden, dass diese Untersuchung auf den Wärmeeintrag der verschiedenen Systeme in den Büros darstellen soll und nicht den gesamten Stromverbrauch der verschiedenen Systeme. Serverleistungen sind in diesen Szenarien nicht berücksichtigt worden, da der Fokus auf den Wärmeeintrag der Systeme in Büros lag. Wie schon unter Punkt 4.5.1 beschrieben kann die anfallende Wärme in Serverräumen viel besser genutzt werden als jene in Büros und kann so zu Energieeinsparungen führen.

4.6 Wetterprognosegesteuerte Regelung

Während der letzten Jahre hat es bedeutende Entwicklungen in der Gebäudetechnologie, bei Wetterprognosen und Regelungen von dynamischen Systemen gegeben. Große Fortschritte gab es in der Informationstechnologie und Sensorik; heute stehen relativ günstig große Speicher- und Rechnerkapazitäten zur Verfügung.

Durch moderne Gebäudeleitsysteme ergeben sich immer komplexere Gesamtsysteme, die von stark variierenden Randbedingungen wie Wetter, dynamischen Strompreisen oder Belegung in der Hotellerie abhängen. Der Gedanke liegt daher nahe, die verschiedenen vorhanden Systeme und Technologien zu kombinieren und prognosegesteuerte Steuerungen (PGS) zu entwickeln. Damit könnte auf relativ einfache und kostengünstige Weise Energie eingespart und damit verbunden CO₂-Emissionen reduziert werden. Das Heranziehen aktueller Wetterdaten wie Außentemperatur für witterungsgeführte Regelungen von Kühlungen oder Heizungen ist heute Standard. Regelungen, die aufgrund prognosebasierter Werte die Gebäudetechnologie steuern sind jedoch bisher nur selten im Einsatz.

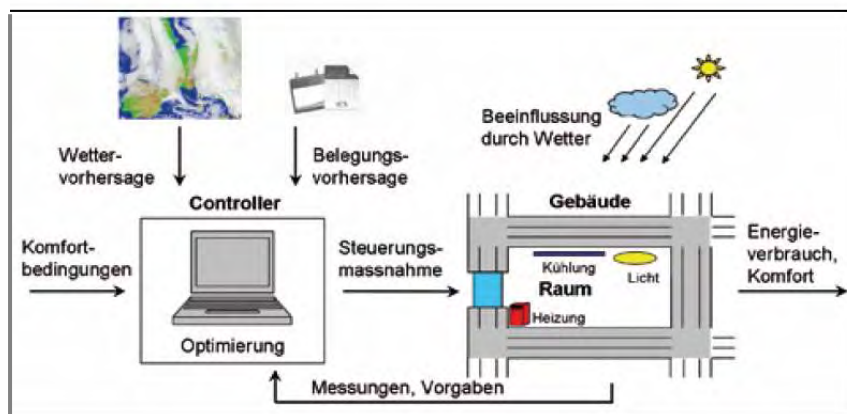


Abbildung 20: Darstellung der verschiedenen Komponenten und ihr Zusammenspiel bei der vorausschauenden Steuerung des Gebäudeklimas. Quelle: MeteoSwiss 2009, S. 29

Abbildung 20 zeigt deutlich, dass es sich bei PGS um ein interdisziplinäres Betätigungsfeld handelt. Hier treffen Meteorologen, Softwareentwickler, Hardwarehersteller, Gebäudetechniker, Architekten und Simulationstechniker aufeinander. Um eine PGS erfolgreich entwickeln zu können, bedarf es der engen interdisziplinären Zusammenarbeit der Experten auf den jeweiligen Gebieten.

Derzeit gibt es im deutschsprachigen Raum zwei Projekte, die sich mit PGS für Gebäude beschäftigen. Dies ist zum einen das Projekt ProKlim (Prognosegesteuerte Gebäudeklimatisierung), das im Rahmen des „Haus der Zukunft Plus“ des österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) durchgeführt wird. Projektpartner dabei sind die UBIMET GmbH, das Austrian Institute of Technology (AIT)

und die ee-consult. Das Projekt ProKlim untersucht mögliche Einsparpotenziale mit Simulation der ENERGYbase und ist noch nicht abgeschlossen², es liegt ein Zwischenbericht von Juni 2010 vor.

Das zweite in der Schweiz durchgeführte Forschungsprojekt heißt OptiControl und wurde 2007 gestartet und 2010 abgeschlossen. Die Projektpartner hier waren die ETH Zürich, EMPA Dübendorf, MeteoSwiss, Siemens Building Technologies und die Gruner AG. Der Endbericht dazu wurde im Juli 2010 veröffentlicht und im Oktober 2010 aktualisiert.

Es gibt einige Anwendungen im Bereich der Gebäudesimulation, welche für die Verwendung von Wettervorhersagen viel versprechend genutzt werden könnten, dabei kann der Fokus auf zwei Tätigkeitsfelder gelegt werden, nämlich der integrierten Raumautomation (IRA) in Bürogebäuden und das Management von aktiven Energiespeichern in Gebäuden. Folgende Subsysteme könnten durch wetterprognosegeregelter Steuerungen beeinflusst werden [vgl. Gyalistras 2010, S. 6]:

- Jalousien
- Elektrisches Licht
- Mechanische Lüftung: Luftzufuhr, Heizen und Kühlen
- Natürliche Lüftung (während der Nacht)
- Kühldecke (Kapillarrohrmatten)
- Freie Kühlung mit nassem Kühlturm
- Radiatorheizung
- Bodenheizung
- Thermoaktive Bauteilsysteme

Um PGS einsetzen zu können benötigt man genaue Kenntnisse über das Gebäude, dessen gebäudetechnischen Anlagen, Standort und Nutzerverhalten. Gebäudeseitig sind daher folgende Arbeiten notwendig [vgl. Kahn 2010, S. 10]:

- Datenerfassung der Bauphysik, gebäudetechnischen Anlagen und Nutzerverhalten
- Zonierung des Gebäudemodells
- Modellierung der Gebäudehülle und Implementierung der relevanten Gebäudeausrüstung

² Stand: Februar 2011

- Datenbereitstellung aus Monitoring und Aufbereitung
- Implementierung gemessener Wetterdaten
- Simulation der Gebäude ohne Prognose
- Ermittlung der Energiekennwerte
- Validierung des Gesamtmodells des Gebäudes
- Szenariensimulation

Diese Aufstellung zeigt, dass quasi alle der zu erledigenden Aufgaben speziell für das zu regelnde Gebäude durchgeführt werden muss. Erkenntnisse können nur schwer auf andere Gebäude übertragen werden, da selbst bei ähnlicher Bauweise Ausrichtung, Standort und Nutzung eines Gebäudes dazu führen können, dass es zu anderen Ergebnissen kommt. Dies bedeutet, dass diese Arbeiten für jedes Gebäude durchzuführen sind und deren Ergebnisse nur schwer auf andere Gebäude übertragbar sind.

Neben den gebäudetechnischen Anforderungen ergeben sich für die Meteorologie folgende standortspezifische Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt [vgl. Kahn 2010, S. 6]. Folgende Informationen müssen bereitgestellt werden, um eine PGS erfolgreich implementieren zu können:

- Messwerte für betrachteten Standort in hoher Auflösung
- Modellkonfiguration abgestimmt auf den Standort
- Unterteilung der Werte für diffuse und direkte Strahlung
- Meteorologische Szenarien
- Export und Umwandlung von Wetterdaten
- Validierung von Prognosen
- Bereitstellung der meteorologischen Analyse- und Prognosedaten
- Konzipierung der Softwareschnittstelle hinsichtlich Definition des Datenformats

Das Projekt OptiControl hat Simulationen für verschiedene Gebäudesysteme durchgeführt, für die verschiedene Erkenntnisse geliefert haben. Um auf die unterschiedlichen Ergebnisse eingehen zu können, ist es erforderlich, diese Gebäudesysteme näher zu beschreiben.

Automatisierte Subsysteme	Gebäudesystem				
	S1	S2	S3	S4	S5
Jalousien	x	x	x	x	x
Elektrisches Licht	x	x	x	x	x
Mechanische Lüftung: Luftzufuhr, Heizen und Kühlen	-	x	x	x	x
Mechanische Lüftung: Energierückgewinnung	-	x	x	x	x
Natürliche Lüftung (während der Nacht)	-	-	-	x	-
Kühldecke (Kapillarrohrmatten)	x	x	-	-	-
Freie Kühlung mit nassem Kühlturm	x	x	-	-	x
Radiatorheizung	x	x	-	-	-
Bodenheizung	-	-	-	x	-
Thermoaktive Bauteilsysteme (Heizen und Kühlen)	-	-	-	-	x

Abbildung 21: Übersicht über die in OptiControl untersuchten Systeme der IRA Quelle: Gweder et al, 2010

Abbildung 21 zeigt, dass in den verschiedenen Gebäudesystemen unterschiedliche Subsysteme automatisiert sind. Gebäudesystem S1 beispielsweise verfügt über ein automatisiertes Subsystem für Jalousien, elektrisches Licht, Kühldecke, freie Kühlung mit nassem Kühlturm und für Radiatorheizung. Subsysteme S2 – S5 verfügen über unterschiedliche Automationsstufen. Abbildung 22 zeigt, die theoretischen Einsparpotenziale für die drei Gebäudesysteme, nämlich S1 bis S2.

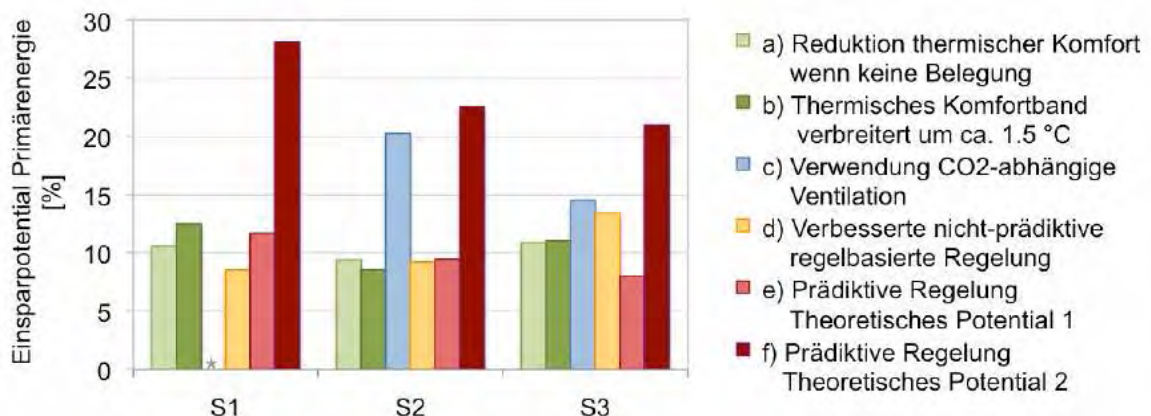


Abbildung 22: Einsparpotenziale Primärenergie in Prozent in verschiedenen Gebäudesystemen. Quelle: Gweder et al, 2010

Die Ergebnisse des Forschungsprojekt OptiControl für verschiedene Gebäudesysteme (S1, S2 und S3) zeigen, dass verschiedene Einsparpotenziale erreichbar sind. Dabei ist

festzuhalten, dass lediglich Säule e) und Säule f) jene Einsparpotenziale abbilden, die durch prädiktive Gebäuderegulung erzielt werden können, a) bis d) beschreiben andere Maßnahmen zur Energieeffizienzverbesserung. Gebäudesystem S1, S2 oder S3 geben an, welche Subsysteme durch prädiktive Gebäuderegulung gesteuert werden können. Diese beiden Werte unterscheiden sich dadurch, dass bei e) eine maximale Freiheit für die Jalousienbewegung gibt und bei f) Jalousienbewegungen lediglich stündlich möglich sind. Die erste Säule a) zeigt das Potenzial für die Reduktion des thermischen Komforts bei Nichtbelegung, Säule b) zeigt die Ergebnisse bei Verbreiterung des thermischen Komfortbandes um ca. 1,5 °C, Säule c) beschreibt das Potenzial bei einer Verwendung einer CO₂-abhängigen Ventilation und Säule d) zeigt die Ergebnisse für eine verbesserte, nicht-prädiktive Regelung [vgl. Gweder et al, 2010, S. 5].

Alle drei Gebäudesysteme haben gemeinsam, dass die höchsten Einsparpotenziale dann erreicht werden können, wenn das Bauwerk über ein Jalousiensystem verfügt, dessen Lamellenposition nur stündlich verändert werden kann. Der Grund dafür ist, dass hier solare Einträge mit prognosegesteuerter Regelung besser genutzt bzw. vermieden werden können. Für Bauten mit flexibler Jalousiensteuerung sind Maßnahmen („Reduktion thermischer Komfort wenn keine Belegung“ bis „verbesserte, nicht-prädikative Regelung“) zu finden, die ein höheres Energieeinsparungspotenzial besitzen. Bei Gebäudesystem S1 zum Beispiel liegt das Einsparpotenzial bei der Verbreiterung des thermischen Komfortbandes mit 13 % Ersparnis höher als bei der prädiktiven Regelung, deren Einsparpotenzial bei 12 % liegt. Gebäudesystem S2 zeigt einen wirklich signifikanten Unterschied zwischen der Verwendung CO₂-abhängiger Ventilation mit einem Einsparpotenzial von über 20 % und prädiktiver Regelung mit unter 10 %. Bei Gebäudesystem S3 schließlich verfügen alle anderen Maßnahmen über ein höheres Einsparpotenzial als die prädiktive Regelung. Diese Grafik sagt damit deutlich aus, dass man mit oft weniger komplexen Maßnahmen dieselben oder bessere Energieeinsparpotenziale generieren kann.

Abbildung 23 zeigt, dass die Bauweise und die spezifischen solaren Wärmegewinne einen massiven Einfluss auf die Einsparpotenziale haben können. Hervorzuheben ist hier wieder, dass die Grafik wiederum ein Bauwerk zeigt, wo Jalousienbewegungen nur stündlich möglich sind und die Gebäuderegulung bereits optimiert ist. Liegt bei einem solchen Gebäude im Jahresmittel etwa ein spezifischer solarer Wärmegewinn von ca. 5 W/m² vor, so liegt die mögliche Energieeinsparung zwischen 2 und 14 %. Bei derartig niedrigen Wärmegewinnen ist es offensichtlich nebensächlich, ob es sich um eine schwere oder leichte Bauweise des Gebäudes handelt.

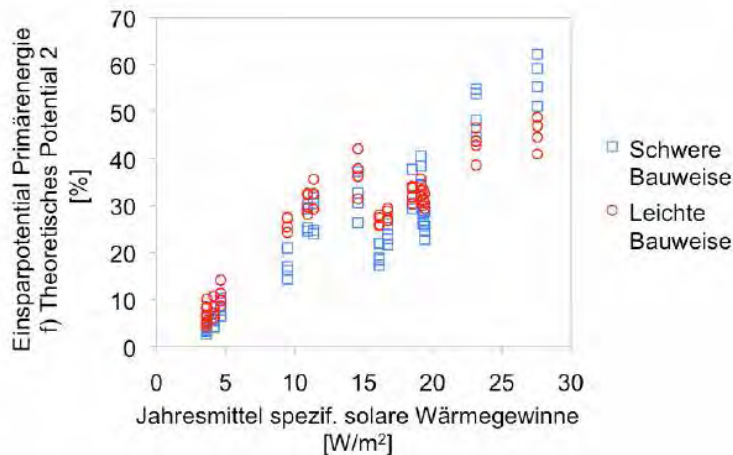


Abbildung 23: Theoretische Einsparpotentiale für individuelle Gebäudezonen-Fälle für die prädiktive Regelung f) und das Gebäudesystem S2 als Funktion der jahresmittleren spezifischen (Energiedurchlasswert Fenster mal Fensterfläche/Raumfläche) solaren Wärmegewinne. Quelle: Gweder et al, 2010

Liegen die solaren thermischen Gewinne hingegen bei 30 W/m² so liegen die theoretischen Einsparpotenziale zwischen 40 und 65 %, wobei die Einsparungen bei Häusern in schwerer Bauweise mit 50 bis 65 % höher liegen als jene für Gebäude in leichter Bauweise, wo die erreichbaren Werte zwischen 45 und 50 % liegen. Interessant ist, dass bei spezifisch solaren WärmegeWINnen im Jahresmittel von 10 bis 25 W/m² liegen Gebäude in schwerer Bauweise höhere Energieeinsparpotenziale zeigen als Bauten in leichter Bauweise.

Der Zwischenbericht der Haus-der-Zukunft-Studie ProKlim zeigt, dass spezielle Herausforderungen an die meteorologischen Daten bestehen. So wird zum Beispiel an normalen Wetterstationen nur die Globalstrahlung gemessen. Für die Einbindung der Strahlung in die prädiktive Gebäuderegung ist es allerdings notwendig, die Globalstrahlung in direkte und diffuse Strahlung aufzuteilen. Dazu musste ein neues Modell entwickelt werden, da bei bestehende Modellen die Aufteilung nur täglich möglich war, für die Gebäuderegung allerdings stündliche Werte notwendig sind [vgl. Kahn 2010, S. 7]. Auch die in OptiControl durchgeführten Simulationsstudien zeigten, dass die Genauigkeit der Vorhersagen für eine energieeffiziente Gebäudeautomation entscheidend ist. Die untersuchten Gebäude reagierten insbesondere sensitiv auf die Vorhersage der einfallenden Strahlung [vgl. Gweder et al, 2010, S. 5], was die Bedeutung der genauen Teilung zwischen direkter und diffuser Strahlung unterstreicht. Das Ergebnis der Untersuchungen des ProKlim Projektes zeigen, dass bei Passivhäusern, wie auch die FUTUREbase eines sein wird, bei wetterprognoseunterstützter Gebäudeautomatisierung der Fokus auf der Berücksichtigung der solaren Einstrahlung und nicht auf der Außenlufttemperatur liegen soll [vgl. Kahn 2010, S. 12].

4.6.1 Vor- und Nachteile zu Standardlösungen

Es gibt noch wenige realisierte Projekte in dem Bereich, lediglich Studien mit verschiedenen Simulationsergebnissen. Als Einsparpotentiale nur für die Integration von Wetterprognosen werden 10 bis 13 Prozent genannt, höhere Einsparungen sind mit einer Optimierung des gesamten Gebäuderegulierungssystems möglich. Auf jeden Fall handelt es sich um ein äußerst komplexes System, da Wetterprognose, Belegungsvorhersage, Gebäudeleittechnik, Gebäudemanagementsystem und Haustechnik zu einem abgestimmten System vereint werden müssen, das eine hohe Anzahl von Einflussgrößen aufweist. Die wissenschaftlichen Untersuchungen haben gezeigt, dass die prädiktive Regelung von Gebäuden eine weit größere Herausforderung darstellt, als dies bei Projektbeginn erwartet wurde. Die Gründe dafür liegen in der hohen Komplexität und dem großen Variantenreichtum der untersuchten Systeme [vgl. Gweder et al, 2010, S. 7]. Die Ergebnisse der Simulationen fielen extrem fallabhängig aus, so spielten Auswahl der Hardware oder Komfortanforderungen eine große Rolle und beeinflussten die Ergebnisse stark. Eine weitere Herausforderung stellt die Tatsache dar, dass man die meteorologischen Messwerte für den betrachteten Standort in hoher Auflösung benötigt, die über die übliche Auflösung der verfügbaren Daten liegt. Das heißt, dass diese aufwendige Auflösung der Messwerte für jeden Standort durchgeführt werden muss.

Ein Ziel des Projekts der FUTUREbase ist es, ein Konzept mit hohem Multiplikationspotenzial zu verwirklichen. Aufgrund der Komplexität der Einbindung von prädiktiver Regelung scheint dieses Ziel schwer erreichbar zu sein, da jedes Gebäude einzigartig ist und zusätzlich Gebäudetechnik, Bauweise, Standort, Ausrichtung und Klimazone für jedes Objekt aufwendige Simulationen benötigt und die Wetterdaten für den jeweiligen Standort aufbereitet werden müssen. Zusätzlich zu der hohen Komplexität hat man im vorigen Kapitel gesehen, dass man mit einfacheren Maßnahmen wie prognoseunabhängiger Optimierung der Gebäuderegulierung oder CO₂-abhängiger Ventilation ein höheres Energieeinsparpotenzial erreichen kann als mit der interdisziplinären prognosegesteuerten Regelung. Zudem wurden die signifikanten Einsparungen ausschließlich bei Gebäuden mit Jalousiesystemen generiert, die lediglich ein Mal pro Stunde eingestellt werden können. Weiters wurde gezeigt, dass sich eine schwere Bauweise mit viel Speichermasse positiv auf das Energieeinsparpotenzial auswirkt.

4.6.2 Technische Einsatzgrenzen

Als technische Einsatzgrenze kann die Kompatibilität der verwendeten Systeme genannt werden. Es ist unbedingt erforderlich, dass die verschiedenen Systeme wie Heizungsregelung, Kühlregelung, Jalousiensteuerung oder Gebäudeleitsystem aufeinander abgestimmt sind und mit automatisch übermittelten Wetterprognosedaten umgehen können. Weiters wurde gezeigt, dass bei Gebäuden in Leichtbauweise und bei

jenen mit flexibel steuerbaren Jalousiensystemen das Energieeinsparpotenzial einigermaßen beschränkt ist.

4.6.3 Umsetzbarkeit im Bauprozess

Falls prognosegesteuerte Regelung im Gebäude angewendet werden soll, so muss dies in der frühen Planungsphase berücksichtigt werden. Wie oben beschrieben ist es äußerst wichtig, dass die verschiedenen Komponenten des Systems aufeinander abgestimmt sind. Weiters muss geprüft werden, ob die Wetterprognosedaten in der benötigten Qualität zur Verfügung stehen bzw. eine Organisation gefunden werden, die die erforderlichen Daten aufbereitet.

4.6.4 Auswirkung auf die Energiebilanz

Reine prädiktive Regelung verfügt über ein Einsparpotenzial von 10 bis 13 %. Diese Einsparungen wurden allerdings in der Realität noch nicht erreicht sondern lediglich über Simulationen errechnet. Von besonderer Bedeutung für den Beitrag zur Erreichung des Plus Energie Standards sind die Bauweise des Gebäudes (leichte oder schwere Bauweise) und die Freiheit bzw. Flexibilität des Jalousiesystemes. Weiters haben die Recherchen gezeigt, dass es bauliche oder regelungstechnische Maßnahmen gibt, die mit scheinbar geringeren Mitteln ein höheres Energieeinsparpotenzial vorweisen. Beispiele dafür sind eine Verbreiterung des thermischen Komfortbandes um 1,5°C, die Verwendung CO₂-abhängiger Ventilation oder die einfache Verbesserung nicht-prädiktiver regelbasierter Steuerung. Sollte die FUTUREbase in Leichtbauweise mit flexibler Verschattung ausgeführt werden, so ist das Energieeinsparpotenzial vernachlässigbar. Lediglich bei schwerer Bauweise und unflexibel regelbaren Verschattungssystem bietet prädiktive Regelung ein beschränktes Einsparpotenzial auf.

4.7 Bodengebundene Kühlsysteme (Soil Cooling)

Vom Liegenschaftsverwalter WWFF gibt es für die FUTUREbase die Forderung, möglichst viele Low oder No Tech Maßnahmen bei der Errichtung des Gebäudes in Betracht zu ziehen, um den Energieaufwand sowohl beim Bau als auch im Betrieb so niedrig wie möglich zu halten. Deshalb wurde Soil Cooling in dieses Technologiescreening mit aufgenommen.

Grundsätzlich gibt es Maßnahmen im Bereich von Soil Cooling, die eine höhere und eine niedrigere Komplexität aufweisen. Zu den komplexeren Systemen gehörten bekannte Technologien wie Luft-Erd-Register, Erdwärmetauscher, Energiepfähle oder Energieplatten [vgl. Zimmermann 1999 und Schweizerische Vereinigung für Geothermie 2005]. Genau diese Lösungen werden in der Literatur vorwiegend als bodengebundene Kühlsysteme bezeichnet, die mittels einer Art Wärmetauscher die kühlere Temperatur im Erdreich nutzen und den abgekühlten Wärmeträger (Luft oder Wasser) über ein Rohrsystem in das Gebäude transportieren. Diese Systeme stellen heute den Stand der Technik dar und werden häufig eingesetzt.

Man kann die Kühle des Bodens oder die Verdunstung, die von Böden oder Bepflanzungen ausgehen, auf eine noch einfachere Art und Weise zur Kühlung des Gebäudes oder des Mikroklimas um das Gebäude nutzen. In dieser Arbeit sollen diese Strategien mit niedriger Komplexität als Soil Cooling im engeren Sinn bezeichnet werden. Recherchen haben gezeigt, dass es zum Thema Soil Cooling im engeren Sinn sehr wenig Literatur oder Studien gibt. In sehr heißen und trockenen Gegenden in Florida, Texas und Israel wurden experimentelle Versuche durchgeführt, in denen man untersucht hat, wie die Temperatur des Bodens rund um ein Gebäude beeinflusst werden kann. Dabei spielt Art der Befeuchtung, Art des Bodens oder Verwendung von Kies eine besondere Bedeutung [vgl. Givoni 2006, S. 2ff]. Laut Givoni gibt es zwei grundsätzliche Arten, wie man diese kühle Erde benutzen kann, um damit ein Bauwerk zu kühlen, nämlich erstens die Gebäude thermisch mit der Erde zu verbinden und zweitens, Wärmetauscher für jene Bauten zu verwenden, die nicht mit der Erde gekoppelt werden können. Letztere Variante führt wieder zu den weiter oben besprochenen Technologien Erdregister, Erdsonden oder Energiepfählen, die hier nicht weiter beschrieben werden sollen.

Unter thermischer Verbindung versteht Givoni ein mit Erde bedecktes Gebäude oder zumindest bedecktes Dach. Diese thermische Verbindung ist allerdings in Gebieten mit kalten Wintern nicht möglich, da die Wände und das Dach aufgrund der Kälte isoliert werden müssen und kein direkter Kontakt mit dem kühlen Erdreich möglich ist, damit Wärmeverluste im Winter vermieden werden können. Evaporative Kühlung des Mikroklimas um ein Gebäude kann man durch bepflanzte Dächer (Green Roofs), Bepflanzung der Gebäudeumgebung oder der Anlegung einer künstlichen Wasserfläche erreichen. Dachbepflanzungen, Grünflächen oder Wasserflächen um ein Bauwerk haben einen positiven Einfluss auf das Mikroklima um ein Gebäude und somit auch auf das Klima

innerhalb des Gebäudes. Das Thema um Dachbepflanzungen wird global als „Green Roof“ bezeichnet. In der Literatur wird ein bepflanztes Dach folgend definiert: „A green roof is a layered system comprising of a waterproofing membrane, growing medium and the vegetation layer itself. Green roofs often also include a root barrier layer, drainage layer and, where the climate necessitates, an irrigation system“ [Castleton et al. 2010, S. 2]. Unten stehende Abbildung veranschaulicht die verschiedenen Schichten.

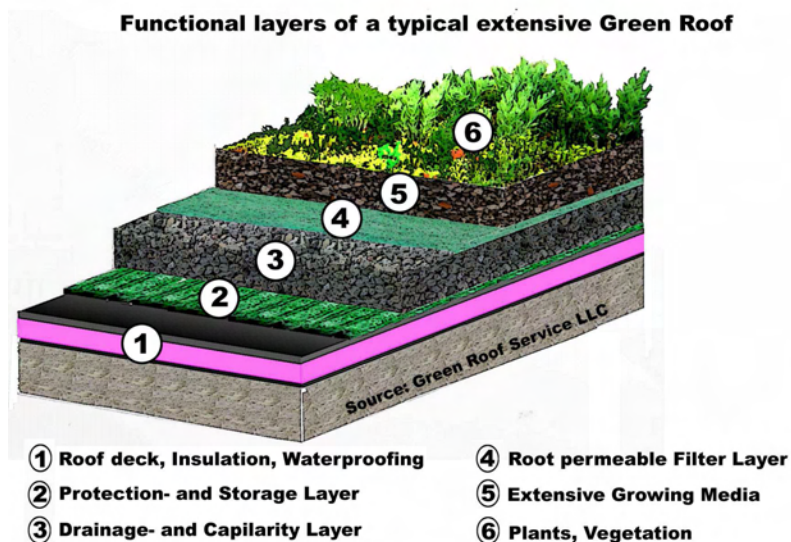


Abbildung 24: Verschiedene Schichten eines intensiven Green Roofs, Quelle: Green Roof Service LLC

Grundsätzlich wird zwischen intensiven und extensiven Green Roofs unterschieden. Bei der intensiven Dachbepflanzung ist eine dickere Erdschicht notwendig, um Büschen und Sträuchern ein Überleben zu ermöglichen. Bei der extensiven Dachbegrünung ist die Substratschicht relativ dünn, weshalb nur Gräser oder Bodendecker eingesetzt werden können, der Vorteil hier liegt im geringeren Gewicht des Systems, womit es – vor allem bei Nachrüstung bei bestehenden Gebäuden – zu keinen Statikproblemen kommen kann [vgl. Castleton et al. 2010, S. 2].

In städtischen Gebieten beherrschen Beton, Asphalt und Steine das Umfeld. Hohe Gebäude bremsen oft den Wind und verhindern einen wirksamen Luftaustausch, was zum typischen Klima unserer Großstädte führt: erhöhte Temperaturen, geringe Luftfeuchtigkeit und hohe Schadstoffkonzentration. Green Roofs, Grün und Wasserflächen um ein Gebäude verbessern auf vielfältige Weise das städtische Klima. Zum einen nehmen Bäume und Pflanzen über ihre Wurzeln Wasser auf und setzen es durch Verdunstung wieder frei und befeuchten so die oft trockene Luft in den Städten. Die Vegetation hat eine temperatenausgleichende Wirkung, die während der Sommerzeit eine Temperatursenkung von 1 bis 4 ° C bewirken kann. Weiters wird durch die Photosynthese Kohlenstoff absorbiert und Sauerstoff freigesetzt und Blätter binden Staub und giftige Gase und verringern so die Luftverschmutzung. Weiters trägt die Vegetation zur Regulierung der

Wassermenge und zu ihrer natürlichen Regeneration bei. Pflanzen verstärken die Fähigkeit des Bodens Wasser aufzunehmen und fördern so die Speisung von Grundwasser. Sowohl Dachbepflanzung als auch Bepflanzung des Gebäudeumfelds bauen die Abflussspitzen, die bei starken Regenfällen auftreten, dadurch ab, dass das Wasser im Erdreich zurückgehalten wird und erst später und progressiv abfließt. Städtische Überflutungen können so vermieden oder minimiert werden [vgl. Gauzin-Müller 2002, S. 53 f.]. Vieler dieser Vorteile von Green Roofs oder Vegetation um das Gebäude können einen Einfluss auf den Energieverbrauch eines Gebäudes haben. So muss die Luft, die durch künstliche Belüftung in ein Gebäude gebracht wird, weniger gefiltert, gekühlt und befeuchtet werden. Die Dämmeigenschaften von unisolierten Dächern kann durch Hinzufügung thermischer Masse stark verbessert werden.

4.7.1 Vor- und Nachteile

Soil Cooling durch thermische Kopplung des Gebäudes mit dem Erdreich ist in Gegenden mit kalten Wintern nicht sinnvoll, da es bei niedrigen Temperaturen zu Wärmeverlusten aus dem Gebäude in das Erdreich führen würde. Vegetation im Gebäudeumfeld und Dachbepflanzungen haben einen positiven Effekt auf das Mikroklima, dem das Bauwerk ausgesetzt ist. Durch kühlere Luft wird der Energiebedarf für die Kühlung der Zuluft minimiert, Schätzungen gehen davon aus, dass die Temperatur durch Begrünung des Umfelds und Green Roofs im Sommer zu einer Verringerung der Temperatur von 1 – 4 °C führen können.

Green Roofs können vor allem bei älteren Gebäuden, bei denen noch keine Dachisolierung durchgeführt worden ist, zu einer Verringerung des Heizbedarfs im Winter und Kühlbedarfs im Sommer führen, da die Erd- und Pflanzenschicht eine Isolierung darstellt und somit Temperaturverluste minimiert werden. Für neue Gebäude im Passivhausstandard, wie die FUTUREbase eines sein wird, sind diese Einsparpotenziale vernachlässigbar, da Dächer nach heutiger Bauweise sehr gut gedämmt werden [Castleton et al. 2010, S. 7] und Wärmeverluste kaum noch auftreten. Grün- oder Wasserflächen benötigen viel Raum. Gerade im städtischen Bereich ist freie Fläche ein kostbares und teures Gut, weshalb danach getrachtet wird, so viel Fläche wie möglich zu verbauen, damit mehr Gebäudenutzfläche und somit Erlös generiert werden kann. Green Roofs stehen heute in Flächenkonkurrenz mit PV-Modulen oder solarthermischen Elementen. Bei der als Plusenergiegebäude geplanten FUTUREbase wird die gesamte Dachfläche für Photovoltaikmodule benötigt, um den Plus Energie Standard erreichen zu können, für begrünte Dächer wird dabei keine Fläche übrig bleiben.

4.7.2 Technische Einsatzgrenzen

Technische Einsatzgrenzen bestehen bei Vegetation rund um das Gebäude nicht, es ist darauf acht zu geben, dass Photovoltaik- oder Solarthermiemodule nicht verschattet

werden. Ein Problem im städtischen Bereich ist der Platzmangel, der es häufig nicht zulässt, großzügige Grünflächen rund um Gebäude anzulegen. Bei intensiven Green Roofs ist darauf zu achten, dass die Last auf das Dach mit wachsenden Pflanzen zunehmen kann und dass die Statik danach ausgerichtet sein muss.

4.7.3 Umsetzung im Bauprozess

Wie schon im vorigen Kapitel angesprochen, ist der Platzmangel oft ein Hindernis dafür, großzügige Vegetation um ein Gebäude anlegen zu können. Ein ähnliches Bild zeigt sich für die FUTUREbase. Abbildung 25 zeigt den geplanten Grundriss des Erdgeschoßes des Gebäudes. Mögliche Bepflanzungsstandorte sind in grün eingezeichnet. Es sind zwei Höfe geplant, die für Bepflanzung genutzt werden könnten. Weiters könnte der Raum östlich der FUTUREbase entlang der Grundstücksgrenze und an der nordwestlichen Ecke als Begrünungsmöglichkeit dienen. Wieder ist darauf bedacht zu nehmen, dass PV-Module der ENERGYbase nicht verschattet werden.

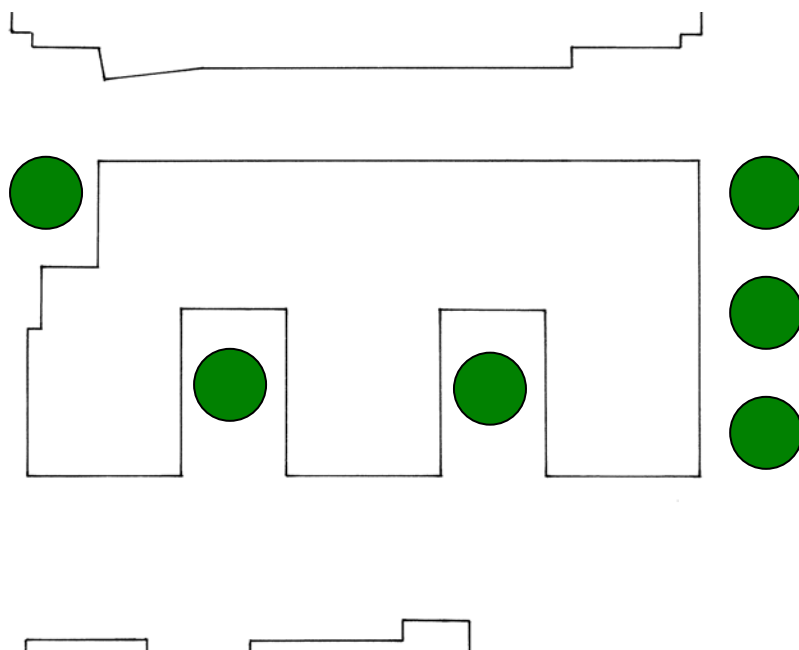


Abbildung 25: Möglichkeit für Vegetation um FUTUREbase Quelle: selbst erstellte Grafik

Ein Green Roof ist für die FUTUREbase nur dann einsetzbar, wenn das Dach nicht als Fläche für Photovoltaikmodule benützt wird. Diese Variante scheint im Augenblick nicht wahrscheinlich, da die FUTUREbase ein Plusenergiegebäude werden soll und auf Photovoltaik als Energieerzeuger wohl nicht verzichtet werden kann.

4.7.4 Auswirkung auf die Energiebilanz

Das Potenzial für Energieersparnis von Vegetation um ein Gebäude oder Green Roofs ist begrenzt. Um eine Temperatursenkung um das Gebäude von den angemerkt möglichen 4°C zu erreichen, sind ausgedehnte Grünflächen notwendig, für die bei der FUTUREbase kein Raum vorhanden ist. Etwas Kühlenergie könnte in den Übergangszeiten eingespart werden, wenn die Außentemperatur es zulässt, Fenster geöffnet zu lassen und kühlere Luft von außen in das Gebäude gelangt.

Nochmals erwähnt sollen die komplexeren Systeme wie Luft-Erd-Register, Erdwärmetauscher, Energiepfähle oder Energieplatten werden, die ein höheres Energieeinsparpotenzial aufweisen als die beschriebenen Bepflanzungen.

4.8 Ausblick für bionische Konzepte für Gebäude

Für die Planung der FUTUREbase soll untersucht werden, an welchen bionischen Konzepten, Strategien für energieeffiziente Gebäude zurzeit geforscht wird und welche natürlichen Vorbilder dafür herangezogen werden. Forschungsfelder für die Fassade sollen in diesem Kapitel im Vordergrund stehen. Wie in Punkt 3 beschrieben, wird für bionische Fassaden eine andere Kapitelstruktur als für die anderen Technologien oder Strategien zur Anwendung kommen.

Aber was genau ist Bionik eigentlich? Der VDI definiert Bionik wie folgt: „*Bionik als wissenschaftliche Disziplin befasst sich mit der technischen Umsetzung und Anwendung von Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme.*“ [Nachtigall 2010, S. 144]. Es geht also darum, in der Natur vorkommende Mechanismen oder auch Strategien zu abstrahieren und daraus technische Lösungen oder Strategien zu erarbeiten.

Grundsätzlich kann man laut Braun Anwendungen der Bionik in bionisch inspirierte Materialien, bionisch inspirierte Strukturen und bionisch inspirierte Funktionen einteilen [vgl. Braun 2008, S. 78]. Zusätzlich wird in der Literatur häufig von bionisch inspirierten Verhalten gesprochen.

Die Recherchen haben gezeigt, dass sich eine Vielzahl von Universitäten, Instituten und Unternehmen mit dem Thema Bionik beschäftigen. Manche für uns heute selbstverständliche Produkte wie der Klettverschluss sind ebenfalls bionischen Ursprungs. Einige bionische Forschungsfelder, die zukünftig für Fassaden interessant sein könnten, sind in Tabelle 4 (bionische Strukturen), Tabelle 5 (bionische Materialien) und Tabelle 6 (bionische Funktionen) zusammengefasst. Diese Tabellen sollen auszugsweise einen Überblick darüber geben, an welchen Themen zurzeit im Bereich Bionik und Fassaden bzw. Gebäude geforscht wird. Die Technologien bzw. Anwendungen sind laut oben angeführten Aufbau gegliedert, nämlich in bionische Strukturen, bionische Materialien und bionische Funktionen. Die Tabellen geben an für welche Technologie oder Anwendung die Forschungen betrieben werden, welche Vorbilder aus der Natur herangezogen werden, welche Funktionen mit der Technologie erfüllt werden können und welche Probleme mit dieser bionischen Anwendung gelöst werden könnten. Zusätzlich wird angeführt welche Forschungsinstitute, Universitäten oder Unternehmen an dem Thema arbeiten und schließlich ist die Quelle für die Information angegeben. Es ist festzustellen, dass vor allem im Bereich des Leichtbaus die Bionik eine wichtige Rolle spielen könnte. Obwohl im Moment nur wenige Produkte auf dem Markt erhältlich bzw. Projekte umgesetzt worden sind gilt es, die Forschungen und Entwicklungen weiterhin zu verfolgen um mögliche zukünftige Anwendungen für die FUTUREbase zu identifizieren.

4.8.1 Forschung an bionischen Strukturen

Technologie Anwendung	Natürliches Vorbild	Funktion	Problemlösung	Forschungsinstitut	Quelle
Leichtbau	Pfahlrohr (Arundo donax)	Durch Makro-Graduierung wird Material entwickelt, dass durch unterschiedliche Porengrößen unterschiedliche Festigkeiten aufweist und dort wo notwendig, hohen Belastungen standhält und wo wenig Belastung auftritt, Gewicht gespart wird.	Reduzierung des Gewichts von Bauteilen, Verminderung von grauer Energie	Institut für Textil- und Verfahrenstechnik, Denkendorf und Plant Biomechanics Group Freiburg,	http://www.biokon.net/
Leichtbau	Fresszellen in Knochen beseitigen nicht tragende Bereiche	Soft-Kill-Option-Methode, mit der computersimuliert Leichtbauteile gestaltet werden, indem nur für die Funktion wesentliches Material im Bauteil verwendet wird.	Leichtbauweise, Effiziente Verwendung von Baumaterialien, Gewichtersparnis	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Materialforschung II Abteilung Biomechanik	http://hikwww1.fzk.de/imf2/numerische_werkzeuge/biomechanik/d_index.html
Selbstreinigende Oberflächen	Lotus Effekt	Durch hydrophobe Materialien und Oberflächenstrukturen perlt Wasser ab und reißt so Schmutzpartikel mit.	Dachziegel, Fassadenputze und Fassadenfarbe und Glasflächen wurden entwickelt, die sich bei Regen selbst reinigen	Prof. Dr. Wilhelm Barthlott, Nees-Institut für Biodiversität der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn	www.lotus-effekt.de
Antireflexion	Flügel der Zikade	Nanostruktur der Flügel verhindert Reflexionen	Reflexionen von solarthermischen oder PV Modulen kann stark vermindert werden -> keine Blendeffekte mehr	Centre for Nanoscale Science and Technology, Beijing National Laboratory for Molecular Sciences, State Key Laboratory for Structural Chemistry of Unstable and Stable	Vgl. Xie et al 2008, S. 2ff

				Species und dem College of Chemistry and Molecular Engineering der Universität von Peking	
Leichtbau	Schachtelhalm	Schachtelhalme sind mit ihren hohlen Stängeln und dünnen Halmwänden sind sie dennoch erstaunlich stabil	Entwicklung eines strukturoptimierten Faserverbundmaterials, das sich durch eine Kombination aus Stabilität und Leichtbau auszeichnet.	Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf Körschtalstraße 26 73770 Denkendorf	www.itv-denkendorf.de

Tabelle 4: Forschung an bionisch inspirierten Strukturen, Quelle: selbst erstellte Tabelle

4.8.2 Forschung an bionischen Materialien

Technologie Anwendung	Natürliches Vorbild	Funktion	Problemlösung Einsatzbereich	Forschungsinstitut	Quelle
Technisches Holz /Materialentwicklung	Holz	Baumholz weist verschiedene Eigenschaften (Biege-, Druck- und Scherfestigkeit) für verschiedene Beanspruchungen auf.	Entwicklung eines Werkstoffes, der die positiven Eigenschaften von Holz aufweist.	Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft, Institut für Materialforschung	http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA6717.pdf
Entwicklung extrem harter Materialien	Perlmutter	Biomineralisation	Entwicklung von extrem harten, leichten und dünnen Materialien für die Fassade.	Leibniz-Institut für neue Materialien	http://www.inm-gmbh.de/de/forschung/materialien-in-der-biologie/biominalisation/
Holzgemisch	Hornissennester	Hornissennester bestehen aus einem Holz-Speichel-Gemisch, das die Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Nest konstant hält. Entwicklung einer Leichtbaukonstruktion, die mit natürlicher Thermoregulation eine konstante Innentemperatur gewährleistet.	Die Entschlüsselung der relevanten thermodynamischen Vorgänge dieser Konstruktion könnten zukünftig belüftbare Gebäudehüllen ermöglichen oder den Werkstoff Holz als passiven Dämpfer gegen unerwünschte Schwankungen des Rauminnenklimas nutzbar machen.	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA	www.empa.ch

Tabelle 5: Forschung an bionisch inspirierten Materialien, Quelle: selbst erstellte Tabelle

4.8.3 Forschung an bionischen Funktionen

Technologie Anwendung	Natürliches Vorbild	Funktion	Problemlösung Einsatzbereich	Forschungs-institut	Quelle
Gelenkfreie Klappen	Paradiesvogelblume (Strelitzia reginae)	Bestäubungsmechanismus zeigt reversible elastische Deformation. Biegedrillknicken kann gelenkfreie Klappen ermöglichen (Flektofin)	Gelenkfreie Fassadenverschattung, Minimierung des Wartungsaufwandes für Verschattungssysteme	Fakultät für Biologie der Uni Freiburg, Institut für Gebäudestrukturen und Strukturdesign der Universität Stuttgart, Kompetenznetzwerks für Biomimetics und BIONIKON e.V.	Vgl. Poppinga et al 2010 S. 1
Energieproduktion	Photobiologische Wasserstoffproduktion	Ziel hierbei ist, mittels einer künstlichen Symbiose aus photoautotrophen Grünalgen und photoheterotrophen schwefelfreien Purpurbakterien, Wasser in Sauerstoff und den universell einsetzbaren Energieträger Wasserstoff zu spalten	Energieproduktion (Wasserstoff) am Gebäude, das System kann in die Fassade integriert werden. Beitrag zum Plusenergiegebäude (Brennstoffzelle)	Fachgebiet für Bionik und Evolutionstechnik der Technischen Universität Berlin	http://www.biokon.net/biokon/proj_photobiowasserstoff.html
Befestigungssysteme im Leichtbau	Zikade	Zikaden bohren sich mit ihren Mundwerkzeugen durch die Blattoberfläche hindurch, um hier Pflanzensäfte zu saugen. Dabei kommt es zu einer temporären Verankerung im Pflanzengewebe. Die Verankerungsstrukturen stehen dabei	Entwicklung innovativer Befestigungslösungen für Leichtbausysteme nach biologischem Vorbild	Hochschule Bremen Prof. Dr. Antonia B. Kesel Bionik-Innovations-Centrum (B-I-C)	http://www.hs-bremen.de

		im Fokus der Untersuchungen			
Energie- produktion Solarkollektor	Rose	Der SOLROSE Kollektor öffnet wie eine Rose zur Sonne und hat damit durch dieses bionische Designdetail eine höhere Nutzung des Sonnenlichtes als derzeit marktübliche Kollektoren.	Größere Lichteinfallsbreite und optisch geschlossene Fläche bei der Aneinanderreihung durch den Wegfall der Leisten am Glas	Fa. SOLution	http://www.solution.com/
Wärme- dämmung	Eisbärfell	Das Fell des Eisbäres ist durch isolierendes Luftpolster zwischen den Haaren warm hält. Die farblosen hohlfaserähnlichen Haare des Eisbären sind in der Lage, durch den Einschluss kleinster Lufträume den Abfluss von Wärme wirksam zu unterbinden und die Sonnenenergie an die schwarze Haut abzugeben.	Entwicklung eines faserbasierten Materials, welches leicht, flexibel, transluzent und bruchsicher ist. Mögliche Anwendung in der Solartechnik für solarthermische Module	Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf Körschtalstraße 26 73770 Denkendorf	www.itv-denkendorf.de
Fassaden oder Dach- konstruktion	Zitterspinne	Das Netz der Zitterspinne ist hier Vorbild, welche die Fäden des Netzes an Grashalmen befestigt. Die Fäden des Netzes müssen Zugbelastungen aushalten, während die „Masten“, also die Grashalme, die Druckbelastung tragen.	Die Tragwerke bestehen aus Stäben und Kabeln und werden von einer aufgeblasenen, unter Innendruck stehenden Membran auf Abstand gehalten und stabilisiert. Die filigran aussehenden Luftbalken haben die Tragkraft herkömmlicher Stahlträger, wiegen aber nur ein Zehntel. Die Tragwerke bestehen aus Stäben und Kabeln und werden von einer aufgeblasenen, unter Innendruck stehenden Membran auf Abstand	Schweizer Unternehmen Prospective concepts und Airlight	http://www.empa.ch/

			gehalten und stabilisiert.		
Selbstreparierende Wirkung	Pfeifenwinde (eine nordamerikanische Liane)	Die Pfeifenwinde repariert einen Riss in ihrem Festigungsgewebe dadurch, dass sie ihn mit Zellen aus dem Grundgewebe stopft, die in den Riss hineinquellen. Dann beginnen sich die Grundgewebezellen zu teilen und dichten die Verletzung völlig ab.	Nach diesem Prinzip entwickelten Wissenschaftler einen Polyurethanschaum, in dem Überdruck und Vorspannung herrscht, und beschichteten damit Membranen. Die Zeitspanne, in der der Druck im Inneren der Membrankörper absinkt, konnte bei Verletzungen mit Nägeln auf das 100- bis 1000-fache verlängert werden	Unternehmen prospective concepts ag, Plant Biomechanics Group Freiburg	http://www.empa.ch/
Natürliche Lüftung	Termitenbau	Termiten nutzen ein ausgeklügeltes System zum Belüften ihrer Bauten. Dabei bleiben Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Inneren der Bauten über das ganze Jahr fast konstant.	Natürliche Lüftung / Kühlung eines Gebäudes, welche hohe Energieeinsparungen ermöglichen	Universität Leicester, Uni Bremen (u.a., an diesem Phänomen arbeiten einige Forschungsinstitutionen)	Vgl. Nachtigall 2003

Tabelle 6: Forschung an bionisch inspirierten Funktionen, Quelle: selbst erstellte Tabelle

5 Bewertung der Technologien

5.1 Bewertungsmatrix

Technologie / Strategie	Energieproduktion	Energieeinsparpotenzial	Umsetzbarkeit am Standort	Multiplizierbarkeit	Einfachheit des Systems	Gesamtpunkteanzahl
A Natürliche Lüftung						
A.1 Manuelle Fensterlüftung	0	0	3	3	3	9
A.2 Automatische Fensterlüftung	0	6	3	3	2	14
A.3 Windtürme	0	4	2	2	2	10
A.4 Solarkamine	0	6	2	2	2	12
A.5 Energieturm	0	6	2	2	1	11
B Multifunktion Fassadensysteme						
B.1 Lüftung (natürlich - dezentral)	0	6	3	3	2	14
B.2 Lüftung (mechanisch – dezentral)	0	0	3	3	0	6
B.3 Kühlung & Heizung	0	0	3	3	0	6
B.4 Stromerzeugung durch PV	4	0	3	3	2	10
B.5 Wärmeerzeugung durch Solarthermie	4	0	3	3	2	10
B.6 Verschattung	0	6	3	3	1	13
B.7 Funktionen kombiniert	2	2	2	2	0	8
C Einbindung Kleinwindkraft						
C.1 ohne Photovoltaik am Dach	4	0	2	2	2	10
C.2 mit Photovoltaik am Dach	4	0	0	2	2	8

D Pflanzeneinbindung zur Raumluftbefeuchtung						
D.1 Pflanzenpuffer	0	0	3	1	0	4
D.2 Innenraumbegrünung	0	2	3	3	2	10
E Zentrale IT-Lösungen zur Verringerung der internen Lasten						
E.1 70 % PC 30 % NB 0 % TC	0	0	3	3	2	8
E.2 30 % PC 40 % NB 30 % TC	0	4	3	3	2	12
E.3 10 % PC 40 % NB 50 % TC	0	6	3	3	2	14
E.3 0 % PC 25 % NB 75 % TC	0	6	2	3	2	13
F Prognosegesteuerte Regelung						
F.1 Bei Leichtbauweise	0	0	1	0	0	1
F.2 Bei schwerer Bauweise	0	2	1	0	0	3
F.3 Mit flexibler Verschattung	0	0	1	0	0	1
F.4 Mit eingeschränkt justierbarer Verschattung	0	4	1	0	0	5
G Soil Cooling / Bodengebundene Kühlsysteme						
G.1 Vegetation um das Gebäude	0	2	1	3	3	9
G.2 Green Roofs mit PV	0	2	0	3	2	7
G.3 Green Roofs ohne PV	0	2	3	3	2	10

Tabelle 7: Bewertungsmatrix, Quelle: selbst erstellte Tabelle

Die Punkteanzahl der verschiedenen Technologien wurde aufgrund der bisher durchgeführten Untersuchungen mit Bezug auf den Standort FUTUREbase vergeben. Um die Punktevergabe besser nachvollziehen zu können, wird anschließend eine Beschreibungsmatrix angeboten, in der die Gründe für die verschiedenen Bewertungen erläutert werden. Wenn verschiedene Technologievarianten für ein Kriterium die gleiche Punkteanzahl zugewiesen bekommen haben, so werden die Gründe für die Bewertung ein Mal im Hauptpunkt in den grünen Feldern A, B, C, usw. behandelt, um Beschreibungen nicht redundant abgeben zu müssen. Kommt es hingegen zu verschiedener Bewertungen von Technologievarianten für verschiedene Kriterien, so werden diese in Punkt A.1, A.2, B.3 usw. beschrieben.

5.2 Beschreibungsmatrix

Technologie / Strategie	
A Natürliche Lüftung	Energieproduktion: Mit dieser Technologie ist keine Energieproduktion möglich, daher 0 Punkte.
A.1 Manuelle Fensterlüftung	<p>Energieeinsparpotenzial: Lüftungsergebnis ist stark von Nutzerverhalten abhängig. Erfahrungen zeigen, dass zu viel oder zu wenig gelüftet wird, was zu hohen Energieverlusten, vor allem im Winter, führen kann. Wärmerückgewinnung ist nicht möglich. Deshalb werden 0 Punkte vergeben.</p> <p>Umsetzbarkeit am Standort: Manuell öffnbare Fenster sind leicht implementierbar und gängige Lösung, daher werden 3 Punkte vergeben. Multiplizierbarkeit: Hohe Multiplizierbarkeit gegeben, deshalb werden 3 Punkte vergeben. Einfachheit des Systems: Unkompliziertes Low-Tech System, deshalb werden 3 Punkte vergeben.</p>
A.2 Automatische Fensterlüftung	<p>Energieeinsparpotenzial: Lüftung erfolgt dann automatisch, wenn Bedarf entsteht (zB durch CO2- oder Temperatursteuerung), unsachgemäße Lüftung von Nutzern entfällt. Keine Wärmerückgewinnung möglich. Nutzung in Übergangszeiten sinnvoll, wodurch nahezu 50 % Lüftungsenergie gespart werden kann. Aus diesen Gründen wird das Energieeinsparpotenzial als hoch und mit 6 Punkten bewertet. Umsetzbarkeit am Standort: Automatisch gesteuerte Fenster sind leicht implementierbar und gängige Lösung, daher werden 3 Punkte vergeben. Multiplizierbarkeit: Hohe Multiplizierbarkeit gegeben, deshalb werden 3 Punkte vergeben. Einfachheit des Systems: Dezentrale Lösung: Viele Steuerungen und Motoren notwendig, relativ hoher Wartungsaufwand, Technologie an sich nicht komplex, deshalb werden 2 Punkte vergeben.</p>

A.3 Windtürme	<p>Energieeinsparpotenzial: Verringerung von Lüftungs- und Kühlbedarf in Übergangszeiten und Sommer, hohes Energieeinsparpotenzial, Kombinationsmöglichkeit mit Erd-Luft-Register, allerdings abhängig von Wind, daher werden 4 Punkte vergeben. Umsetzbarkeit am Standort: Theoretisch möglich, es gibt wenig Erfahrung im Bürogebäudebereich, daher 2 Punkte. Multiplizierbarkeit: Konstruktion von Windturm windabhängig und gebäudeabhängig, kaum Erfahrungswerte 2 Punkte. Einfachheit des Systems: Technologie an sich nicht komplex, allerdings sind Simulationen notwendig, um sicherzustellen, dass jeder Raum im Gebäude ausreichend belüftet wird, daher 2 Punkte.</p>
A.4 Solarkamine	<p>Energieeinsparpotenzial: Verringerung von Lüftungs- und Kühlbedarf in Übergangszeiten und Sommer, hohes Energieeinsparpotenzial, Kombinationsmöglichkeit mit Erd-Luft-Register, unabhängig von Wind, daher werden 6 Punkte vergeben. Umsetzbarkeit am Standort: Theoretisch möglich, es gibt wenig Erfahrung im Bürogebäudebereich, daher 2 Punkte Multiplizierbarkeit: Konstruktion von Solarkaminen gebäudeabhängig, kaum Erfahrungswerte, deshalb 2 Punkte. Einfachheit des Systems: Technologie an sich nicht komplex, allerdings sind Simulationen notwendig, um sicherzustellen, dass jeder Raum im Gebäude ausreichend belüftet wird, daher 2 Punkte.</p>
A.5 Energieturm	<p>Energieeinsparpotenzial: Verringerung von Lüftungsbedarf in Übergangszeiten und Sommer, hohes Energieeinsparpotenzial, Kombinationsmöglichkeit mit Erd-Luft-Register, unabhängig von Wind, höhere Einsparungen für Kühlung als für Windtürme oder Solarkamine, daher werden 6 Punkte vergeben. Umsetzbarkeit am Standort: Theoretisch möglich, es gibt wenig Erfahrung im Bürogebäudebereich, daher 2 Punkte Multiplizierbarkeit: Konstruktion von Solarkaminen gebäudeabhängig, kaum Erfahrungswerte, deshalb 2 Punkte. Einfachheit des Systems: Technologie inklusive Kühlung komplex, es sind Simulationen notwendig, um sicherzustellen, dass jeder Raum im Gebäude ausreichend belüftet wird, daher 1 Punkt.</p>

B Multifunktion Fassadensysteme	Umsetzbarkeit am Standort: Jedes der beschriebenen Systeme kann für die FUTUREbase umgesetzt werden, deshalb werden hier 3 Punkte vergeben. Multiplizierbarkeit: Es gibt keine Gründe, weshalb multifunktionale Fassadensysteme nicht für viele Gebäude eingesetzt werden könnten, deshalb werden ebenfalls 3 Punkte vergeben.
B.1 Lüftung (natürlich – dezentral)	Energieproduktion: Keine Energieproduktion, daher 0 Punkte. Energieeinsparpotenzial: hoch während Übergangszeiten, wie bei natürlicher Lüftung, daher werden 6 Punkte vergeben. Einfachheit des Systems: Technologie an sich nicht komplex, aber wartungsintensiv, weil eine Vielzahl an Klappen oder ähnlichem notwendig wäre, daher 2 Punkte.
B.2 Lüftung (mechanisch – dezentral)	Energieproduktion: Keine Energieproduktion, daher 0 Punkte. Energieeinsparpotenzial: Nicht vorhanden, da viele kleine mechanische Lüftungsanlagen ineffizienter sind als eine große Anlage. Einfachheit des Systems: Komplexes System, viele kleine Motoren vorhanden, wartungsaufwändig, daher 0 Punkte.
B.3 Kühlung & Heizung (dezentral)	Energieproduktion: Keine Energieproduktion, daher 0 Punkte. Energieeinsparpotenzial: Wenn Wärme oder Kälte in dezentralen Einheiten in der Fassade produziert wird fallen hohe Verluste an, deshalb 0 Punkte. Einfachheit des Systems: Viele Komponenten in der Fassade, extrem hoher Wartungsaufwand, daher 0 Punkte.
B.4 Stromerzeugung durch PV	Energieproduktion: PV-Module können in Fassade integriert werden, entscheidend ist die Ausrichtung, 30° werden kaum erreicht werden können, deshalb 4 Punkte. Energieeinsparpotenzial: ist nicht gegeben, deshalb 0 Punkte, Einfachheit des Systems: Fassadenintegrierte PV-Module sind oft Maßanfertigungen, Fassadenintegration aufwändig, daher 2 Punkte.
B.5 Wärmeerzeugung durch Solarthermie	Energieproduktion: PV-Module können in Fassade integriert werden, entscheidend ist die Ausrichtung, 45° werden kaum erreicht werden können, deshalb 4 Punkte. Energieeinsparpotenzial: ist nicht gegeben, deshalb 0 Punkte. Einfachheit des Systems:

	Fassadenintegrierte solarthermische Module sind oft Maßanfertigungen, Fassadenintegration und Verrohrung aufwändig, daher 2 Punkte.
B.6 Verschattung	Energieproduktion: Keine Energieproduktion, daher 0 Punkte. Energieeinsparungspotenzial: Intelligente Verschattungssysteme können solaren Eintrag massiv reduzieren, deshalb 6 Punkte. Einfachheit des Systems: Steuerung und Mechanik komplex, Windschutz muss gegeben sein, deshalb wird die Einfachheit mit einem Punkt bewertet.
B.7 Funktionen kombiniert	Energieproduktion: Geringer als bei reiner PV oder Solarthermieintegration, da weniger Platz für Module übrig bleibt, deshalb 2 Punkte. Energieeinsparungspotenzial: Gering, da viele dezentrale Systeme ineffizienter sind, daher werden 2 Punkte vergeben. Einfachheit des Systems: Verschiedene Funktionen in der Fassade zu vereinen ist äußerst komplex, deshalb werden 0 Punkte vergeben.
C Einbindung Kleinwindkraft	Energieproduktion: Die Windverhältnisse am Standort sind laut Messwerte von ENERGYbase nicht ideal, für eine Musteranlage mit einer Nennleistung von 5 kW bei einer Windgeschwindigkeit von 11,4 m/s wird diese nur zu 0,5 % der Zeit erreicht, zu 80 % liegt die Windgeschwindigkeit über der Einschaltgeschwindigkeit der Anlage, deshalb wird die Energieproduktion als mittel angesehen und mit 4 Punkten bewertet wird. Energieeinsparpotenzial: KWKA können keine Energie einsparen, deshalb werden hier 0 Punkte vergeben. Multiplizierbarkeit: Wenn rechtliche Rahmenbedingungen es zu lassen und Anwohner weder durch Geräusche noch durch Lichtflackern belästigt werden, ist die Technologie leicht auf andere Gebäude umsetzbar, deshalb werden 2 Punkte vergeben. Einfachheit des Systems: Es muss sichergestellt sein, dass durch KWKA verursachte Vibrationen nicht ins Gebäude geleitet werden, Anlagen selbst sind einfach montierbar, Anschlüsse müssen vorhanden sein, deshalb wird die Einfachheit des Systems mit 2 Punkten bewertet.
C.1 ohne Photovoltaik am Dach	Umsetzbarkeit am Standort: Wenn keine Photovoltaikmodule auf das Dach montiert werden, gibt

	es einige Punkte, wo KWKA errichtet werden könnten, deshalb werden 2 Punkte vergeben.
C.2 mit Photovoltaik am Dach	Umsetzbarkeit am Standort: Wenn Photovoltaikmodule auf das Dach montiert werden, gibt es keine Punkte, wo KWKA errichtet werden könnten, da auf jeden Standort zu bestimmten Zeiten die Photovoltaikmodule verschattet würden, deshalb werden hier 0 Punkte vergeben.
D Pflanzeneinbindung zur Raumlufbefeuchtung	Energieproduktion: Mit dieser Technologie ist keine Energieproduktion möglich, daher 0 Punkte. Umsetzbarkeit am Standort: Es spricht technisch nichts dagegen, diese Technologien am Standort FUTUREbase umzusetzen, daher werden 3 Punkte vergeben.
D.1 Pflanzenpuffer	Energieeinsparpotenzial: Durch den hohen Ventilationsaufwand zum einen um die feuchte Luft zu transportieren zum anderen um Kondensation zu verhindern gibt es durch Pflanzenpuffer kein Energieeinsparpotenzial, deshalb werden hier 0 Punkte vergeben. Multiplizierbarkeit: Pflanzenpuffer sind schwer in das Gesamtsystem des Gebäudes zu integrieren, es sind für jedes Gebäude aufwändige Simulationen zu erstellen, deshalb wird die Multiplizierbarkeit mit 1 Punkt bewertet. Einfachheit des Systems: Bei Pflanzenpuffern handelt es sich um ein äußerst komplexes System, die Einbindung in das HVAC-System ist technisch aufwendig, Pflanzen reagieren verschieden, deshalb werden für dieses Kriterium 0 Punkte vergeben.
D.2 Innenraumbegrünung	Energieeinsparpotenzial: Keine Ventilation notwendig, der Bedarf an Kühlenergie wird leicht reduziert, deshalb werden hier 2 Punkte vergeben. Multiplizierbarkeit: Innenraumbegrünung kann nahezu überall angewendet werden, deshalb werden hier 3 Punkte vergeben. Einfachheit des Systems: Innenraumbegrünung an sich ist nicht komplex, es müssen allerdings geeignete Pflanzen verwendet werden, zusätzlich muss man beachten, dass Gläser mit ausreichender Lichtdurchlassfähigkeit verwendet werden und Wasseranschlüsse bereit gestellt werden, deshalb werden für dieses Kriterium 2 Punkte vergeben.
E Zentrale IT-Lösungen zur Verringerung der internen Lasten	Energieproduktion: Mit dieser Technologie ist keine Energieproduktion möglich, daher werden 0 Punkte vergeben. Multiplizierbarkeit: Dezentrale IT-Systeme bzw. Notebook-Lösungen können

	relativ einfach, selbst für Bestandsgebäude umgesetzt werden, deshalb werden hier 3 Punkte vergeben. Einfachheit des Systems: Von der Hardware her sind Thin Clients und Notebooks nicht komplex, es muss allerdings darauf acht gegeben werden, dass die Systemkomponenten (Hardware und Software) aufeinander abgestimmt werden. Rechnerkapazitäten bei Servern und Bandbreiten müssen ausreichend gewährleistet werden, deshalb werden für dieses Kriterium 2 Punkte vergeben.
E.1 70 % PC 30 % NB 0 % TC	Energieeinsparpotenzial: Keines, deshalb werden 0 Punkte vergeben. Umsetzbarkeit am Standort: Sehr leicht umsetzbar, deshalb werden 3 Punkte vergeben.
E.2 30 % PC 40 % NB 30 % TC	Energieeinsparpotenzial: Bei einem PC-Anteil von nur mehr 30 % ist ein mittleres Energieeinsparpotenzial möglich, deshalb werden 4 Punkte vergeben. Umsetzbarkeit am Standort: Sehr leicht umsetzbar, deshalb werden 3 Punkte vergeben.
E.3 10 % PC 40 % NB 50 % TC	Energieeinsparpotenzial: Bei einem PC-Anteil von nur mehr 10 % ist ein hohes Energieeinsparpotenzial möglich, deshalb werden 6 Punkte vergeben. Umsetzbarkeit am Standort: Sehr leicht umsetzbar, deshalb werden 3 Punkte vergeben.
E.3 0 % PC 25 % NB 75 % TC	Energieeinsparpotenzial: Gänzlich ohne PCs ist ein hohes Energieeinsparpotenzial möglich, deshalb werden 6 Punkte vergeben. Umsetzbarkeit am Standort: Da man die zukünftige Belegung der FUTUREbase noch nicht abschätzen kann, ist es schwierig festzustellen, ob die Anwender gänzlich ohne PCs auskommen werden können, deshalb werden hier 2 Punkte vergeben.
F Prognosegesteuerte Regelung	Energieproduktion: Mit dieser Technologie ist keine Energieproduktion möglich, daher 0 Punkte. Umsetzbarkeit am Standort: Implementierung technisch möglich, die meteorologischen Daten sind aufgrund des ProKlim Projektes vorhanden, daher 2 Punkte. Multiplizierbarkeit: Prognosegesteuerte Regelungen sind äußerst schwer multiplizierbar. Es kommt immer auf die Gebäudeart an, den Standort, das Klima, die Ausrichtung des Gebäudes, die verfügbaren meteorologischen

	Daten, weshalb für jedes Projekt aufwendige Simulationen durchgeführt werden müssen. Rückschlüsse auf andere Standorte sind nur schwer zu erzielen, daher werden für dieses Kriterium 0 Punkte vergeben. Einfachheit des Systems: Prädiktive Regelung ist immer ein äußerst komplexes interdisziplinäres Unterfangen. Haustechniker, Meteorologen, BMS-Entwickler Softwareentwickler und Architekten müssen bereits in der Planung eng miteinander zusammenarbeiten, deshalb 0 Punkte.
F.1 Bei Leichtbauweise	Energieeinsparpotenzial: Da keine Speichermasse vorhanden ist und Trägheiten des Systems ausgeschlossen werden können, ist das Energieeinsparpotenzial äußerst gering, deshalb werden 0 Punkte vergeben.
F.2 Bei schwerer Bauweise	Energieeinsparpotenzial: Durch Bauteilaktivierung kann thermische Trägheit des Gebäudes besser ausgenutzt werden, das Energieeinsparpotenzial ist gering, deshalb werden 2 Punkte vergeben.
F.3 Mit flexibler Verschattung	Energieeinsparpotenzial: Flexible Verschattung kann ohne Verzögerungen unerwünschte solare Einträge verhindern, deshalb besteht durch prädiktive Regelung kein Einsparpotenzial.
F.4 Mit eingeschränkt justierbarer Verschattung	Energieeinsparpotenzial: Falls die Verschattung nicht flexibel auf Strahlung zeitnah reagieren kann, können durch Prognose angekündigte solare Einträge vermindert werden, weshalb das Energieeinsparpotenzial für Kühlung als mittel eingestuft und mit 4 Punkten bewertet wird.
G Soil Cooling / Bodengebundene Kühlsysteme	Energieproduktion: Mit dieser Technologie ist keine Energieproduktion möglich, daher 0 Punkte. Energieeinsparpotenzial: Mit Green Roofs oder Vegetation um das Gebäude ist das Energieeinsparpotenzial in dem Klima, dem die FUTUREbase ausgesetzt ist, niedrig, es gibt leicht verringerten Energieverbrauch durch minimierten Kühl- und Luftbefeuchtungsbedarf, deshalb wird 1 Punkt vergeben. Multiplizierbarkeit: Alle dieser Strategien sind leicht auf andere Gebäude anzuwenden, weshalb für dieses Kriterium 3 Punkte vergeben werden.
G.1 Vegetation um das Gebäude	Umsetzbarkeit am Standort: Aufgrund des sehr knapp verfügbaren Raumes ist eine Vegetation

	<p>um die FUTUREbase nur sehr beschränkt umsetzbar. Lediglich einige Bäume können in den Höfen wie in Kapitel zu Soil Cooling gezeigt, gepflanzt werden, deshalb wird 1 Punkt vergeben. Einfachheit des Systems: Bäume und Sträucher um ein Gebäude zu pflanzen, ist ein generell einfach umsetzbar, deshalb werden 3 Punkte vergeben.</p>
G.2 Green Roofs mit PV	<p>Umsetzbarkeit am Standort: Werden Photovoltaikmodule am Dach angebracht, um den Status eines Plusenergiegebäudes erreichen zu können, ist ein Anlegen eines Green Roofs nicht möglich, weshalb 0 Punkte vergeben werden. Einfachheit des Systems: Das Anlegen eines Green Roofs ist eine wenig komplexe Strategie, es muss allerdings auf die Statik, Bewässerung und die Art der Bepflanzung Rücksicht genommen werden, deshalb werden 2 Punkte vergeben.</p>
G.3 Green Roofs ohne PV	<p>Umsetzbarkeit am Standort: Werden keine Photovoltaikmodule am Dach angebracht besteht keine Platzkonkurrenz mit PV-Modulen, weshalb ein Anlegen eines Green Roofs möglich ist und 3 Punkte vergeben werden. Einfachheit des Systems: Das Anlegen eines Green Roofs ist eine wenig komplexe Strategie, es muss allerdings auf die Statik, Bewässerung und die Art der Bepflanzung Rücksicht genommen werden, deshalb werden 2 Punkte vergeben.</p>

Tabelle 8: Beschreibungsmatrix, Quelle: selbst erstellte Tabelle

6 Schluss

Gebäude verbrauchen global gesehen ca. 44 % der Gesamtprimärenergie und zählen damit neben Verkehr, Industrie und Landwirtschaft zu den größten CO₂ Emittenten und somit zu den wichtigsten Verursachern des Klimawandels. Ökologische, ökonomische und politische Gründe sprechen dafür, den Energieverbrauch von Gebäuden zu verringern. In dieser Arbeit sind acht Technologien für ein konkretes Bauvorhaben (FUTUREbase) in Wien Floridsdorf untersucht und die Ergebnisse in einer Bewertungsmatrix dargestellt worden. Erklärtes Ziel ist, dass die FUTUREbase den Status eines Plusenergiegebäudes erreicht.

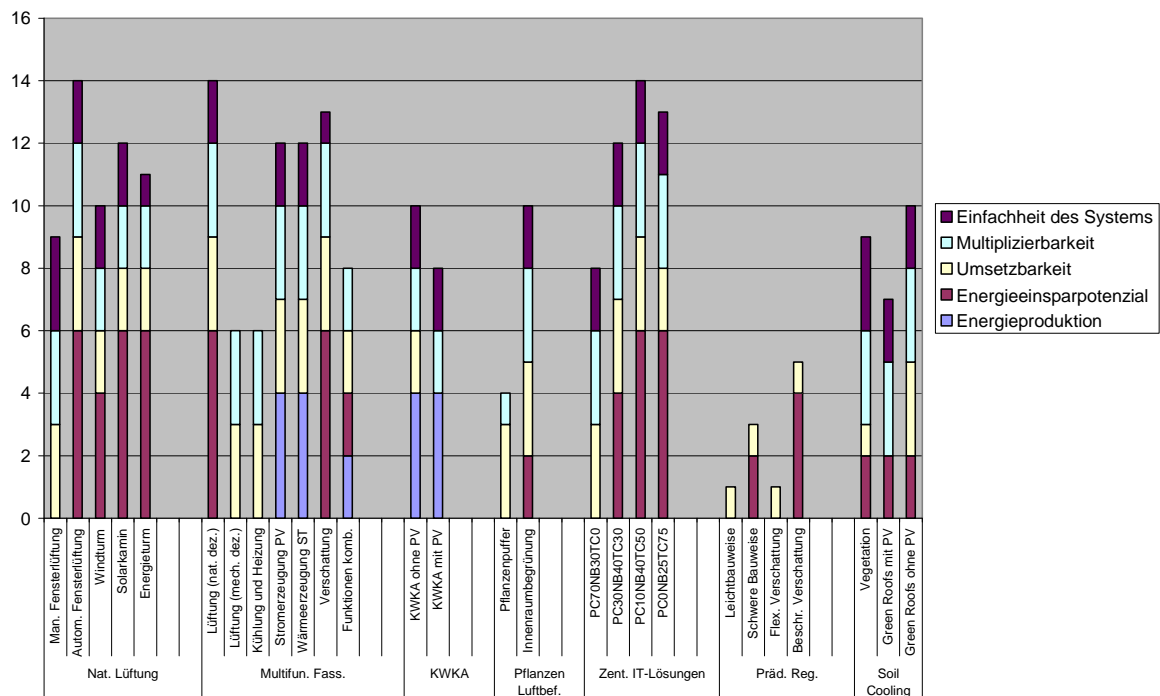


Abbildung 26: Zusammenfassung Bewertungsmatrix Quelle: selbst erstellte Grafik

Obige Abbildung stellt eine Zusammenfassung der Erkenntnisse der Bewertungsmatrix dar. Sie zeigt, dass Technologien für natürliche Lüftung (in der Grafik im ersten Block) ein hohes Einsparpotenzial aufweisen. Mechanische Lüftungssysteme zählen zu den größten Energieverbrauchern eines Gebäudes. Vor allem in den Übergangszeiten könnte auf mechanische Lüftung gänzlich verzichtet und so nahezu die Hälfte der Lüftungsenergie eingespart werden. Die automatische Fensterlüftung schneidet in der Bewertung der natürlichen Lüftungssystemen am besten ab. Das Energieeinsparpotenzial ist hier groß, da nur bei Bedarf gelüftet wird, was bei manueller Fensterlüftung oft nicht der Fall ist. Falsches Nutzerverhalten führt oft zu Energieverlusten. Windtürme, Solarkamine und Energietürme sind eine interessante Alternative, allerdings gibt es im Bereich für

Mehrzweckgebäude kaum Pilotprojekte oder Erfahrungswerte. Zu erwähnen ist, dass bei keinem System der natürlichen Lüftung Wärmerückgewinnung möglich ist.

Multifunktionale Fassadensysteme können verschiedene Aufgaben erfüllen, zB Energieerzeugung (PV, Solarthermie), natürliche Lüftung (Klappen, Fenster), mechanische Lüftung (dezentral) oder Verschattung. Energieeinsparpotenziale sind lediglich bei natürlicher Lüftung und Verschattung gegeben. Dezentrale mechanische Lüftung scheint aufgrund höheren Energieverbrauches und hohen Wartungsaufwandes keine sinnvolle Technologie für die FUTUREbase zu sein.

Bei Kleinwindkraft muss darauf geachtet werden, dass Photovoltaikflächen auf der FUTUREbase oder ENERGYbase nicht verschattet werden und es weder zu Vibrationen, Lichtflackern oder Geräuschentwicklungen kommt, die die Nutzer der umliegenden Gebäude stören könnten. Windmessungen, die auf der ENERGYbase durchgeführt worden sind zeigen, dass die für viele Windkraftanlagen notwendige Mindestwindgeschwindigkeit von 11 m/s nur äußerst selten vorkommt, die volle Leistung wird beinahe nie erreicht. Diesbezüglich muss die Kennlinie einer Windkraftanlage genau studiert werden, damit beurteilt werden kann, welchen Ertrag eine KWKA bei welchen Windgeschwindigkeiten liefert.

Raumluftbefeuchtung durch Pflanzeneinbindung ist durch verschiedene Lösungen möglich, zum einen können zentrale Pflanzenpuffer als Feuchtegeneratoren dienen wie diese in der ENERGYbase ausgeführt worden sind. Zum anderen kann einfache Innenraumbegrünung zur Befeuchtung durch Pflanzen angewendet werden. Pflanzenpuffer benötigen hohen Ventilationsaufwand, was sich negativ auf die Energiebilanz auswirkt. Sie sind allerdings im Vergleich zu Innenraumbegrünung leichter steuer- und regulierbar. Das Energieeinsparpotenzial ist bei Innenraumbegrünung begrenzt. Achtzugeben ist bei beiden Technologien, dass die Verglasung des Gebäudes ausreichend lichtdurchlässig ist, damit die Pflanzen gedeihen können.

Zentrale IT-Lösungen mit Thin Clients oder Notebook-Systeme können bis zu 72 % des Wärmeeintrags in die Büros einsparen helfen. Thin Clients können nicht überall angewendet werden, dies stellt allerdings in so ferne kein großes Problem dar, da Mischlösungen mit PCs, Notebooks und Thin Clients durchaus üblich und technisch unproblematisch sind. Wird die Hauptrechenleistung in Serverräume verlegt, kann die dort entstehende Wärme zentral für Heizzwecke genutzt werden.

Wetterprognosegesteuerte Regelung stellt ein äußerst komplexes System verschiedenster Disziplinen dar, da meteorologische Daten, Software, Haustechnik, Simulation und Gebäudeleitsystem aufeinander treffen und aufeinander abgestimmt werden müssen. Zur hohen Komplexität kommt noch hinzu, dass lediglich bei schwerer Bauweise und inflexiblen Verschattungssystemen ein lediglich begrenztes Energieeinsparpotenzial besteht. Der Aufwand für die Integration verschiedener Technologien scheint größer zu sein als die zu erwartenden Energieeinsparungen.

Unter bodengebundener Kühlung im engeren Sinn werden in dieser Arbeit Green Roofs und Vegetation um das Gebäude verstanden. Beide Ansätze verbessern das Mikroklima um das Gebäude und können helfen, Kühlenergie einzusparen. Für die FUTUREbase wird die Anlage intensiver Vegetation aufgrund von Platzmangel nicht möglich sein. Green Roofs stehen in Platzkonkurrenz mit etwaigen Photovoltaikmodulen, die für die Energieerzeugung benötigt werden.

Im Gebäudebereich gibt es bisher kaum marktfähige Produkte, die der Bionik entsprungen sind. In dieser Arbeit sollen Forschungsfelder aufgezeigt werden, die zurzeit von Universitäten oder anderen Organisationen bearbeitet werden, die zukünftig zu von der Natur inspirierten Produkten führen könnten.

Die Bewertungsmatrix zeigt, dass von den untersuchten Technologien jene für natürliche Lüftung und zentrale IT-Systeme (inkl. Notebook-Lösungen) sind, die für die FUTUREbase das größte Energieeinsparpotenzial aufweisen. Hingewiesen soll an diesem Punkt noch einmal werden, dass diese Arbeit ein Technologiescreening darstellt und somit keine detaillierten auf die FUTUREbase zugeschnittenen Ergebnisse beinhalten. Dies ist zum heutigen Zeitpunkt der Projektphase nicht möglich, da Gebäudegeometrien usw. noch nicht feststehen.

Literaturverzeichnis

Arce, J., Jimenez M. J., Guzman, J.D., Heras, M. R., Alvarez, G., Xaman, J., Experimental study for natural ventilation on a solar chimney, Elsevier, Los Angeles 2009

Arsenal Research, Thermisch hygrische Simulationen für Pflanzenpuffereinbindung im Bauvorhaben ENERGYbase, Fachlicher Teilbericht, Arsenal Research, Wien 2008

Braun, D. H., Bionisch inspirierte Gebäudehüllen, Universität Stuttgart, Stuttgart 2008

Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V (BITKOM), Thin Client and Server Based Computing, Berlin 2008

Castleton H. F., Stovin V., Beck S. B. M., Davison J. B., Green roofs, building energy savings and the potential for retrofit, Elsevier Ltd., Los Angeles 2010

Der Spiegel 47/2010, Mit der Abwärme Gebäude heizen, München 2010

Deutsche Energie Agentur GmbH (dena), Im Sommer sparen energieeffiziente Bürogeräte doppelt, Berlin 2006

Dos Santos M. N., Urban Wind Turbines, Perspectives for Vienna, Diplomarbeit FH Technikum Wien 2010

Drusche, V., Synergie Energie, Planen, Bauen, Sanieren, Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München 2004

Eicker, U., Solare Technologien für Gebäude, B. G. Teubner GmbH, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden 2001

Fechner, H., Energietechniken zur Erreichung des Plus-Energie-Standards, Präsentation ÖGUT, Wien 2010

Forschungszentrum Jülich, Netzwerke Grundlagenforschung erneuerbare Energien und rationelle Energieanwendung, Jülich 2007

Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Ökologischer Vergleich von PC und Thin Client Geräten, Oberhausen 2008

Gauzin-Müller D., Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau: Konzepte, Technologien, Beispiele, Birkhäuser, Basel/Berlin/Boston 2002

Givoni, B., Cooled soil as a cooling source for buildings, Elsevier Ltd., Los Angeles 2006

Global Wind Energy Council, Global Wind Statistics 2010, Brüssel 2011.

Gratia, E., De Herde A., Guidelines for improving natural daytime ventilation in an office building with a double-skin facade, Elsevier Ltd., Los Angeles 2006

- Gwerder, M., Gyalistras, D., Oldewurtel, F., Lehmann, B., Wirth, K., Stauch, V. & Sagerschnig, C, Prädiktive Gebäuderegulierung mithilfe von Wetter- und Anwesenheitsvorhersagen: Resultate des Projekts OptiControl, Zürich 2010
- Gyalistras, D., Final Report: Use of Weather and Occupancy Forecasts for Optimal Building Climate Control (OptiControl), ETH Zürich, Institute of Integrative Biology, Zürich 2010
- Hamp, V., Lüftungsanlage Heizbetrieb, Bachelorarbeit FH Technikum Wien, Wien 2011
- Hau, E., Windkraftanlagen. Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit, 4. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg 2008
- International Electrotechnical Commission, International Standard IEC 61400-2. Wind turbines – design requirements for small turbines, Schweiz 2006
- Jopp, K., Nanotechnologie – Aufbruch ins Reich der Zwerge, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2006
- Josef Gartner GmbH, inHaus2 Fassadensysteme – Produktbeschreibungen, Gundelfingen 2010
- Josef Gartner GmbH, Zukünftige Anforderungen an die Fassade und das Gebäude aus Sicht eines Fassadenherstellers, Präsentation, Gundelfingen 2007
- Jungbauer, A., Windenergienutzung in einem regenerativen System, TU Graz, Graz 1998
- Kahn, M., Proklim – Prognosegesteuerte Gebäudeklimatisierung, Zwischenbericht des Projektes, Wien 2010
- Khanal, R., Lei, C., Solar chimney – A passive strategy for natural ventilation, Elsevier B.V., Amsterdam 2011
- Kirchwegger, C., Kleinwindkraft in der Praxis, Grundlagen, Markt, Potenziale, Probleme, Grin Verlag, Norderstedt 2009
- Laasch, T. und Laasch E., Haustechnik: Grundlagen – Planung – Ausführung. 11. Auflage, B. G. Teubner Verlag, Wiesbaden 2005
- Lampe (Hrsg.), Green-IT, Virtualisierung und Thin Clients, Vieweg und Teuber, Wiesbaden 2010
- MeteoSwiss, Annual Report 2009, Zürich 2009
- Montazeri, H., Montazeri, F., Azizian, R, Mostafavi, S., Two-sided wind catcher performance evaluation using experimental, numerical and analytical modeling, Elsevier Ltd., Los Angeles 2008
- Müller, H., Neue Entwicklungen einer bau- und anlagentechnischen Integration für Neubau und Bestand, Präsentation, TU Dortmund, Dortmund 2008
- Nachtigall, W., Bionik als Wissenschaft, Springer Verlag, Berlin 2002

Nachtigall, W., Bau-Bionik – Natur, Analogien, Technik, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York 2003

Preisack, E., Holzer, P. und Rodleitner H., Neubau Biohof Achleitner – Gebäude aus Holz, Stroh und Lehm, Raumklimatisierung mit Hilfe von Pflanzen, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Perg 2008

Poppinga, S., Lienhard, J., Schleicher, S., Masselter, T., Knippers, J., Speck, T., Gelenkfeie Klappen bei *Strelitzia reginae*, Bionik-Poster, Universität Stuttgart, Stuttgart 2010

Schweizerische Vereinigung für Geothermie, Erdwärme: Eine saubere Energie für all, SVG, Biel 2005

Stavarakakis, G. M., Koukou, M. K., Vrachopoulos, M. Gr., Markatos N.C., Natural cross-ventilation in buildings: Building-scale experiments, numerical simulation and thermal comfort evaluation, Elsevier B.V., Amsterdam 2008

Institut für internationale Architektur-Dokumentation, SolarArchitektur4, Die deutschen Beiträge zum Solar Decathlon Europe 2010, München 2011

Trogisch, A., Planungshilfen Lüftungstechnik, C.F. Müller Verlag, Heidelberg 2003

WINEUR, Cace. J., Horst E., Synegallkis, K., Niel, M., Clement, P., Heppener, R., Peirano, E., Urban Wind Turbines. Guidelines for Small Wind Turbines in the Built Environment, European Union 2007

Xie, G., Zhang, G. Lin, F., Zhang, J., Liu, Z., Mu, S., The fabrication of subwavelength anti-reflective nanostructures using a bio template, Artikel in "Nanotechnology, Ausgabe 19 2008, Internetdownload vom 13.5.2011 (<http://iopscience.iop.org>)

Zimmermann, M. Handbuch der passiven Kühlung, EMPA ZEN, Bern 1999

Relevante Links

<http://www.wind-energy-the-facts.org/de/part-i-technology/chapter-6-small-wind-turbines>

<http://www.bundesverband-kleinwindanlagen.de/index.php?menuid=15>

<http://www.ris.bka.gv.at/>

www.urbanwind.org

www.energie-plattform.ch/ph/definition

www.ENERGYbase.at

http://www.contentmanager.de/magazin/artikel_1220_thin_client_fat_client_vergleich_vorteile.html

http://www.thinmanager.com/news/archive_03/3_1_TC_Markets_6.shtml

http://www.simonschleicher.com/Flectofin_Bremen.pdf

www.lotus-effekt.de

<http://www.biokon.net/>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Standort FUTUREbase, Quelle: www.googlemaps.com	11
Abbildung 2: Temperaturverläufe in Wien, Hohe Warte (1971 – 2000), Quelle: www.zamg.at	13
Abbildung 3: Verlauf Luftfeuchtigkeit in Wien, Hohe Warte (1971 – 2000), Quelle: www.zamg.at	13
Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Windturmes, Quelle: www.wikipedia.org	19
Abbildung 5: Schematische Darstellung eines Solarkamins, Quelle: Arce et al. 2009	20
Abbildung 6: Schnitt Haus Team Stuttgart und Energieturm, Quelle: Institut für internationale Architektur-Dokumentation 2011	22
Abbildung 7: Vorgehängte Fassade, Sommer- und Winterbetrieb, Quelle: Trogisch 2003.	23
Abbildung 8: Dezentrale und zentrale HVAC Systeme, Quelle: Josef Gartner 2007	26
Abbildung 9: TeMotion Fassadenelement, Quelle: Müller 2008.....	27
Abbildung 10: Rotorentypen mit vertikaler Rotationsachse, Quelle: Hau 2008, S. 66	33
Abbildung 11: Windkonditionen in bebauten Gebieten, Quelle: AEE Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie NÖ-Wien, 2010, zitiert in Dos Santos 2010	36
Abbildung 12: Mögliche Platzierung KWKA ohne PV, Quelle: selbst erstellte Grafik	39
Abbildung 13: Häufigkeiten der Windgeschwindigkeiten, Quelle: selbst erstellte Grafik	40
Abbildung 14: Position Pflanzenpuffer ENERGYbase, Quelle: www.caliqua.at	42
Abbildung 15: Innenraumbegrünung Biohof Achleitner, Quelle: Preisack et al. 2008, S. 70	43
Abbildung 16: Client/Server-Modell, Quelle: Lampe 2010 S. 92	49
Abbildung 17: Server Based Computing, Quelle: Lampe 2010 S. 93.....	50
Abbildung 18: Thin Client Arbeitsplatz, Quelle: www.contactcloud.net	51
Abbildung 19: Wärmelast verschiedener IT-Szenarien, Quelle: selbst erstellte Grafik.....	56
Abbildung 20: Darstellung der verschiedenen Komponenten und ihr Zusammenspiel bei der vorausschauenden Steuerung des Gebäudeklimas. Quelle: MeteoSwiss 2009, S. 29	58
Abbildung 21: Übersicht über die in OptiControl untersuchten Systeme der IRA Quelle: Gweder et al, 2010.....	61
Abbildung 22: Einsparpotenziale Primärenergie in Prozent in verschiedenen Gebäudesystemen. Quelle: Gweder et al, 2010	61
Abbildung 23: Theoretische Einsparpotenziale für individuelle Gebäudezonen-Fälle für die prädiktive Regelung f) und das Gebäudesystem S2 als Funktion der jahresmittleren spezifischen (Energiedurchlasswert Fenster mal Fensterfläche/Raumfläche) solaren Wärmegewinne. Quelle: Gweder et al, 2010	63
Abbildung 24: Verschiedene Schichten eines intensiven Green Roofs, Quelle: Green Roof Service LLC	67
Abbildung 25: Möglichkeit für Vegetation um FUTUREbase Quelle: selbst erstellte Grafik	69
Abbildung 26: Zusammenfassung Bewertungsmatrix Quelle: selbst erstellte Grafik.....	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Punktesystem für Bewertungskriterien, Quelle: selbst erstellte Tabelle.....	17
Tabelle 2: Kriterien für erfolgreiche KWKA Projekte, Quelle: selbst erstellte Tabelle, nach WINEUR 2007	38
Tabelle 3: Gegenüberstellung Thin Client und PCs, Quelle: BITKOM 2008	52
Tabelle 4: Forschung an bionisch inspirierten Strukturen, Quelle: selbst erstellte Tabelle.	73
Tabelle 5: Forschung an bionisch inspirierten Materialien, Quelle: selbst erstellte Tabelle	74
Tabelle 6: Forschung an bionisch inspirierten Funktionen, Quelle: selbst erstellte Tabelle	77
Tabelle 7: Bewertungsmatrix, Quelle: selbst erstellte Tabelle.....	79
Tabelle 8: Beschreibungsmatrix, Quelle: selbst erstellte Tabelle	87

Abkürzungsverzeichnis

AIT	Austrian Institute of Technology
BMS	Building Management System
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
GWEC	Global Wind Energy Council
IEC	International Electrotechnical Commission
KWKA	Kleinwindkraftanlage
PC	Personal Computer
PGR	Prognosegesteuerte Regelung
WKA	Windkraftanlage
WWW	World Wide Web