

Klimaangepasste Konzeptentwicklung auf der Basis von Energiebilanzierungen

Entwicklung eines allgemeinen Bilanzierungsmodells, beispielhafte Anwendung des Modells anhand der Bilanzierungsgrösse Energie auf 10 Standorte und Diskussion der Ergebnisse am Beispiel Zentraljapan

Von der Fakultät für Architektur und Landschaft
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

Dr.- Ing.

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Ing. York Ostermeyer

Geboren am 12.07.1976 in Langenhagen

2009

Referent	Prof. Dipl.-Ing. Peter Kaup
Korreferent	Prof. Dr.-Ing. Detlef Glücklich
Tag der Promotion	08.07.2009

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit entwickelt ein Rechenmodell zur Beurteilung angemessener Dämmstärken, Wandaufbauten und haustechnischer Systeme in Abhängigkeit regionaler Klimabedingungen (im Kern der Außentemperatur und der solaren Strahlung). Ziel ist die rechnerische Beschreibung möglicher Standortanpassungen eines Referenzgebäudes. Neben dem als Beispiel dienenden Gebäude werden Varianten und Parameter bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Zielsetzung energieeffizienter Gebäude in verschiedenen Klimazonen untersucht und bewertet.

Die Arbeit setzt die Ergebnisse in Relation zu den aktuell diskutierten Grenzwerten zur Begrenzung des Klimawandels.

Das entwickelte Rechenmodell berücksichtigt neben dem aus den Entscheidungen resultierenden laufenden Verbrauch auch die zur Herstellung der Produkte notwendigen Aufwendungen. Aus diesen beiden Parametern wird für die örtlichen Rahmenbedingungen ein Optimum ermittelt.

Das Modell entwickelt das optimale Gebäude in definierten Schritten (Gebäudehülle – Fenster – Lüftung – Haustechnik). Am Ende jedes Schrittes kann auch eine von der optimalen Lösung abweichende Entscheidung getroffen werden und anschließend auf dieser Basis fortgefahren werden. Die in der Arbeit selbst dargestellten Ergebnisse gehen jedoch ausschließlich von optimalen Entscheidungen aus. Zur Deckung des Restenergiebedarfs werden eine nachhaltige Energiegewinnung über Solarzellen und eine Deckung über regenerativ gewonnene Brennstoffe verglichen.

Das Rechenmodell erlaubt die Verwendung diverser Indikatoren (Energie, Geld, CO₂ etc.), solange für Initialaufwand und laufenden Verbrauch dieselbe Einheit verwendet wird. Diskutiert werden innerhalb der Arbeit nur die Ergebnisse für den Indikator Energie.

Die Ergebnisse der Berechnungen werden für zehn Standorte in unterschiedlichen Klimaregionen in der Arbeit ermittelt. Die Abweichung der als optimal ermittelten Maßnahmen von den realen Konzepten wird am Beispiel des zentraljapanischen Standortes Tokyo am Ende der Arbeit diskutiert.

Abstract

Within the dissertation a calculation tool is developed in order to calculate adapted insulation thickness, sound wall make-ups and sensible housing services for defined regional climate conditions (mainly outer temperature and solar radiation). Goal of the work is the description of the possibility of tailoring a reference building to regional conditions. Besides the reference building several variants and factors in design are evaluated on their impact.

The dissertation discusses the results, using the current targets for the reduction of energy consumption and emissions in order to minimize climate change.

The developed calculation tool takes into account not only the running consumption of a building, but also the effort needed to create the building materials and systems in the first place. By this approach an overall optimum for every single region can be calculated. The tool develops the reference building in four defined steps (envelope – windows – venting – heating/ cooling system). At the end of every step decisions that differ from the optimal choices can be made, using these to continue in the following steps. The results shown within the dissertation are only the optimal conditions however. The energy consumption of the building is covered using either solar cells or regenerative fuel. Both systems are compared within the dissertation.

The developed tool allows for the usage of diverse indicators (energy, money, emissions etc.) as long as the same indicator is used for the initial effort as well as the running consumption. Within the dissertation only the results for the indicator energy are discussed however.

The results of the tool are calculated and shown for ten different locations in different climate zones. The differences between the calculated concepts and the established concepts are discussed for the central Japanese location Tokyo.

Stichworte

Energieverbrauch, Gebäude, Graue Energie, Klimaangepasstes Bauen, Energieeffizienz

Keywords

energy consumption, buildings, grey energy, climate adapted buildings, energy efficiency

Danksagung

Bevor auf fast zweihundert Seiten auf die eigentliche Arbeit eingegangen werden muss, sollen an dieser Stelle die Personen gewürdigt werden ohne die diese Dissertation sicherlich nie fertig gestellt worden wäre. Ganz allgemein haben extreme Situationen neben den resultierenden Belastungen auch den Vorteil im Bereich der Freunde und Bekannten die Zuverlässigen von den Flüchtigen zu trennen. Allen die nach den letzten Jahren noch bei mir sind deshalb an dieser Stelle einen herrlichen Dank für ihre Ausdauer und Unterstützung. Neben diesem allgemeinen Lob müssen jedoch einige Personen herausgehoben werden:

An erster Stelle Ingo Gabriel für leidenschaftliche Unterstützung, den Hinweis das Bessere sei schon immer der Feind des Guten gewesen, inspirierende Telefonate, die permanente Aufforderung zum Querdenken und Hinterfragen, das eine oder andere Treffen auf Bahnhöfen und Autobahnraststetten und für andauernde Unterstützung, Förderung und Beschäftigung seit einer denkwürdigen ersten Einweisung in Skizziergrundlagen und Kilowattstunden in Dame an der Nordsee.

Meinen beiden Prüfern, Peter Kaup und Detlef Glücklich für ihre Betreuung und Feedback, ihre Bereitschaft wirklich alles zu lesen was innerhalb dieser Arbeit produziert wurde, die Leidenschaft insbesondere die Anfänge des Schreibens zu ertragen und ihr Vertrauen darauf trotzdem alles zu einem guten Ende bringen zu können.

Meine Eltern für tatkräftige Unterstützung und Förderung bei meinem Weg durch das deutsche Bildungssystem, ihren Glauben an mich und ihre motivierenden Worte bei eigenen Zweifeln an der Sinnhaftigkeit der Arbeit.

Brigitte Rühl als wahrscheinlich einzige Sekretärin eines Ministeriums in Niedersachsen, die einem frischdiplomierten Architekten einen einstündigen Termin bei einem Staatssekretär zur Vorbereitung seines Dissertationsthemas gewährt und für ihre aufmunternden Worte in der Startphase.

Joachim Werren als den wahrschlich einzigen Staatssekretär, der diesen Termin in voller Länge auch wahrnimmt, seine Kontaktvermittlung, Unterstützung und Beratung auf denen ein Grossteil meines Restvertrauens in die Politik beruht.

Eggert Sass als einen Menschen den man stets mit schlechter Laune besuchen kann und ihn nach Cappuccino und Gespräch mit guter Laune verlässt sowie für seine Einblicke in japanische Kultur und Denkweisen.

Wolf Stannat für seine Unterstützung und die Lösung widriger Verwaltungsprobleme an der Universität Hannover während meiner Zeit in Japan.

Alexander Furche für seine Beratung insbesondere in der Anfangszeit der Promotion und erste Einführungen in das erfolgreiche Schreiben von Anträgen und Empfehlungen.

Christine Saebel für ihre Unterstützung im Bereich administrativer Probleme während der Arbeit und die Organisation eines mehr als grossartigen Abschlusses.

Manfred Görg als erste Person, die sofort bereit war die Promotion von Seiten ProKlima finanziell zu fördern und zu unterstützen.

Shuhei Kudo für seine wirklich selbstlose Unterstützung, die Begleitung bei zahlreichen Behördengängen, seine Nervenstärke, sein Verständnis für Ausländerprobleme in Japan, zahlreiche gemeinsame Ausflüge, freundliche Hinweise bei unmöglichen Zeitplänen und seine andauernde Freundschaft.

Wataru Iida und Takashina Chisato für ihre Hilfe bei diversen Behördengängen, Fragen und der Akklimatisierung in Japan.

Hirohide Kobayashi für behutsames Heranführen an kulturelle japanische Eigenarten und seine Hilfestellung bei Problemen mit japanischem Reglement aller Art.

Die Mitglieder des Kenseikai Kyoto für das gemeinsame Training, viele gemeinsame Besuche des zweiten Dojo, die Mitnahme zu Lehrgängen auf denen ich sonst nicht mal als Zuschauer zugelassen worden wäre und für die Möglichkeit jederzeit wieder zu Besuch zu kommen.

Die Mitglieder des Kobunaki Projektes für die freundliche Aufnahme, die Zusammenarbeit und die Betreuung während meines Aufenthaltes in Japan.

Maria Heitmann für umfassende Unterstützung und Hilfestellung bei Formatierungen aller Art

Nike Sommerwerk für zahlreiche aufbauende Telefonate, freundliche Worte, ihr aus eigenen Erfahrungen resultierendes Verständnis für die Schwierigkeiten von Doktoranden, das Lesen zahlreicher erster Versuche zu unmöglichen Zeiten und das Vorlegen einer wirklich hohen Messlatte, die mich immer wieder motiviert.

Passender Weise in der letzten Zeile Norbert Schitteck der im allerletzten Moment durch sein engagiertes Einspringen den Prüfungstermin zur Verteidigung der Dissertation ermöglichte.

Diesen Personen und den zahlreichen Anderen die Hilfestellung geleistet haben ist diese Arbeit gewidmet.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist das vorläufige Endergebnis einer Beschäftigung mit angepassten Gebäudekonzepten für Wohnhäuser in verschiedenen Klimazonen. Sie war der Anlass für den ersten Besuch in Japan 2005, später einen zweijährigen Aufenthalt nahe Kyoto 2006 und 2007 sowie anschliessend zahlreiche weitere kürzere und längere Besuche. Sie bildet die gedankliche Basis für das aktuelle Projekt, die Entwicklung einer nachhaltigen Gebäudehülle für subtropische Klimazonen, die unter anderem die Realisierung einiger der innerhalb dieser Arbeit entwickelten Konzepte bauphysikalisch schadensfrei ermöglicht.

Im Zentrum des Forschungsaufenthaltes 2006 und 2007 stand die Mitarbeit an einer japanischen experimentellen Siedlung, dem Kobunaki Projekt, in der zukunftsweisende Gebäude entwickelt werden sollten. Im Gegensatz zu den normalerweise ökonomisch dominierten Fragestellungen bei der Übertragung von Know-how und Erfahrungswerten dominierte das Bedürfnis sinnvolle Konzepte zu entwickeln. Die entstehenden Mehrkosten sollten über staatliche Subventionen gedeckt werden. Es stellte sich schnell heraus, dass diese Frage nicht einfach zu beantworten war. Sie mündet direkt in die Fragestellung nach globalen Rahmenbedingungen, Betrachtungs- und Bilanzierungsgrenzen. Sie erfordert auch ein überzeugendes Modell zur Bewertung von Entscheidungen. Die Entwicklung dieses Rechenmodells bildet den Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit. Der Schwerpunkt liegt hierbei nicht auf aufwendigen Messreihen zur Verfeinerung einzelner Aspekte sondern in der Betrachtung wie die Kernaspekte eines Wohngebäudes sich in Abhängigkeit von verschiedenen Rahmenbedingungen ändern. Die Abwägung von Initialaufwand und erreichtem Effekt bildet den Kern dieser Modelle. Innerhalb der Arbeit werden anhand des Modells für 10 Beispielstandorte, die verschiedene Klimazonen abdecken, angepasste Konzepte berechnet. Warum die berechneten Konzepte sich mit den realen Konzepten aktuell nicht decken werden am Ende der Arbeit diskutiert. Um dem Anlass der Arbeit gerecht zu werden geschieht dies am Beispiel der Zentraljapanischen Klimazone und des klimatischen Beispielstandortes Tokyo.

Übergeordnetes Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1 – Grundlagen und Methodik

1	Einleitung	Seite 2
1.1	Ressourcenknappheit	Seite 3
1.2	Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	Seite 9
1.3	Leitfragen und forschungsleitende Thesen	Seite 11
1.4	Grundlagen der Methodik	Seite 12
1.5	Aufbau der weiteren Arbeit	Seite 29

Kapitel 2 – Kenntnisstand Klimawandel und abgeleitete maximale persönliche Emissionsbilanzen

2	Einleitung	Seite 34
2.1	Terminologie des IPCC Berichts	Seite 35
2.2	Belastbarkeit der meteorologischen Rechenmodelle	Seite 37
2.3	Aus den meteorologischen Modellen resultierende Zielgrößen	Seite 39
2.4	Folgen eines Nichterreichens der Zielsetzungen	Seite 44
2.5	Aktuelle Spielräume persönlicher Emissionsbilanzen	Seite 47
2.6	Fazit	Seite 50
2.7	Aufbau der weiteren Arbeit	Seite 52

Kapitel 3 – Regelwand, Gebäude und Nutzer

3	Einleitung	Seite 59
3.1	Konstruktionsprinzipien für mögliche Regelwandaufbauten	Seite 61
3.2	Gebäude und Nutzer	Seite 80
3.3	Gesamtgebäudebilanzierung für die Beispiellorte	Seite 91
3.4	Ergebnis	Seite 93
3.5	Aufbau der weiteren Arbeit	Seite 97

Kapitel 4 – Technologien in der Einzelbetrachtung

4	Einleitung	Seite 103
4.1	Ausgangslage bei optimaler Hülle	Seite 105
4.2	Technologien zur Reduzierung des laufenden Verbrauchs	Seite 107
4.3	Technologien zur Erzeugung der notwendigen thermischen Restenergie	Seite 122
4.4	Technologien zur Gewinnung von Energieträgern	Seite 140
4.5	Aufbau der weiteren Arbeit	Seite 151

Kapitel 5 – Anwendungsbeispiel Zentraljapan

5	Einleitung	Seite 157
5.1	Erwartete Gebäudekonzepte in Zentraljapan	Seite 158
5.2	Reale Gebäudekonzepte in Zentraljapan	Seite 159
5.3	Analyse der für Abweichungen verantwortlichen Rahmenbedingungen	Seite 160
5.4	übergeordnete Gründe für die Abweichung des Rechenmodells von den realen Bedingungen	Seite 169
5.5	Forschungssituation in Japan	Seite 173
5.6	Notwendige Veränderungen im baukonstruktiven Bereich	Seite 174
5.7	Ausblick	Seite 182

Inhaltsverzeichnis Kapitel 1

1. Einleitung – Die Grundsatzproblematik von Rohstoffknappheiten.....	2
1.1 Ressourcenknappheit	3
1.1.1 Der Rohstoff Umwelt.....	4
1.1.2 Soziale und Politische Konsequenzen.....	5
1.1.3 Die mögliche Rolle des Architekten	7
1.2 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit.....	9
1.3 Leitfragen und forschungsleitende Thesen.....	11
1.4 Grundlagen der Methodik.....	12
1.4.1 Bilanzierung von Emissionen oder Bilanzierung von Energie.....	13
1.4.2 Zukünftige Verwendbarkeit der Rechenmodelle	14
1.4.3 Benötigte Grundlagen	15
1.4.3.1 Der Initialaufwand – Die Graue Energie.....	16
1.4.3.1.1 Ermittlung der Grauen Energie.....	17
1.4.3.1.1.1 Graue Energie in Baustoffen.....	19
1.4.3.1.1.2 Graue Energie in haustechnischen Heizanlagen.....	20
1.4.3.1.1.3 Graue Energie in haustechnischen Systemen.....	21
1.4.3.2 Der laufende Verbrauch – Die Berechnungsgrundlagen.....	22
1.4.3.2.1 Notwendige Einschränkungen.....	22
1.4.3.2.1.1 Nutzung des Gebäudes	24
1.4.3.2.1.2 Abmessungen des Gebäudes.....	24
1.4.3.2.1.3 Form des Gebäudes	24
1.4.3.2.1.4 Geometrische Wärmebrücken	24
1.4.3.2.1.5 Fehlstellen in der Gebäudehülle	25
1.4.3.2.1.6 Thermische Masse	25
1.4.3.2.1.7 Spezialisierte Wandaufbauten	26
1.4.3.2.1.8 Inneneinrichtung des Gebäudes	26
1.4.3.2.1.9 Luftwechsel.....	26
1.4.3.3 Meteorologische Grundlagen	27
1.4.3.3.1 Solare Strahlung.....	27
1.4.3.3.2 Berechnungsgrundlagen	28
1.5 Weiterer Aufbau der Arbeit	29

1. Einleitung – Die Grundsatzproblematik von Rohstoffknappheiten

Das erste Kapitel leitet in die der Arbeit zugrunde liegende Problematik von Rohstoffknappheit ein, und entwickelt in Anlehnung an bekannte ökonomische Optimierungsmodelle eine Methodik für die weitere Arbeit. Im weiteren Verlauf werden die für die Methodik notwendigen Daten und Annahmen ermittelt und diskutiert.

Vorgehensweise

Bei der Entwicklung der Rahmenbedingungen für die weitere Arbeit wird innerhalb dieses Kapitels wie folgt vorgegangen:

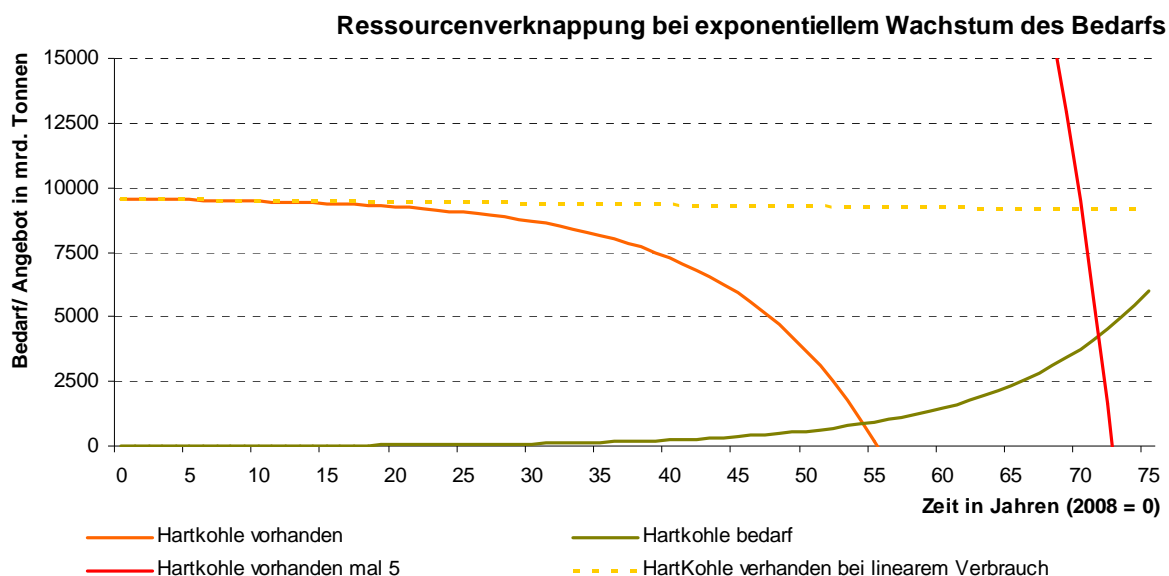
- 1.1 Einführung in die Problematik von Knappheit
Ergebnis: Grundlagen der Auswirkungen von Rohstoffknappheiten
- 1.2 Zielsetzung für die weitere Arbeit
Ergebnis: Zielsetzungen der einzelnen Kapitel
- 1.3 Leitfragen und forschungsleitende Thesen
- 1.4 Grundlagen der Methodik
Ergebnis: Prinzipmodelle zur Ermittlung optimaler Kombinationen aus laufendem Verbrauch und Initialaufwand. Ermittlung der für die weitere Berechnung notwendigen Daten.
- 1.5 Aufbau der weiteren Arbeit
Ergebnis: Schematischer Aufbau der weiteren Vorgehensweise

1.1 Ressourcenknappheit – Die Grundsatzproblematik von Rohstoffknappheiten

Bereits in den 70er Jahren wurde durch den Club of Rome auf entwicklungsbegrenzende Ressourcenengpässe hingewiesen (Meadows et al. 1973). Zum ersten Mal wurde ein in regionalem Maßstab bekanntes Phänomen auf eine globale Ebene übertragen: viele wichtige Ressourcen wachsen so langsam nach, dass sie im menschlichen Zeithorizont als limitiert gelten müssen. Speziell betrifft dies die verbreiteten Energieträger Öl, Kohle und Gas aber auch andere Rohstoffe wie Erze, Trinkwasser und letzten Endes auch Tierbestände und andere Nahrungsquellen. [1] [2]

Rohstoff	Resmenge 2008 (in Tonnen/ Erdgas in m³)	Verbrauch 2008	Statistischer Index (in Jahren)	Mittlere jährliche Zuwachsrate des Verbrauchs	Exponentieller Index (in Jahren)	Exponentieller Index bei 5facher Menge der Reserven
Hartkohle	9.554.000.000.000	5.400.000.000 T	1769	9,8 %	55	73
Erdöl	163.000.000.000	3.918.000.000 T	41	2 %	40	174
Erdgas	181.000.000.000.000	2.900.000.000.000 m³	62	2,3%	39	92
Eisen	230.000.000.000	907.000.000 T	253	9,4%	35	53
Gold	55.000	2.530 T	22	1,6%	18	63

Tabelle 1: Zeiträume Rohstoffe – Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und www.unitertra.de/rutherford



Grafik 1: Zeiträume Rohstoffe – Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Was als selbstverständlich akzeptierter Aspekt jedem in der regionalen Ebene des Alltags instinktiv klar ist, begegnen wir auf globaler Ebene mit Unglauben. Es widerspricht, so Meadows, unserer Natur, zu akzeptieren, dass unser Konsum irgendwann an eine natürliche Grenze stoßen könnte. Generationen lang war Expansion und ein Höher-Schneller-Weiter-denken ein Garant für Überleben und Dominanz. Auf die Ausbeutung eines Rohstoffvorkommens folgte die Erschließung eines neuen Vorkommens, häufig größer und aufwendiger als das letzte. Dieses Verhalten war stets untrennbar verbunden mit Entwicklung und Fortschritt. Häufig bedingten sie einander. Dem Aufbrauchen der lokalen Ressourcen folgte der Aufbruch zu neuen Ufern, die Überwindung neuer Hindernisse durch neue Innovationen.

Dieses menschliche Verhalten lässt sich geschichtlich zurückverfolgen bis hin zur Ausrottung von Tierarten durch Steinzeitmenschen und anschließender Abwanderung. Kulturen, die zurückhaltend mit den Ihnen zur Verfügung stehenden Ressourcen umgingen, gerieten wirtschaftlich und technologisch ins Hintertreffen gegenüber Nationen, welche rücksichtslos die ihnen zugänglichen Vorhaben plünderten. Im Anschluss waren die umsichtig wirtschaftenden Nationen ein willkommenes Ziel für Expansionspläne der verschwenderischen Nationen – sie verfügten noch über Rohstoffe und nicht den Entwicklungsstand um sie wirksam zu verteidigen.

Dem den menschlichen Vorstellungshorizont prägenden Eindruck einer flachen, endlosen Erde wurde erst 1959 ein wirksames Bild entgegengesetzt. Erste Bilder der Erdkugel aus dem All führten vor Augen was in der Theorie seit über 300 Jahren bekannt war. Die Erdkugel bekam ein Gesicht. Dem auf regionaler Ebene geltenden Eindruck der Grenzenlosigkeit wurden auf globaler Ebene Grenzen aufgezeigt.

Eine weitere Erkenntnis machte das aufgezeigte Problem immanent – zahlreiche Prozesse, die wir als linear wahrnehmen laufen in Wahrheit mit exponentieller Geschwindigkeit ab. Bevölkerungswachstum, Industrieproduktion und durch diese auch der Ressourcenbedarf. Die aufgezeigten Bedarfskurven können nicht unbegrenzt durch die Erschließung neuer Rohstoffquellen gedeckt werden. Die anzunehmenden Vorkommen spielen in ihrer Menge in einem realistischen Rahmen kaum eine Rolle. Ab einem bestimmten Punkt erreichte der Bedarf einen derartig hohen Wert, dass auch eine angenommene Rohstoffmenge von Faktor fünf über den bekannten Vorkommen die Verfügbarkeit nur um wenige Jahre erhöht [Tab 1.]. Der exponentiell ansteigende Bedarf ist mit herkömmlichen Methoden nicht zu decken. [2][3]

Das Ende vieler Ressourcen, so die Berechnungen fällt in die absehbare Zukunft. Die im Anschluss geführte Diskussion um die Glaubwürdigkeit der angenommenen Rohstofflager konnte nicht über die Kernaussage hinwegtäuschen. Exponentiell ansteigender Bedarf ist nur mit exponentiell wachsenden Rohstoffen zu decken. Technologie stellt in diesem Zusammenhang lediglich einen Faktor, nicht aber eine Potenz dar. Eine exponentiell wachsende Rohstoffmenge ist nachvollziehbarer Weise unrealistisch. Stattdessen findet eine Neuorientierung auf andere Rohstoffquellen statt, bis auch diese erschöpft sind. Kernaussage Meadows ist es die Welt als geschlossenes und nicht wie bisher als offenes System zu betrachten.

Exponentielle Entwicklungen tendieren innerhalb geschlossener Systeme nicht dazu sich einer natürlichen Grenze anzunähern. Die vorhandenen Grenzen werden überschritten und mittelbar (Rohstoffknappheit) oder unmittelbar (Umweltverschmutzung) führen sie zum Zusammenbruch des Systems. Nie sind exponentielle Prozesse ein Dauerzustand. Stets zeigen sie eine Gleichgewichtsstörung an, welche die von ihr betroffene Struktur am Ende zerstört. [4]

Eine zentrale Forderung stellt in diesem Kontext das Konzept geschlossener Kreisläufe dar. Ein über Recycling ohne Abfallprodukte in sich geschlossener Materialfluss würde auch ein exponentielles Wachstum ermöglichen, zumindest bis das komplette Rohstoffvorkommen innerhalb des Kreislaufes aktiviert, und die Vorkommen erschöpft sind. Die enorme Komplexität der Produktionsabläufe innerhalb der Industrie und die über den Welthandel globalen Auswirkungen und Wechselwirkungen machen die Entwicklung und Kontrolle solcher geschlossener Systeme jedoch schwierig und zum aktuellen Zeitpunkt als alleinige Lösung unrealistisch.

1.1.1 Der Rohstoff Umwelt

Die Konzentration auf die Problematik endlicher Rohstoffvorkommen und die Diskussion von Entwicklungsszenarien wurde in den späten 80er und beginnenden 90er Jahren durch eine weitere Erkenntnis ergänzt. Die Umwelt stellt ist aufgrund ihrer begrenzten Belastbarkeit ebenfalls als endlich Ressource zu betrachten und genau wie das absehbare Ende einiger Rohstoffe fällt auch die Belastungsgrenze der Umwelt im Fall von Business as usual in die nahe Zukunft (Meadows et al. 1992).

Die Endlichkeit der Ressource Umwelt ist weniger auf die Nutzung regenerativer Rohstoffe zu beziehen sondern auf die Abnahme der Produktivität der Umwelt als ganzes. Weltweit schätzt die UNEP die von Verödung bedrohten Gebiete auf insgesamt 3,6 mrd. Hektar in mehr als 110 Staaten der Erde. Diese Fläche entspricht der 3,5 fachen Fläche Europas bzw. einem viertel der globalen Landmasse. Trockenheit und die zunehmende Versteppung und Ausbreitung von Wüstengebieten bedrohen die Lebensgrundlage von ca. 1,2 mrd. Menschen, wovon ein Fünftel unmittelbar von der Bodenvernichtung betroffen ist. Nach Schätzungen der UN-Organisation für Ernährung und Landwirtschaft gehen jährlich fünf bis sieben Millionen Hektar Acker- und Weideland mittelfristig unwiederbringlich verloren. Nach Angaben des Potsdamer Institutes für Klimafolgenforschung sind allein zwischen 1981 und 1995 rund 580.000 km² Afrikas zerstört worden. Dies entspricht einem Landverlust von etwa 100 km² pro Tag bzw. einem Landverlust von der Größe Berlins in etwa 9 Tagen. Eine ähnliche Entwicklung ist in China zu beobachten wo die Wüste Gobi bis auf ca. 100 Kilometer an die Hauptstadt Peking herangewachsen ist und die Regierung seit 25 Jahren vergeblich versucht diese Entwicklung über eigens eingerichtete Baumpflanzungen zu stoppen. Ein direkter Hinweis, dass sich die Entwicklung mit lokalen Gegenmaßnahmen nicht eindämmen lässt.

Dass von diesen Phänomenen nicht nur Entwicklungsländer betroffen sind wird deutlich, wenn man sich vor Augen hält, dass auch 12% der europäischen Landmasse als von der Verödung bedroht gelten. Zwar hat die Produktivität pro km² insbesondere durch Monokulturen zugenommen, jedoch kann dies die Tendenz in der

Entwicklung bisher nur abschwächen. Die zur Erhaltung von Monokulturen erforderlichen chemischen Dünger und Schädlingsbekämpfungsmittel wiederum tragen einen nicht unerheblichen Teil zu Abnahme der Produktivität anderer Bereiche der Umwelt, insbesondere von Gewässern bei.

Die Umwelt als Ressource unterscheidet sich von Rohstoffen wie beispielsweise Eisen oder Gold durch ihr Potential der Regeneration. In einem gewissen Maß ist die Erde in der Lage Verschmutzung abzubauen und Rohstoffe nachzubilden. Wird dieses gewisse Maß überschritten nimmt die Fähigkeit zum Abbau von Verschmutzung und zur Bildung neuer Rohstoffe durch Überbeanspruchung, beispielsweise durch Landverlust oder Versteppung, ab. Seit den 90er Jahren ist das Ziel von Bestrebungen zur Nachhaltigkeit deshalb die Ermöglichung möglichst geschlossener Rohstoffkreisläufe in Verbindung mit einer Begrenzung von Restverschmutzung auf ein von der Umwelt abbaubares Maß.

In kaum einem anderen Feld ist dieses Konzept so präsent in der internationalen Diskussion wie im Bereich der CO₂-Emissionen. Der Klimawandel und die notwendigen Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasen ist seit der Konferenz in Rio Thema der regelmäßigen Weltklimakonferenz.

Die Umwelt kann über vielfältige Mechanismen eine bestimmte Menge an Emissionen rückbinden. Wird eine bestimmte Menge überschritten nimmt zunächst über verstärktes Pflanzenwachstum die Biomasse zu und kompensiert den Anstieg über eine Erhöhung des Rückbindungspotentials. Aus Platzgründen ist die Zunahme von Biomasse weltweit jedoch begrenzt. Wird die kritische Grenze überschritten erwärmt sich die Atmosphäre über den Treibhauseffekt und die Biomasse nimmt über Versteppung und Landverlust ab. Die Menschheit trägt über die zunehmende Versiegelung von Flächen und die Abholzung der Regenwälder ebenfalls stark zur Abnahme des CO₂-Bindungspotentials bei.

Die Rahmenbedingungen der Klimaerwärmung sind aktuell das am besten rechnerisch belegte Modell der Umwelt als Ressource und ein wesentliches Parameter auch für zukünftige Konzepte für Wohngebäude. Die Relevanz für die Arbeit des Architekten und auch die immer noch aktuelle Verweigerungshaltung einzelner Staaten wie den USA sind der Grund den Stand der Klimaforschung in Abschnitt 1.2 genauer zu diskutieren.

1.1.2 Soziale und Politische Konsequenzen

Die Probleme exponentieller Prozesse wurden in den 80er Jahren [5] 1985 in gesellschaftlichen Kontext gestellt. Kurt Biedenkopf und andere plädierten dafür technologische Fortschritte für qualitative Verbesserungen innerhalb des Systems zu verwenden, statt für quantitative Expansion. Effizienz statt Effektivität. Insbesondere der von politischer Seite selbst verordnete Zwang zum Wachstum wurde kritisiert. 1978 verpflichteten sich zahlreiche Regierungen, unter anderem auch Deutschland, dem Ziel ein stetiges und inflationsfreies Wachstum zu gewährleisten und übertrafen sich gegenseitig mit ihren Schätzungen und Zielsetzungen. [6] Da die Jahresziele bereits kurzfristig nicht erreicht werden konnten, wurde durch Staatsverschuldung nachgeholfen – eine Entscheidung, die heute, 30 Jahre später, in Deutschland zu jährlichen Neuverschuldungen von kritischen Dimensionen geführt hat. 2008 beträgt die deutsche Neuverschuldung, trotz einer offiziell auf Schuldenabbau ausgerichteten Politik, 21,5 mrd. Euro bei einer Gesamtverschuldung von 900 mrd. Euro. [7]

Die Ursache für diese Entwicklung ist unter anderem in einer Nicht-Vereinbarkeit zweier Faktoren zu sehen: der linearen Amtsdauer der Entscheidungsträger und dem exponentiellen Verlauf der Konsequenzen ihrer Entscheidungen. Jetzt zum Zeitpunkt der Konsequenzen sind die Verursacher nicht mehr in der Verantwortung und auch wenn exponentiell wirkende Gegenmaßnahmen zur Verfügung stehen würden, kurzfristig ist der aktuellen Situation damit nicht beizukommen, denn exponentielle Prozesse haben in aller Regel eine längere Anlaufzeit.

Der Grund für das Bekenntnis zu permanentem Wachstum von politischer Seite hat gesellschaftliche Wurzeln. Bei zunehmendem Bedarf und gleich bleibendem Angebot werden alle Verteilungskämpfe notwendiger Weise schärfer. In einer Gesellschaft mit sich verschärfenden Verteilungskämpfen aber wird es entsprechend schwerer, Gerechtigkeit und Solidarität zu verwirklichen auf den das staatliche und gesellschaftliche Gefüge basiert.

Sinkt das Angebot oder steigt der Bedarf bei gleich bleibendem Angebot, so wächst das soziale Gefälle. Die in den Verteilungskämpfen Erfolgreichen nutzen ihren gewonnenen Einfluss um ihn noch zusätzlich auf Kosten der bereits zu kurz gekommenen zu vermehren. Die Gesellschaft, so die vereinfachte Theorie, kann die hieraus resultierenden Spannungen nicht dauerhaft überstehen. Das zwingende Ergebnis wäre der Zusammenbruch durch Revolten oder Kriege mit dem Zweck einer Neuverteilung innerhalb der Gesellschaft oder dem Bestreben zusätzliches Angebot durch Eroberung zu decken. Vor dem Hintergrund der Erfahrungen des Zweiten Weltkrieges ist das Bekenntnis zu Wachstum nachvollziehbar, die Forderung dieser müsse exponentiell erfolgen

aber war kurzfristig. Die Entscheidung das Wachstum künstlich über Kredite zu erzwingen ist im Rückblick eine Fehlentscheidung, da das Problem hierdurch nicht gelöst sondern auf die nachfolgenden Generationen verlagert wird. Biedenkopf spricht von der Ausbeutung der Enkel.

Er bietet für dieses Grundsatzproblem eine alternative Lösung. Die Umwelt als Gemeinschaftsgut, so sein Vorschlag, ist in ihrer Verfügbarkeit unter allen ihren Bewohnern aufzuteilen. War bisher die Umwelt ein Aspekt der bei in Anspruchnahme nicht in den Kostenrechnungen der sie nutzenden Unternehmen und Haushalte auftaucht, solle jedem ein identischer Teil an Nutzungsrechten zugewiesen werden. Dies solle für Rohstoffe, Umweltverschmutzung und alle anderen endlichen Ressourcen gelten. Dem Staat komme hierbei nur die Aufgabe der Festlegung der Knappheiten der Umweltgüter zu. Wie anschließend der einzelne seinen Anteil zu nutzen gedenke sei seine Privatsache. Ein Zukauf bei überdurchschnittlichem Bedarf oder ein Abtreten von Nutzungsrechten im Rahmen einer eigenverantwortlichen aber gesetzlich geregelten Lebensführung und persönlicher CO₂-Bilanzierung war das Ziel.

Dem Aspekt der gesellschaftlichen Spannungen durch immer weiter steigenden Bedarf ist durch diesen Ansatz vorgebeugt. Hoher Bedarf ist nur noch über mehr Effizienz zu erreichen, nicht mehr auf Kosten Anderer. Die Eroberung von CO₂-Rechten innerhalb des Systems ist nicht gewaltsam möglich sondern immer mit einem ökonomischen Vorteil für den effizient mit seinem CO₂-Budget wirtschaftenden Bürger verbunden. Durch die gleichmäßige Zuweisung des Angebotes wird eine gesellschaftliche Gleichheit etabliert, die effiziente und nachhaltige Lebensweise belohnt und Verschwendung ökonomisch bestraft.

Es ist nachvollziehbar, dass Probleme von globalem Maßstab nur auf globalen Entscheidungsebenen gelöst werden können. Die Begrenztheit der Rohstoffe, die Umweltverschmutzung und die Klimaveränderung können als die erste globale Herausforderung der Menschheit betrachtet werden.

Die Formulierung dieser visionären Idee deckte zwei wichtige Probleme auf:

- Die Lösung von Problemen mit globalem Maßstab erfordert Institutionen welche Entscheidungen auf globaler Ebene treffen und durchsetzen können.
- Zur Festlegung maximaler Knappheiten von Ressourcen ist genaue Kenntnis der vorhandenen Mengen, ihrer Wachstumsgrößen und der Folgen Ihrer Nutzung notwendig.

Keine dieser beiden Rahmenbedingungen war 1985 gegeben. Insbesondere die Wechselwirkung der Rohstoffnutzung und der Umweltschäden und Klimaveränderungen waren nicht hinreichend erforscht. Die Idee wurde von wissenschaftlicher Seite aufgegriffen, für eine Umsetzung waren die notwendigen Rahmenbedingungen aber nicht vorhanden.

Zum Zeitpunkt dieser Arbeit hat sich an der Problematik nichts Grundlegendes geändert. Die 1969 getroffenen Aussagen wurden kritisch diskutiert. Einige Annahmen stellten sich als falsch bewertet heraus, wurden neu evaluiert, diskutiert und wieder neu bewertet. Die von vielen Institutionen gezeigt Verweigerungshaltung dem Problem gegenüber überrascht ebenso, wie das hohe Maß an Emotion in der Debatte. Es drängte sich vielfach der Eindruck auf, dass global nicht sein darf, was in seiner regionalen Konsequenz nicht sein soll.

Bei allen Überarbeitungen, allen Erweiterungen und allen Einschränkungen des ursprünglichen Modells des MIT kann eines jedenfalls nicht in Frage gestellt werden – die Grundannahme der endlichen Ressourcen und ihres exponentiellen Verbrauchs konnte nicht entkräftet werden.

Der Abbau von Rohstoffen folgt weiterhin exponentiellen Zunahmen, die sehr allgemeinen Annahmen von 1969 haben sich mit Inhalten gefüllt. Das rasante industrielle Wachstum von Indien und China füllen die rein prognostizierte Bedarfssteigerung auf globaler Ebene mit einer realen Herleitung auf regionaler Ebene.

Neben der Ressourcenfrage hat der Faktor der Umweltverschmutzung eine enorme Bedeutung erlangt. Ursprünglich im Weltmodell als Folgegröße des industriellen Wachstums enthalten, ist sie heute ein breitenwirksamer Indikator für die Problematik. Die Grund hierfür ist einfach: Knappheit bedingt ein Nichtvorhandensein von etwas. Ein Mangel, welcher sich vor allem in höheren Preisen darstellt. Die Umweltverschmutzung präsentiert sich mit faktisch vorhandenem, ist erlebbar und hierdurch auch besser mess- und vermittelbar.

Der global vorherrschende Effekt der Umweltverschmutzung ist heute die durch Treibhausgase verursachte Erwärmung des Erdklimas. Der Klimawandel hat die kommende Ressourcenknappheit im allgemeinen Bewusstsein und in der öffentlichen Diskussion ergänzt. Auch wenn die beiden Probleme grundsätzlich getrennt von einander zu betrachten sind, werden steigende Energiepreise im allgemeinen Bewusstsein mit der Problematik des Klimawandels assoziiert. Dies gilt besonders für das Verhalten des Verbrauchers, der in

Evaluationen sein Ausweichverhalten vor steigenden Preisen häufig mit einer klimaassoziierten Argumentation rechtfertigt.

Der Klimawandel durch Emissionen ist aber nur mittelbar in Zusammenhang mit Rohstoffverknappung und dem Anstieg von Energiepreisen zu bringen.

Grundlegend sind zwei Aspekte zu trennen:

- Klimaveränderungen. Sie resultieren nicht aus den zur Verfügung stehenden Ressourcen sondern aus der Fähigkeit der Erde Treibhausgase wieder zu binden. Die maximale Emissionsmenge kann also vereinfacht als die Menge jährlich absorbiertem CO₂-äquivalenten Gase durch die Anzahl der Verursacher definiert werden. Preissteigerungen durch den Klimawandel ist nur in Form politischer Entscheidungen (Steuern) oder resultierenden Schäden (Dürren etc.) zu erwarten.
- Die Knappheit von Ressourcen und ihre Folgen sind hiervon unberührt. Sie resultiert zwar in steigenden Ressourcenpreisen auch für Energieträger, dies ist aber ein rein wirtschaftlicher Faktor der bei ungenügendem Angebot die Preise ansteigen lässt.

Die Existenz exponentieller Prozesse innerhalb eines geschlossenen Systems besteht weiterhin als Ursprung des Problems. Sie bedingt beide Aspekte, da sie eine schnelle Lösung erfordern bevor das Gesamtsystem zusammenbricht.

Das Problem hat also auch zwei Lösungsansprüche:

- Die Begrenzung der Klimaveränderung durch eine limitierte Menge an Emissionen. Eine Lösung durch Effizienzmaßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs ist ebenso denkbar wie eine emissionsärmere Energiegewinnung.
- Ein nachhaltiges Wirtschaften mit begrenzten Rohstoffen. Hierbei ist die Optimierung der Rückgewinnung ebenso erforderlich wie Suffizienzmaßnahmen.

Der Ansatz von Biedenkopf lässt sich auf beide Aspekte anwenden, sofern die relevanten Größen (Knappheiten) bekannt sind. Im Gegensatz zu den oben geschilderten Lösungsansprüchen zielt er auf die Aufhebung der exponentiellen Prozesse selbst. Zu seiner Realisierung sind aber wie zu Beginn der Arbeit beschrieben genaue Daten bezüglich des zur Verfügung stehenden Budgets zwingend. In Bezug auf die zur Verfügung stehenden Rohstoffe werden die Mengen der Restvorkommen sowie die möglichen Recyclingquoten erforderlich. Für die personenbezogenen zulässigen jährlichen Emissionen sind die jährlich global zulässigen (von der Umwelt jährlich rückgespeicherten) Gesamtemissionen zu beziffern.

Zumindest für die Emissionsproblematik ist die Ausgangsbasis geschaffen. 2007 wurde hierzu der Bericht des International Panel in Climate Change (IPCC) [8] an die Vereinten Nationen mit dem Stand bei der Erforschung der klimarelevanten Rahmenbedingungen präsentiert. Dieser Bericht der regelmäßig im Abstand von mehreren Jahren durch die Zwischenstaatliche Sachverständigengruppe für Klimaänderungen veröffentlicht wird, bildet den Kenntnisstand über den menschlichen Einfluss auf das Klimasystem der Erde ab und gilt als Basis der politischen und wissenschaftlichen Diskussion. Der später innerhalb der Arbeit ausführlich diskutierte Bericht formulierte die im Ansatz von Biedenkopf so wichtige globale Zielsetzung. Auf die wissenschaftliche Belastbarkeit dieser Zielsetzung wird im zweiten Kapitel eingegangen.

1.1.3 Die mögliche Rolle des Architekten

Die Rolle des Architekten könnte in diesem Zusammenhang bedeutender sein als allgemein angenommen. Architekten bauen nicht nur Häuser, sie gestalten Lebensraum. Keine andere Berufsgruppe hat einen derart prägenden Einfluss auf den Energieverbrauch und in der Folge auch auf die Emissionen anderer Menschen. Die unmittelbar in den Einflussbereich von Architekten fallenden Emissionen durch Wohnen betragen in Deutschland etwa ein Drittel der Gesamtemissionen [9]. Die mittelbar durch den Architekten beeinflussbaren Emissionen (Verkehr durch Grundstückswahl etc.) bilden ein weiteres Drittel. Auch wenn selbst bei hohem Engagement des

Planers nicht alle Emissionen verhindert werden können – eine starke Verringerung ist im Rahmen seiner Möglichkeiten. Der Architekt von heute könnte der persönliche Emissionsberater von morgen sein.

Dies soll den Tätigkeitsbereich von Architekten nicht beschränken, es soll ihn erweitern. Die komplexe Frage nach einem energieeffizienteren Lebensstil ist eben nicht begrenzt auf ein Expertenwissen in einem Teilbereich zu beantworten. Es geht, ganz im Gegenteil, um die Entwicklung von funktionierenden Gesamtkonzepten.

Der aktuelle Trend zur Spezialisierung (zu Energieberatern, Entwerfern etc.), in dem heute von vielen das zukünftige Architektenbild gesehen wird ist hierbei eher kontraproduktiv. Die Entwicklung funktionierender Gesamtkonzepte erfordert die Generalisten.

Die aktuelle Situation dieses Berufsbildes in Deutschland muss als düster bezeichnet werden. Die Süddeutsche Zeitung identifiziert in einem Artikel über die Lage der Architekten [10] diese als die Akademiker mit den schlechtesten Zukunftsperspektiven. Bezeichnender Weise weil sie nach Meinung der Autoren drei wichtige Themen nicht besetzt haben: Einhaltung von Kosten, Einhaltung von Terminen und Energie. In Deutschland werden nur noch 5% aller Einfamilienhäuser durch Architekten geplant. Es ist nachvollziehbar, dass im Bereich von Sonderanfertigungen (und als solche müssen individuelle Häuser gesehen werden) Kostenkalkulation und Termintreue eine komplizierte Thematik sind. Beide Punkte sind umso besser zu planen je größer die Vergleichbarkeit mit vorhergegangenen Objekten. Je individueller das Objekt umso größer die Ungenauigkeit. In Bezug auf die Energiethematik ist die Sachlage unverständlicher. Keine andere Berufsgruppe ist derartig vorqualifiziert für die Zusammenhänge der Energieeffizienz von Gebäuden. Dies gilt sowohl für den laufenden Verbrauch als auch für die Wahl der Baustoffe. Der Architekt ist der einzige am Bau beteiligte, der eine sinnvolle Kombination von Wandaufbau, Verglasung und haustechnischen Systemen treffen kann, da er das Konzept entwickelt. Stattdessen überlassen viele Büros diese Entscheidung spezialisierten Fachingenieuren. Ein Sinnvolles Gesamtkonzept ist jedoch von Seiten spezialisierter Gewerke nicht zu leisten – wann hat ein Heizungsmonteur oder Schornsteinfeger je die Verwendung von Dreifachverglasung empfohlen um so die Anzahl von Heizkörpern zu reduzieren?

Im Bereich der Energie und der Nachhaltigkeit liegt neben seiner Berechtigung als Tätigkeitsfeld für Architekten ein weiteres enormes Potential. Die Entwicklung nachhaltiger Lösungen könnte den Berufsstand mit einem Leitbild versorgen, dass es zugunsten einer rein entwurfstheoretischen Ausrichtung in großen Teilen verloren hat. War früher die Gestalt eines Gebäudes in weiten Teilen auch dazu gedacht das Leben in der jeweiligen Region durch Anpassung an die Rahmenbedingungen möglichst komfortabel zu gestalten, hat die einfache Verfügbarkeit von Energie und haustechnischen Systemen die resultierenden regionalen Besonderheiten in weiten Teilen aufgehoben. Gleiches gilt für die Wahl der Baustoffe. War früher durch schlechte Infrastruktur der Transport von Baustoffen fast undenkbar, sind diese heute global verfügbar. Die Entwicklung einer regionalen Bauidentität über lokalere Baustoffe und eine bessere Anpassung von Gebäuden auf lokale Kultur und Klima könnte für die Architekten enorme Chancen bieten.

Die aufgezeigten Faktoren sollen über zwei Tatsachen nicht hinwegtäuschen:

- Es existieren für Deutschland und einige weitere Länder Europas (Dänemark, Schweiz) funktionierende und Belastbare Rechenmodelle zur Entwicklung energieeffizienter Gebäude. Auch wenn diese Modelle zum aktuellen Zeitpunkt den Aufwand zur Herstellung der Baustoffe nicht mit einbeziehen, sind aufgrund der relativ einheitlichen Kultur und Klimabedingungen die Spielräume zur Konzeptentwicklung eher gering. Sie sind noch am deutlichsten in sozialen Veränderungen (Singlegesellschaft) und den resultierenden Nutzerverhalten zu sehen.
- In Deutschland existiert ein großer Überschuss an Architekten. Auch bei einer deutlichen Ausweitung ihres Tätigkeitsbereiches und resultierenden Mehraufträgen, gerade vor dem Hintergrund aktuell von der Bundesregierung diskutierten Förderprogramme zum Klimaschutz, werden nicht alle Architekten Beschäftigung finden.

Die Lösung beider Punkte bietet sich bei Projekten im Ausland. Hier bietet sich die reizvolle Aufgabe Konzepte für stark von der deutschen Situation abweichenden Rahmenbedingungen zu entwickeln und Abhängigkeiten grundlegend zu reflektieren. Die Arbeitsmarktsituation für Ingenieure ist zudem, global betrachtet, mehr als gut.

Die Arbeit möchte vor diesem Hintergrund und spezifisch aus der Sicht des als Generalist tätigen Architekten erste Konzepte an zehn Referenzstandorten mit unterschiedlichsten Rahmenbedingungen entwickeln.

1.2 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es Übertragungsmöglichkeiten für die in Europa, speziell in Deutschland, vorliegenden Technologien und Erfahrungswerte im Bereich des energieeffizienten Bauens abzuschätzen und rechnerisch zu beschreiben. Dies soll für ein Referenzgebäude anhand von 10 Beispielstandorten geschehen. Die Auswahl der Beispielstandorte erfolgte unter Berücksichtigung der für die zu entwickelnden Berechnungsmethoden relevanten Klimafaktoren und zielt darauf ab ein möglichst breites Spektrum abzubilden.

Zum Zwecke einer Gesamtenergiebilanzierung integriert die Arbeit die Aspekte der Grauen Energie in die Betrachtungsweise energiesparender Gebäude. Dies geschieht in Abhängigkeit von Klimafaktoren um sowohl einzelne Bauteile als auch das Gesamtkonzept so genauer in Bezug auf die standortbezogene Effizienz abzubilden als dies durch den laufenden Verbrauch allein möglich ist.

Neben den rein energie- und emissionsbezogenen Betrachtungen, soll anhand des konkreten Beispiels Zentraljapan auch auf die konstruktiven und bauphysikalischen Konsequenzen bei einer Umsetzung der entwickelten Konzepte eingegangen werden.

Die einzelnen Zielstellungen in der thematischen Reihenfolge innerhalb der Arbeit nach Kapiteln:

1. Entwickeln von einer geeigneten Methodik und notwendiger Einschränkungen.
2. Aufzeigen der Relevanz von Emissionen durch Gebäude für den Klimawandel. Ermittlung der Zielgrößen der Vereinten Nationen für Gebäude als Zielsetzung innerhalb der Arbeit.
3. Erstellen von Rechenmodellen zur Ermittlung von standortspezifischen optimalen Kombinationen aus Initialaufwand (Graue Energie) und laufendem Verbrauch. Anwendung der Rechenmodelle auf zehn Beispielstandorte.
 - Ermittlung eines geeigneten Regelwandaufbaus
 - Berechnung eines optimalen standortspezifischen Dämmstandards
 - Gesamtenergiebilanzierung der bewohnten Gebäudehülle/ des Referenzgebäudes
4. Erstellen von Rechenmodellen zur Optimierung des Gebäudes durch haustechnische Systeme und Betrachtung der resultierenden Anforderungen.
 - Beschreibung der Auswirkungen einzelner Technologien auf die Bilanz des Referenzgebäudes
 - Vergleich des aus den verschiedenen Energieträgern resultierenden Flächenbedarfs.
5. Vergleich der für Japan ermittelten Lösungen mit dem Ist-Zustand. Ermittlung von Hemmschwellen für eine energieeffizientere Baukultur in Japan und aus einer solchen Kultur resultierende Anforderungen an die Baukonstruktion.
 - Analyse der aktuellen Rahmenbedingungen in Japan
 - Ermittlung der konstruktiven Auswirkungen der getroffenen Empfehlungen. Gegenüberstellung von entwickelten Regeldetails und den in der japanischen Bauordnung vorgegebenen Anschlüssen. Formulierung notwendiger Änderungen

Zu Kapitel Eins:

Die Methodik der Arbeit zur Ermittlung energetisch optimierter Lösungen orientiert sich an bekannten ökonomischen Modellen. Der Grund ist in einer resultierenden möglichen Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu sehen. Die innerhalb dieser Arbeit entwickelten Rechenmodelle ermöglichen die Optimierung nach unterschiedlichen Schwerpunkten (energetisch, emissionsbilanziert oder ökonomisch). Die ähnlichen Rechenmodelle ermöglichen es den Argumentationen auf ökonomischer Basis mit Argumentationen auf ökologischer Basis und gleicher Rechengrundlage zu begegnen.

Aus den unterschiedlichen Ergebnissen kann unter anderem in Kapitel 5 das Potential und die Chance für ökologische Konzepte abgeschätzt werden.

Zu Kapitel Zwei:

Die globale Zielsetzung für Emissionen um den Klimawandel in akzeptablen Grenzen zu halten bildet auf personenbezogene Emissionen umgerechnet die Zielsetzung für die vorliegende Arbeit. Trotz der

wissenschaftlichen Belastbarkeit der aktuellen Forschungsergebnisse des International Panel on Climate Change sind diese Zielsetzung umstritten. An dieser Frage stoßen wirtschaftliche und ökologische Interessen unvereinbar zusammen. Für einen verantwortungsvollen Umgang und eine glaubhafte Vermittlung gegenüber den Bauherren wird eine solide Kenntnis der Zusammenhänge und der bestehenden Unschärfen als wichtiger Punkt für die Tätigkeit von Architekten gesehen. Dies gilt insbesondere für die Entwicklung von Konzepten im Ausland. Der Diskussion des Berichtes des IPCC 2007 und dem aktuellen Stand von länderbilanzierten Emissionsstatistiken wird deshalb ein eigenes Kapitel gewidmet.

Zu Kapitel Drei:

Bei der Verbesserung ihres Wohnstandards orientieren sich viele Länder nach Deutschland um vorhandene Erfahrungswerte und Know-how zu erhalten. Da Nutzerverhalten und Klima häufig stark von den deutschen Rahmenbedingungen abweichen sind die entwickelten Konzepte jedoch nur bedingt übertragbar. Weil sich einzelne Einflussfaktoren innerhalb der Konzepte ändern, ist auch der Stellenwert der einzelnen Komponenten innerhalb der Konzepte zu überprüfen.

Etablierte Evaluierungsmethoden basieren bereits auf relativ komplexen Komponentenkombinationen und machen die Überprüfung einer möglichen Übertragbarkeit schwierig. Da die Häuser von Land zu Land unterschiedlich geprägt sind, ist die Ausgangsbasis der etablierten Modelle zu spezifisch um der Fragestellung gerecht zu werden. Die Arbeit strebt deshalb die Aufschlüsselung der Ausgangsbasis „Haus“ in seine Bestandteile an, um diese dann einzeln zu beurteilen. Anschließend werden mögliche Kombinationsmöglichkeiten und ihre Abhängigkeiten untersucht.

Kapitel drei ermittelt die Rahmenbedingungen und ihre Auswirkungen auf vier Referenzwandaufbauten und den zehn Beispielstandorten. Am Ende wird aus Gründen des Umfangs der geeignete Wandaufbau für die weitere Arbeit bestimmt.

Zu Kapitel Vier:

Im vierten Kapitel wird das Kapitel drei durch opake Wände gebildete Referenzgebäude durch haustechnische Systeme optimiert. Die haustechnischen Systeme werden hierzu nach ihrer Rolle innerhalb des Gesamtkonzeptes unterteilt in:

- Systeme zur weiteren Reduzierung des Klimatisierungs-/ Energieverbrauchs (Fenster, mechanische Lüftung)
- Systeme zur Deckung des Restbedarfs an Klimatisierung/ Energie (Wärmepumpen und Verbrennungsgeräte)
- Systeme zur Erzeugung von Energieträgern (Photovoltaik, nachhaltige Gewinnung von Holz, Öl und Gas)

Für die zehn Beispielstandorte werden geeignete Systemkombinationen, geeignete Dimensionierungen und der resultierenden Flächenbedarf ermittelt.

Die für die Beispielstandorte berechneten optimalen Konzepte werden in einem anschließenden Fazit bewertet.

Zu Kapitel Fünf:

Die für die zehn Beispielstandorte ermittelten energetisch optimalen Systeme finden sich an den realen Standorten so nicht realisiert wieder. Am konkreten Beispiel von Zentraljapan soll hierfür eine Erklärung versucht werden. Hierzu wird zunächst die Differenz von berechneten und realen Gebäuden aufgezeigt und anschließend mögliche Gründe für die Abweichungen diskutiert. Abschließend werden für eine Veränderung notwendige konstruktive Maßnahmen beispielhaft an drei Detailpunkten aufgezeigt und ein Ausblick auf anschließende Projekte gegeben.

1.3 Leitfragen und forschungsleitende Thesen

Leitfrage:

Die Arbeit stellt die Frage nach dem Potential einer Übertragung von Konzepten und Technologien aus dem Gebäudebereich in von ihrem Ursprungsland abweichende Kulturen und Klimaregionen. Potential wird in diesem Zusammenhang primär in Bezug auf eine mögliche Reduzierung des Gesamtenergieverbrauchs und damit eine Reduzierung der durch Gebäude verursachten Emissionen gesehen.

Leitthese:

Es wird die Ansicht vertreten, dass klima- und nutzerspezifische Parameter aufgezeigt werden können die die Effizienz der verschiedenen Systeme in ihrer Energiebilanz beeinflussen. Hieraus resultieren kultur- und klimabasierte sinnvolle Anwendungsbereiche für die verschiedenen Technologien.

Im Gegenzug wird die These vertreten, dass über eine Anpassung der angewendeten Technologien ihr sinnvoller Anwendungsbereich erweitert werden kann

Die Arbeit vertritt die These, dass über eine Gesamtenergiebilanzierung für ein definiertes Nutzerverhalten und Klima eine oder mehrere sinnvolle Kombinationen der an einem Gebäude beteiligten Komponenten identifiziert werden können. Bei abweichendem Klima oder Nutzerverhalten muss auch die Kombination der Einzelkomponenten innerhalb des Gesamtkonzeptes „Haus“ neu angepasst werden um ein sinnvolles Ergebnis zu erzielen.

1.4 Grundlagen der Methodik

Ein maßgebliches Problem im direkten Vergleich von Maßnahmen an unterschiedlichen Standorten ist die Dimensionierung der Maßnahme. Generell formulierte Abhängigkeiten lassen sich vergleichsweise einfach darstellen, führen aber zu Ungenauigkeiten.

Ein zweiter wichtiger Punkt ist die Wahl des Betrachtungsrahmens. Eine Beschränkung nur auf einen Teil des Lebenszyklus (beispielsweise den laufenden Verbrauch) kann nicht zu verwertbaren, sinnvollen Ergebnissen führen.

Vor dem Hintergrund dieses Problems bietet sich die Reduzierung der Betrachtung auf optimal dimensionierte Lösungen an. In ökonomischen Modellen ist diese Herangehensweise seit langem etabliert. Kaum ein Unternehmer ist mit der Ermittlung einer Gewinn versprechenden Lösung zufrieden – vielmehr geht es um die Lösung, die den höchsten Gewinn verspricht. Dieser Ansatz wurde von Ecofys auf die Frage nach geeigneten Dämmstärken innerhalb einer Studie für Europa verwendet [11]. Es wurde versucht zu klären welche Investition in Dämmstoff, bei resultierendem sinkendem Verbrauch an den untersuchten Standorten über einen Zeitraum von 20 Jahren den größten Gewinn (beziehungsweise die niedrigsten Kosten für ein geheiztes Haus) ergeben. Für diese Berechnung sind zwei Größen relevant:

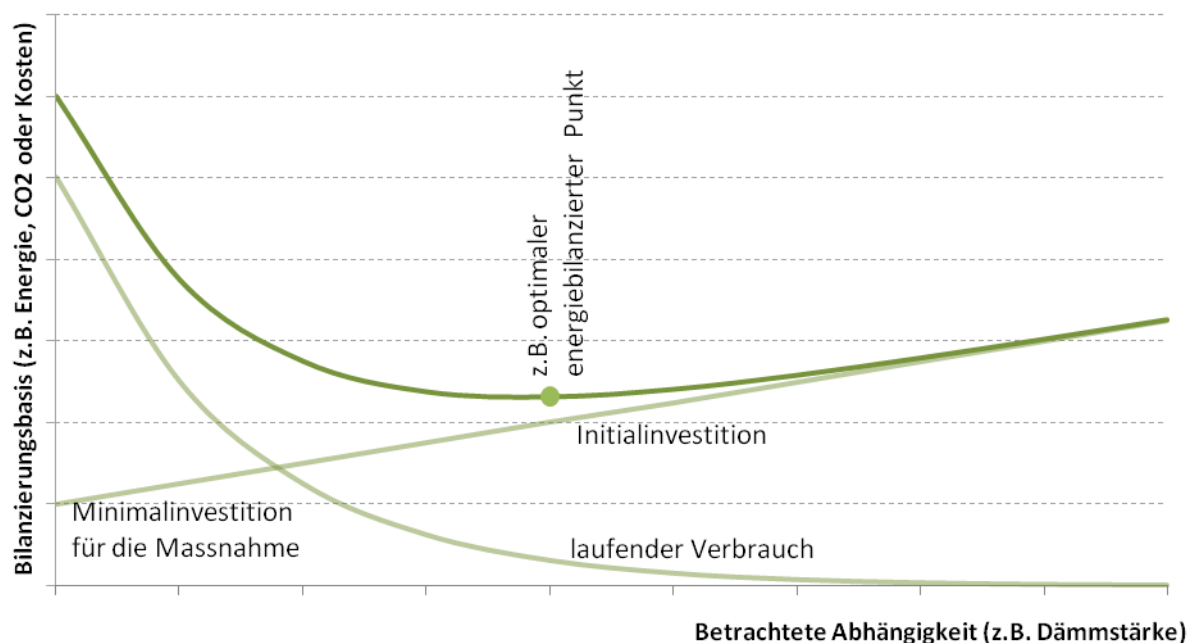
- der Initialaufwand
- die Abhängigkeit des aus dem Initialaufwand resultierenden laufenden Gewinns/ laufenden sinkenden Verlustes

Der aus einer Initialinvestition resultierende laufende Gewinn/ sinkende Verlust verhält sich in kaum einem Fall proportional zur Initialinvestition. Vielmehr nimmt die Auswirkung der meisten Investitionen auf den weiteren Verlauf in der Regel stark ab. Der rentabelste Teil der Investition ist also der Erste. Eine Verdopplung der für eine Maßnahme benötigten Minimalinvestition halbiert nicht den Effekt.

Aus dem Zusammenhang von Initialinvestition und Effekt kann wie in dem folgenden Prinzipdiagramm gezeigt ein optimaler Punkt berechnet werden.

Am Beispiel einer zu ermittelnden optimalen Dämmstärke nimmt mit steigender Dämmstärke (Investition) der laufende Verbrauch erst stark, dann nur noch abgeschwächt ab. Aus der Addition beider Graphen resultiert eine Kurve, deren Tiefpunkt die Optimale Kombination aus Investition und Effekt darstellt.

Prinzipdiagramm optimale Bilanz



Grafik 2: Prinzipdarstellung einer optimalen Kombination von Initialaufwand und laufendem Verbrauch

Den in der Regel auf ökonomischer Basis geführten Berechnungen („Lohnt sich eine Dämmstärke“) soll innerhalb dieser Arbeit die energetische Berechnung gegenübergestellt werden („Ist die Maßnahme im Rahmen eines vollständigen Betrachtungsrahmens sinnvoll?“).

1.4.1 Bilanzierung von Emissionen oder Bilanzierung von Energie

Für die rechnerische Beschreibung eines Gebäudes ist die Frage zu stellen, ob eine Bilanzierung auf Basis der Energie oder direkt auf der Basis der verursachten Emissionen erfolgen sollte.

Da sich Energie nicht über einen festen Faktor in Emissionen umrechnen lässt, ist das auf der Basis der Energiebilanzierung optimale Gebäude nicht zwangsläufig auch das in Bezug auf die Emissionen optimale Gebäude. Für den laufenden Verbrauch ergeben sich die Abweichungen durch die Wahl des Energieträgers. Für die in den Baustoffen enthaltene Graue Energie (vgl. 1.4.3.1) werden neben dem zur Herstellung gewählten Energieträger eventuell sekundäre Faktoren, wie z.B. emissionsäquivalente Abfallprodukte wirksam.

Trotz der Einschränkung nicht das emissionsärmste Gebäude zu ermitteln, basiert der allgemeine Teil der Arbeit (Kapitel 3 und 4) auf energiebasierten Bilanzierungen. Dies hat folgende Gründe:

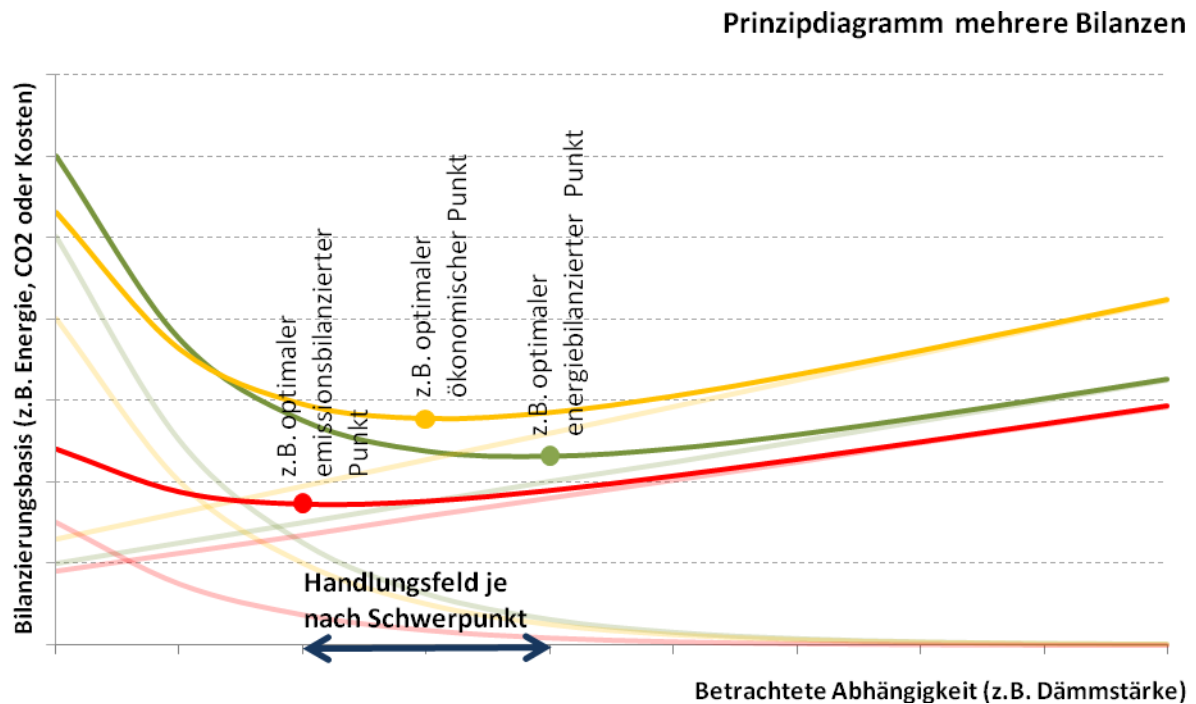
- Die Emissionsfaktoren weichen je nach Standort und Herstellungsprozess deutlich von einander ab. Die Beschreibung der Wechselwirkung von Standortfaktoren und Technologiefaktoren würde dominiert durch die Prozessketten und Transportwege.
- Die energetischen Zusammenhänge sind generell gültig. Die Emissionsfaktoren unterliegen in Abhängigkeit vom technologischen Fortschritt deutlichen Veränderungen.
- Die Wahl der haustechnischen Systeme ist direkt vom Energiebedarf des Gebäudes abhängig. Die Bilanzierung der Energie müsste also zumindest im Hintergrund parallel durchgeführt werden.

Die verwendeten Rechenmodelle und Datenblätter erlauben die freie Modifizierung der Energiebilanzen. Dies ermöglicht neben Bilanzierungen der Energie auch die Bilanzierung nach Emissionen (durch ansetzen von Emissionsfaktoren), Geld (durch ansetzen von Kosten) oder eine Kombination mehrerer Aspekte (durch ansetzen mehrerer Faktoren). Die Wechselwirkungen von Standort, Technologie und resultierender Bilanz lässt sich für alle Bilanzierungsmodelle darstellen und begründen. Im Rahmen dieser Arbeit stellt die Energie jedoch die für die Standorte einheitlichste Basis dar. Die für eine Beurteilung der aus den Berechnungen resultierenden Emissionen zum Abgleich mit den globalen Zielsetzungen werden die Emissionsfaktoren aus der Ecolnvent Datenbank angesetzt. Aufgrund der fixierten Energiequellen sind die Daten nicht generell übertragbar, die Datenbank stellt aber die belastbarste und umfangreichste erhältliche Datenquelle dar.

Abweichende Faktoren können bei Bedarf in den Datenblättern frei eingegeben werden. Durch Bereitstellung dieser Möglichkeit wird zudem die Schnittstelle mit bestehenden ökonomischen Bilanzierungen bspw. Durch Ecofys [11] ermöglicht.

1.4.2 Zukünftige Verwendbarkeit der Rechenmodelle

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich in weiten Teilen aus den oben beschriebenen Gründen auf die Ermittlung der unter energetischen Gesichtspunkten optimalen Systemdimensionierung und Zusammenstellung. Wie bereits beschrieben sind die Zusammenhänge grundsätzlich jedoch auch für andere Bilanzierungen verwendbar. Als Ergebnis würden anschließend wie folgt gezeigt unterschiedliche optimale Punkte vorliegen:



Grafik 3: Prinzipdarstellung eines Vergleichs auf der Basis verschiedener Bilanzierungsgrundlagen

Je nachdem welche Bilanzierungsbasis im konkreten Fall ausschlaggebend ist bewegt sich der optimale Punkt innerhalb des als Handlungsfeld gekennzeichneten Bereiches. Im fünften Kapitel wird insbesondere die Diskrepanz zwischen dem optimalen energetischen Punkt und dem optimalen ökonomischen Punkt für Zentraljapan untersucht. Die Differenz zwischen diesen beiden Punkten kann generell dazu dienen das Potential eines Landes in Bezug auf energieeffiziente Gebäude zu beschreiben. Ausschlaggebend wird immer der ökonomische Punkt sein. Die Anzahl der Menschen, die für ökologische Ansätze ökonomische Nachteile in Kauf nimmt ist nicht groß. Für zukünftige Betrachtungen können die erarbeiteten Modelle genutzt werden um zu ermitteln ob der ökonomisch optimale Punkt in einem akzeptablen ökologischen Bereich liegt. Ist dies nicht der Fall sind Möglichkeiten staatlicher Förderung zur prüfen um ökologisch orientiertes Verhalten auch ökonomisch sinnvoll zu gestalten.

1.4.3 Benötigte Grundlagen

Für die Ermittlung der optimalen Kombination aus Initialaufwand und resultierendem laufenden Verbrauch/ Gewinn sind grundsätzlich nur die beiden oben beschriebenen Faktoren relevant.

- der Initialaufwand
- die Abhängigkeit des aus dem Initialaufwand resultierenden laufenden Gewinns/ laufenden sinkenden Verlustes

Beide Faktoren können jedoch durch diverse Einflüsse komplex zu berechnen werden:

- Initialaufwand:
 - Finanzierung des Initialaufwandes über Kredit und resultierenden Zinsen und Zinseszinsen (z.B. Bankkredit bei Hausbau)
 - Komplexe Berechnung, da nur mittelbar abgebildet (z.B. Graue Energie nur mittelbar in den Kosten enthalten und nicht unmittelbar ableitbar)
- Laufender Verbrauch/ Gewinn
 - Schwierige Kalkulierbarkeit der zu erwartenden Gewinne (z.B. wenn Gewinn über den Absatz auf sich wandelnden Märkten erzielt werden soll).
 - Ungenauigkeit der Rechenmodelle zur Berechnung von Einsparungen (z.B. Berechnung von Luftströmungen durch Gebäude zur natürlichen Kühlung).
 - Veränderung der aus laufendem Verbrauch resultierenden Kosten (z.B. durch Preisänderung von Energieträgern).

Interessanter Weise liegen die komplexen Einflüsse, die in der Folge die Unsicherheit und Ungenauigkeit der Berechnung bedingen bei den ökonomischen Modellen im Bereich der laufenden Kosten (in Abhängigkeit des globalen Zinsniveaus und dem Verhältnis von Angebot und Nachfrage) und bei den energetischen Berechnungen im Bereich des Initialaufwandes (Graue Energie). Hier zeigt sich klar ein Vorteil einer Bilanzierung auf der Basis von Energie, da diese bezüglich des laufenden Verbrauchs keinen veränderlichen Einflussfaktoren mehr unterliegt, da die haustechnischen Systeme nicht ausgetauscht werden und somit keine Veränderung der COP des Systems eintritt. Generell sind die ökonomischen Modelle aufgrund ihrer Abhängigkeit von emotional beeinflussten Märkten deutlich ungenauer und riskanter als die rein physikalischen Modelle der Energiebilanzierung.

Im Folgenden wird erläutert wie Initialaufwand und laufender Verbrauch innerhalb der verwendeten Methodik dieser Arbeit ermittelt werden.

1.4.3.1 Der Initialaufwand – Die Graue Energie

Für die ganzheitliche Beurteilung von Konzepten ist die Kenntnis über den Herstellungsaufwand einer Komponente zwingend. Für den Themenbereich der Energiebilanz wird dieser Herstellungsaufwand durch die Graue Energie abgebildet.

Definition Graue Energie

Die VDI-Richtlinie 4600 definiert und erläutert den kumulierten Energieaufwand (KEA). Als graue Energie oder kumulierter Energieaufwand wird die Energiemenge bezeichnet, die für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Produktes verbraucht wird. Dabei werden auch alle Vorprodukte bis zur Rohstoffgewinnung berücksichtigt und der Energieeinsatz aller angewandten Produktionsprozesse addiert. Wenn zur Herstellung Maschinen oder Infrastruktur-Einrichtungen notwendig sind, wird üblicherweise auch der Energieverbrauch für deren Herstellung und Instandhaltung anteilig in die "graue Energie" des Endprodukts einbezogen. Das "Produkt" kann auch eine Dienstleistung sein.

Graue Energie ist der indirekte Energieverbrauch durch Kauf eines Konsumgutes, im Gegensatz zum direkten Energieverbrauch bei dessen Benutzung. Die Prozesskette ist bei den meisten Produkten ziemlich komplex, sodass man bei der Berechnung der grauen Energie vereinfachende Annahmen treffen muss. Konkrete Zahlenangaben für den Gehalt an grauer Energie eines Produkts sind dementsprechend unsicher, je nach Quelle oder Berechnungsweise verschieden und häufig auch umstritten.

Beispiele für Abgrenzungsprobleme:

- Ist es etwa sinnvoller, den Energieverbrauch der Betriebskantine auf die erzeugten Produkte oder die Besucher umzulegen?
- Soll allen Produkten, die auf der Straße transportiert werden, auch ein Anteil am Energieverbrauch der Krankenhäuser, in denen Verletzte nach Verkehrsunfällen behandelt werden, zugeordnet werden?

Einige Beispiele für den Grauen Energiegehalt in Konsumgütern:

In einer Publikation des österreichischen Umweltministeriums[16] werden folgende Angaben zur grauen Energie von einzelnen Konsumgütern gemacht:

- 1 kg Schokolade = 2,5 kWh
- ein Paar Schuhe = 8 kWh
- zwei Aluminiumdosen = "Tagesstrombedarf eines Vierpersonenhaushaltes" (rund 10 kWh)
- ein Automobil = "Strombedarf eines Durchschnittshaushalts für 10 Jahre" (etwa 30 000 kWh)

Nach den Angaben der Non-Profit-Organisation PUSCH[17] (von MJ umgerechnet in kWh):

- 500 Blatt Kopierpapier chlorfrei gebleicht = 41 kWh
- 500 Blatt Kopierpapier recycled = 28 kWh
- Tageszeitung (90 Seiten) = 7,5 kWh

Laut dem Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: [18]

- Herstellung eines PCs = 3000 Kilowattstunden (plus 1,5 Tonnen Rohstoffe)

Der Umweltbericht 2001-2002 von Volkswagen[19] macht auch Angaben zum Energie- und Materialverbrauch bei Produktion und Betrieb eines Kraftfahrzeugs:

- VW Golf A3 (Ottomotor) = rund 20.000 kWh (12% von 545GJ durch Recycling)
- VW Golf A4 (TDI) = rund 22.000 kWh (15% von 545 GJ durch Recycling)

Aus der graphischen Abbildung kann entnommen werden, wie differenziert die Datenlage für viele Produkte in Bezug auf Energie- und Materialflüsse und resultierende Umweltbelastungen und Emissionen vorliegt.

Aus Mittelwerten der für die Herstellung eines Produktes (im Beispiel oben eine 3-fach WSV) benötigten Materialien und Prozessen kann bei genauer Kenntnis des Herstellungsprozesses durch Verknüpfung der einzelnen Schritte die benötigte Energie belastbar abgebildet werden. Für die meisten innerhalb dieser Arbeit benötigten Daten liegen innerhalb der Ecolnvent Datenbank fertige Datenpakete vor. Eigene Verknüpfungen und Kombinationen wurden innerhalb dieser Arbeit nur in sehr begrenztem Umfang im Bereich der haustechnischen Heizanlagen vorgenommen.

Aufgrund der beschriebenen Probleme im Bereich der Abgrenzungen und unterschiedlich effizienten Produktionen der Hersteller weisen die Daten der Grauen Energie für alle Produkte gewisse Ungenauigkeiten auf. Dem wird innerhalb dieser Arbeit Rechnung getragen, indem der Spielraum aller erhaltenen Daten in den Tabellen angegeben (in Klammern) und für die weitere Arbeit aus allen Werten ein produktspezifischer Mittelwert gebildet wird (fett dargestellt).

Die aus der Herstellung der Baustoffe resultierenden CO₂e-Emissionen lagen für die Arbeit ausschließlich innerhalb der Ecolnvent Datenbank vor und sind aus diesem Grund keine Mittelwerte. Für die haustechnischen Systeme lagen keine Emissionsdaten vor.

1.4.3.1.1.1 Graue Energie in Baustoffen

Im Folgenden werden aus Gründen der Übersichtlichkeit die innerhalb der Arbeit verwendeten Materialdaten gesammelt aufgelistet. Die Daten werden in den Kapiteln in denen sie Verwendung finden ebenfalls aus Gründen der Übersichtlichkeit noch einmal ausgewiesen.

Die folgenden Daten für die Baustoffe werden verwendet [12][14][15]:

	Lambda λ in W/ mK	$\mu 1/ \mu 2$	Gewicht pro m³ in kg	Treibhaus- effekt in Kg CO₂e/ m³	Graue Energie in kWh/m³	Treibhaus- effekt in Kg CO₂e/ kWh
Dämmstoffe						
Mineralwolle WLG040	0,040	1	50	71,5	(150 – 400)* 200	0,358
Mineralwolle WLG035	0,035	1	50	72	(150 – 400)*	0,360
Mineralwolle WLG032	0,032	1	50	73,5	(150 – 400)*	0,368
Holzfasерwolle WLG 040	0,040	5	60*		(560 – 800)* 650*	
Polysterol expandiert EPS WLG040	0,040	20 / 100	18	119,5	(200 - 760)* 520	0,230
Polysterol expandiert EPS WLG035	0,035	20 / 100	18	120,6	(200 - 760)* 520	0,232
XPS WLG040	0,040	80 / 250	20	119,6	(450 – 1.000)* 800*	0,150
Zellulose Wolle			60	23,4	130	0,150
Strohballen XPS WLG035	0,035	80 / 250	60	360	(450 – 1.000)* 800*	
Holz						
Kiefer, Fichte KVH, luftgetrocknet	0,13	40*	540	93,4	499	0,187
Großflächige Bauteile						
Zementestrich (armiert)			1700	341,7	550	
Magerbeton			2190	142,2	214	0,664
Ortbeton (bewehrt/ Fe 80kg/m ³)	2,1	70 / 150	2450	190,9	722	0,264
Holzwerkstoffe						
OSB Platten	0,13*	200*	500	411	2500	0,164
DWD Platten	0,09*	11*	565*	485,9	2000	0,243
MDF Platten	0,17*	70*	900	767,7	3.500	0,219
Mörtel und Putze						
Klebmörtel für WDV (Kunststoffbasis)	0,8		1.600	1728	11.218	0,154
Gipsputz	0,55	10	1.800	156,4	865	0,181
Außenputz	0,87	15 / 35	1.500	909	825	1,102
Plattenwerkstoffe						
Zementgebundene Faserplatte	0,58	20 / 50	2.000		2900	
Gipskarton	0,25	8	900		1549	
Steine						
Vormauerziegel	0,68	5 / 10	1.600	580,8	700	0,830
Kalksandstein	0,79*	5 / 25*	1.600*	222,4	648	0,343
Porenbetonstein	0,19		781	326,5	1.079	0,303
Folien						
PE-Folie	0,2	100.000	1.100	5709	24.117	0,237
Diff.-off. Folie			930			
Bituminöse Abklebung	0,17	2.000 / 20.000	1.200	3576	16.807	0,213
Verglasungen						
Einfachverglasung						
Zweifachverglasung						
2-fach WSV						
3-fach WSV						

Tabelle 2: Bauphysikalische Daten der verwendeten Baustoffe

Die Datenlage zur in Baustoffen enthaltenen Grauen Energie ist als gemischt zu bezeichnen. Einzelne Unternehmen weisen dezidierte Werte für ihre eigenen Produkte aus, häufig auf Basis der LCA Ansätze von Ecolnvent und SimaPro. In der Regel sind dies Unternehmen deren Produkte im Vergleich zur Konkurrenz nachhaltig produziert werden, und die sich auf diesem Gebiet zukünftig einen Wettbewerbsvorteil erhoffen. Insbesondere im Bereich der Dämmstoffe kursieren diverse, teilweise stark abweichende Daten.

1.4.3.1.2 Graue Energie in haustechnischen Heizanlagen

Die folgenden Daten für haustechnische Heizanlagen werden verwendet [12][16]:

	Zubringung	kWh	Anlage	kWh	Wärmeverteilung	kWh
Pelletheizung Gesamt: (ca. 2000 kWh – 3000) 2.500 kWh	Lager (ca. 2m ³)	---	Pelletofen	kA	Heizungsleitungen (100 lfm, d=20mm, Kupfer/PVC)	500 - 750
			Schornstein	kA	Isolierung (PU-Schaum)	50 - 100
			Speicher (150 Liter)	kA	Heizkörper (5kW bei 55°C/45°C)	kA
Gasheizung (Brennwert) Gesamt: (ca. 2000 kWh – 3000) 2.500 kWh	Gasleitung 25 lfm (d=30mm/ Kupfer)	kA	Gastherme	kA	Heizungsleitungen (100 lfm, d=20mm, Kupfer)	500 - 750
			Schornstein	kA	Isolierung (PU-Schaum)	50 -100
			Speicher (150 Liter)	kA	Heizkörper (5kW bei 55°C/45°C)	kA
Ölheizung (Brennwert) Gesamt: ca. 2.000 kWh	Öltank (2000 Liter)	kA	Öltherme	kA	Heizungsleitungen (100 lfm, d=20mm, Kupfer)	500 -750
			Schornstein	kA	Isolierung (PU-Schaum)	50 -100
			Speicher (150 Liter)	kA	Heizkörper (5kW bei 55°C/45°C)	kA
Wärmepumpe (Luft/Luft) Gesamt: (ca. 6.200 kWh bis 9.000 kWh) 7.500 kWh	---	---	Wärmepumpe	2.200	Lüftungsrohre (100 lfm, d=100mm)	4000
Wärmepumpe (Wasser/Wasser) Gesamt: (ca. 9.000 kWh bis 15.000 kWh) 12.000 kWh	Flächenkollektor: Ca. 300m PCV-Rohr (d=40mm);	1900 – 5.000	Wärmepumpe	2.200 -3.000	Rohrleitung PVC (Bauteilaktivierung), 500 lfm, d=20mm	2.000 – 2.500
	ca. 300 m ³ Erdaushub Oder Erdsonde: Ca. 100m PCV-Rohr (d=40mm); ca. 100 lfm Bohrung	10.000 - 14.100				

Tabelle 3: Bauphysikalische Daten der haustechnischen Heizanlagen

Die Datenlage in Bezug auf die in haustechnischen Systemen gebundene Graue Energie ist deutlich schlechter als bei den reinen Baustoffen. Der Grund hierfür kann in der gegenüber reinen Baustoffen deutlich höheren Komplexität von haustechnischen Systemen gesehen werden. Die Zusammensetzung von haustechnischen Anlagen aus einer Vielzahl von Einzelkomponenten verschiedener Hersteller führt dazu, dass keiner der an der Produktion beteiligten Betriebe einen Überblick über die in das Gesamtsystem investierte Energie hat. In diesen Fällen wurde die Graue Energie über die in den Systemen enthaltenen Rohstoffe über die Ecolnvent Datenbank ermittelt. In diesen Fällen wird nur die Graue Energie des Gesamtsystems ausgewiesen.

1.4.3.1.1.3 Graue Energie in haustechnischen Systemen

Die folgenden Daten für haustechnische Systeme werden verwendet [12][17]:

Photovoltaikzellentyp	Wirkungsgrad Praktisch Zelle (Modul)	Wirkungsgrad theoretisch Zelle	Graue Energie in kWh/m ²	Leistungskoeffizient in % pro Grad Celsius über 25°C	Angenommene Wirkungsgrade (direkt/ diffus)
Kristalline Zellen					
Monokristalines Silizium	18 % (15 %)	24,7 %	1850 - 2550	-0,38 bis -0,51 (-0,41)	(20% / 11%)
Polykristalines Silizium	15 % (13 %)	19,8 %	1410 - 1530	-0,38 bis -0,5 (-0,41)	(16% / 10%)
Polykristalline Bandsiliziumzellen*	14 % (13 %)	19,7 %	k.A.	k.A.	(16% / 10%)
Dünnschichtzellen					
Amorphes Silizium	10,5 % (7,5 %)	13 %	480 - 500	-0,12 bis -0,23 (-0,18)	(5,5% / 10%)
Kupfer-Indium-Diselenid- Zellen (CIS)	14 % (10 %)	18,8 %	950 - 1000	Ca. - 0,36	(10% / 10%)
Cadmium-Tellurid-Zellen (CdTe)	10 % (9 %)	16,4 %	500 - 600	-0,2 bis -0,6 (-0,3)	(9% / 7%)
Farbstoffzellen	7% (5%)	12 %	k.A.	k.A.	(3% / 11%)

Tabelle 4: Bauphysikalische Daten der verwendeten Solarzellen

Die zwei maßgeblichen Bestandteile in Bezug auf die Graue Energie in Photovoltaiksystemen sind im Aluminiumrahmen und in der Photovoltaikzelle selbst zu sehen. Viele Firmen recyceln zumindest den Aluminiumrahmen. In diesen Fällen verbessert sich die Bilanz der Systeme und die Zelle selbst dominiert die Bilanz.

Im Rahmen der Berechnungen der vorliegenden Arbeit wurde ein Recyclinganteil des Aluminiumrahmens von 60% angenommen.

Die folgenden Daten für Verglasungen werden verwendet:

Fenster	U-Wert in W/ m ² K	g-Wert	Gewicht pro m ² in kg	Graue Energie Rahmen in kWh/m ²	Graue Energie Glas in kWh/m ²
Einfachverglasung	5,0	0,78-0,82	10	185	4
Zweifachverglasung	3,0	0,67-0,72	20	185	68
2-fach WSV	1,1-1,3	0,55-0,65	20	185	135
3-fach WSV	0,5-0,7	0,42-0,46	30-40	225	233

Tabelle 5: Bauphysikalische Daten der verwendeten Fenster

Die Datenlage für Fenster ist generell als gut zu bezeichnen. Der angegebene Spielraum resultiert in erster Linie aus der hohen Bedeutung der Beschichtung, des Randverbunds und der Edelgasfüllung für den grauen Energiegehalt der Verglasung als Endprodukt (vgl. Grafik 4). Da diese sowohl U-Wert als auch g-Wert beeinflussen und innerhalb der vorliegenden Arbeit für verschiedene Verglasungstypen die jeweils günstigsten Kombinationen ermittelt und gewählt werden müsste die graue Energie für jedes Glas neu ermittelt werden. Aufgrund des enormen Aufwands dieser Berechnungen wird stattdessen mit einem Mittelwert gerechnet der eine Ungenauigkeit von etwa 5% bis 10% aufweisen kann. Für die verschiedenen Verglasungen wird ein angemessen gedämmter Rahmen angenommen (vgl. Kapitel 4)

1.4.3.2 Der laufende Verbrauch – Die Berechnungsgrundlagen

Die innerhalb der vorliegenden Arbeit verwendeten Modelle zur Berechnung des laufenden Verbrauchs orientieren sich an den etablierten Verfahren aus Deutschland und der Schweiz. Für diese Verfahren liegt in Mitteleuropäischem Klima mittlerweile eine Vielzahl von realisierten Objekten vor, die ihre Belastbarkeit belegen. Für eine Anwendung in stark von diesen Klimabedingungen abweichenden Konditionen gelten jedoch gewisse Einschränkungen auf die im Folgenden eingegangen werden soll.

1.4.3.2.1 Notwendige Einschränkungen

Die rechnerische Beschreibung aller vorhandenen Gebäudetypen unter allen denkbaren Klima- und Kulturbedingungen mit größtmöglicher Genauigkeit würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Es ist folglich notwendig gleich zu Beginn eine Reihe von Einschränkungen zu treffen.

Die erste Einschränkung muss der rechnerischen Genauigkeit gelten. Die Entwicklung der Normen in Deutschland verfolgt eine immer exaktere rechnerische Beschreibung von Gebäuden. Von der ersten Energieeinsparverordnung 1995 (ca. 150 Seiten) bis zur aktuellen EN 18599 (ohne Beiblätter aktuell etwa 1480 Seiten) hat der Umfang der Normen in der Folge stark zugenommen. Der hierzu notwendige Aufwand an begleitenden Messungen und Feldforschung kann innerhalb dieser Arbeit nicht geleistet werden. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Zusammenhänge von Technologieeffizienz und Standort. Die Standortparameter (Nutzerverhalten und Klima) weisen zudem ebenfalls eine ausgeprägte Unschärfe auf, die deutlich über der Ungenauigkeit durch vereinfachte Rechenverfahren liegt.

Die wichtigsten Vereinfachungen der Rechenmodelle im Einzelnen:

- Verwendet werden monatliche Bilanzierungen, in Teilen auch Jahresbilanzierungen. Den monatlichen und jährlichen Mittelwerten liegen in Teilen Tageswerte zugrunde (insbesondere im Bereich der Klimadaten). Trotzdem resultiert eine rechnerische Ungenauigkeit gegenüber dynamischen Modellen.
- Die thermische Masse und die resultierende Trägheit der Temperaturänderung im Referenzgebäude werden nicht differenziert berechnet. Es wird jedoch an den entsprechenden Stellen darauf hingewiesen welche Speicherfähigkeit vorausgesetzt wird. In den meisten Fällen resultiert der Anspruch an die thermische Masse aus der Verwendung monatlicher Mittelwerte.
- Für viele Komponenten werden pauschale Daten angenommen. Dies betrifft insbesondere Fügungsmittel für die Hüllkonstruktion und die haustechnischen Systeme. Für andere Systeme werden rechnerisch aus mehreren Produkten gemittelte Werte verwendet. Konkrete Produkte können also leicht abweichen. Die Vorgehensweise vermeidet jedoch einen höheren Fehler durch eine falsche Datenlage.
- Kein Energiefluss außer des durch die Temperaturdifferenz verursachten Wärmestroms
- Eingeschwungene Zustände, die die Berechnung mit statischen U-Werten erlauben
- Keine geometrischen Wärmebrücken.
- Lebensdauer der Konstruktion für die Berechnung der Grauen Energie entspricht exakt dem untersuchten Zeitraum.

Neben der Genauigkeit der entwickelten Rechenmodelle erfordert auch die Vielzahl der weltweit vorhanden Gebäudeformen und Nutzungen Einschränkungen. Trotz eines Trends zu global immer ähnlicheren Gebäuden existiert eine nicht abzubildende Vielzahl an Gebäudeformen und Typologien.

Die Parameter eines Gebäudes können tabellarisch wie folgt dargestellt werden:

Gebäude	Material	Hülle	Nutzer	Haustechnik
Größe	Holz	Hinterlüftet/ nicht interlüftet	Zufriedenheit	Elektrisch basierte systeme
Gebäudetyp/ - nutzung	Holzwerkstoffe	Massibau/ Leichtbau	Anwesenheit	Solarbasierte Systeme
Form	Naturstein	Linienlasten/ Punktlasten	Komfortbedarf	Verbrennungssysteme
...	Kunststein Ziegel	...	Anzahl Interesse an Energieeinsparung	Windbasierte Systeme Erdbärmebasierte Systeme
	Mineralische Dämmstoffe Dämmstoffe aus Naturfasern		Ökonomische Möglichkeiten Vorbildung/ Kenntnisse	...
	

Tabelle 6: Parameter eines Gebäudes

Die Tabelle erhebt in keiner Weise den Anspruch auf annähernde Vollständigkeit aller Parameter und Einflussfaktoren

Da sich im Prinzip alle Parameter untereinander kombinieren lassen ergibt sich eine nicht abzudeckende Vielfalt an Gebäudetypen. Da der Schwerpunkt der Arbeit auf den Auswirkungen von Klima und Nutzerverhalten (den Standortfaktoren) liegen muss um eine Überschaubarkeit zu gewährleisten das Gebäude entsprechend vergleichbar sein. Vor dem Hintergrund der Leitfrage und Leitthese der Arbeit soll aber versucht werden in den Bereichen Material, Hülle und Haustechnik einen möglichst großen Spielraum zu erhalten. Einschränkungen werden insbesondere in Bezug auf Nutzung, Form und Größe des Gebäudes getroffen.

Es werden für die vorliegende Arbeit die folgenden Einschränkungen getroffen:

- Es wird von einer Wohnnutzung ausgegangen.
- Der Lebenszyklus für alle Komponenten wird auf 20 Jahre festgesetzt. Obwohl diverse Komponenten eine höhere Lebenserwartung aufweisen ist eine Prognose von Rahmenbedingungen über mehr als 20 Jahre unrealistisch. Alle Annahmen würden folglich mit längerem Lebenszyklus eine immer größere Ungenauigkeit aufweisen. Da zudem die meisten ökonomischen Rechenmodelle mit einem Zeitraum von 20 Jahren bezüglich Abschreibung und Amortisation rechnen, erscheint dieser Zeitraum auch für ökologische und Berechnungen der Energiebilanz sinnvoll.
- Der Bereich des Nutzers wird in den allgemeinen Rechenmodellen vereinfacht angesetzt (drei allgemeine Nutzungsprofile).
- Als Form des Gebäudes wird ein Quader gewählt. Diese Form weist nicht nur ein gutes Hüllflächen zu Nutzflächen Verhältnis auf, sie lässt sich zudem einfach reihen und stapeln um annähernd auch Auswirkungen für Gebäudegrößen abzubilden die einem Vielfachen des Referenzkörpers entsprechen.
- Die Größe des Referenzgebäudes wird auf 8m x 12m x 5,5m festgelegt. Aufgrund der variablen Wandstärke wird die Innenseite als fixiert definiert. Innerhalb dieser
- Aus einer Auswahl von vier Wandsystemen (hinterlüftete Fassade, Heterogener Wandaufbau, Wärmedämmverbundsystem und monolithischer Aufbau) wird für die weitere Arbeit in Kapitel 3 einer ausgewählt. Die Auswahl erfolgt nach Kriterien der Flexibilität, Standort- und Technologieanforderungen und der Gesamtenergiebilanz der Aufbauten. Der gewählte Wandaufbau muss unter japanischen Rahmenbedingungen realisierbar sein.
- Die Materialauswahl wird auf die für die vier Regelaufbauten (in jeweils zwei Ausführungsvarianten) benötigten Materialien begrenzt.
- Es werden keine Inneneinrichtungen bilanziert. Die für die haustechnischen Systeme und spezialisierte Hüllanteile (Dach, Sohlplatte) notwendige Energie wird pauschal nach Mittelwerten der Ecolnvent Datenbank veranschlagt
- Der Luftwechsel wird mit 0,6 1/h angenommen.

Die einzelnen Einschränkungen werden im Folgenden kurz begründet und erläutert.

1.4.3.2.1.1 Nutzung des Gebäudes

Für die Arbeit wird die Gebäudenutzung auf eine Wohnnutzung beschränkt. Diese lässt sich aufgrund vergleichbarer Ausgangsbedingungen ungleich einfacher bilanzieren und übertragen als Nichtwohngebäude.

1.4.3.2.1.2 Abmessungen des Gebäudes

Da das Referenzgebäude sich mit seiner Wandstärke an die anliegenden Bedingungen anpasst, ist entweder die Innen- oder die Außengrenze des Gebäudes variabel. Für erste Berechnungen wird von einer fixierten Innenraumgrenze und einer variablen Außengrenze ausgegangen.

Der Hauptgrund für diese Entscheidung ist in der Methodik der Berechnung zu sehen. Eine konstante Innengrenze resultiert später in konstanten internen Wärmelasten pro Hüllfläche. Der Rechenweg wird hierdurch stark vereinfacht.

Das Gebäude wird mit einer Innengrenze der Hülle von 12m mal 8m definiert. Aus der zweigeschossigen Bauweise resultiert eine Höhe (von Oberkante Fußboden bis Unterkante Decke) von 5,5 m.

Die Größe wurde gewählt um innerhalb des resultierenden Körpers ein, zwei oder vier Wohneinheiten realisieren zu können. Mit den resultierenden Wohnungsflächen von ca. 50, 100 und 200m² pro Wohneinheit sind viele standortspezifische Wohnformen (Single-Wohnung, Zweifamilienhaus, großes Einfamilienhaus) abgedeckt.

1.4.3.2.1.3 Form des Gebäudes

Auch im Rahmen der definierten Größe des Referenzgebäudes ist noch eine Vielzahl von Gebäudeformen möglich. Im Bereich des Daches (Flachdach, Tonnendach, Satteldach) und der Gründung (aufgeständert, eingegraben, ebenerdig) sind Variationen ebenso möglich wie im Grundriss.

Unter dem Aspekt der Gebäudebilanzierung resultiert aus der Wahl der Gebäudeform eine Veränderung der Hüllfläche und ggf. ein zusätzlicher Aufwand z.B. durch Erdarbeiten.

Die Form des Gebäudes ist neben der Größe ein zentraler Faktor für die Kompaktheit des Gebäudes. Für die Beurteilung einer Gebäudeform in Bezug auf ihre Kompaktheit hat sich das A/V Verhältnis etabliert. Gebäude mit einem niedrigen A/V Verhältnis weisen wenig Hüllfläche in Relation zum eingeschlossenen Volumen auf. Bei einer anliegenden Temperaturdifferenz Innen/ Außen benötigen diese Gebäude für den Ausgleich der Transmission weniger Energie als Gebäude mit viel Hüllfläche in Relation zum Volumen, da sich die Transmission proportional zur Hüllfläche verhält.

Auch wenn das A/V Verhältnis die Bewertung eines Gebäudes in Bezug auf seine Kompaktheit ermöglicht ist es sinnvoller diese Bewertung über das Verhältnis von Nutzfläche zu Hüllfläche vorzunehmen. Kugelförmige oder halbkugelförmige Körper haben zwar ein besseres A/V Verhältnis, sie weisen jedoch auch Zonen auf die sich nicht sinnvoll nutzen oder einrichten lassen. Das ideale A/V Verhältnis hat ein kugelförmiger Körper, das ideale N/V Verhältnis ist jedoch in einem kubischen Körper gegeben. Dieser ist nicht nur besser nutzbar, er ist zudem als Modul in Reihe und Stapelung addierbar.

Die Möglichkeit durch reihen und stapeln des Referenzgebäudes größere Wohneinheiten zu schaffen, und somit das Rechenmodell einfach auf sein Verhalten bei der Bildung größerer Gebäudetypen zu überprüfen, ist der Hauptgrund das Referenzgebäude als kubisches Volumen mit Flachdach zu definieren.

1.4.3.2.1.4 Geometrische Wärmebrücken

Aus der gewählten Form resultieren geometrische Wärmebrücken an den Ecken und Kanten des Gebäudes. Diese sind in ihrem Ausmaß abhängig vom U-Wert des Wandaufbaus, je besser die Dämmung der Wand umso geringer der Einfluss der geometrischen Wärmebrücken.

Die geometrischen Wärmebrücken verfälschen die Berechnung über die Hüllfläche. Ob die rechnerisch über die Hüllfläche ermittelte Transmission zu groß oder zu gering ausfällt, ist davon abhängig ob Innen- oder Außenfläche der Hülle in der Rechnung verwendet wird

Innerhalb dieser Arbeit wird die Transmission über die Innenhüllfläche ermittelt. Die Transmission ist deshalb größer als berechnet. Die Anwendung eines üblichen Wärmebrückenzuschlags wird jedoch weder dem geometrischen Grund für die Wärmebrücke, noch der variablen Dämmstärke gerecht. Statt eines Wärmebrückenzuschlages wird deshalb ein Transmissionsfaktor von 1,1 verwendet. Die Transmission in jede Richtung wird also um 10% erhöht.

1.4.3.2.1.5 Fehlstellen in der Gebäudehülle

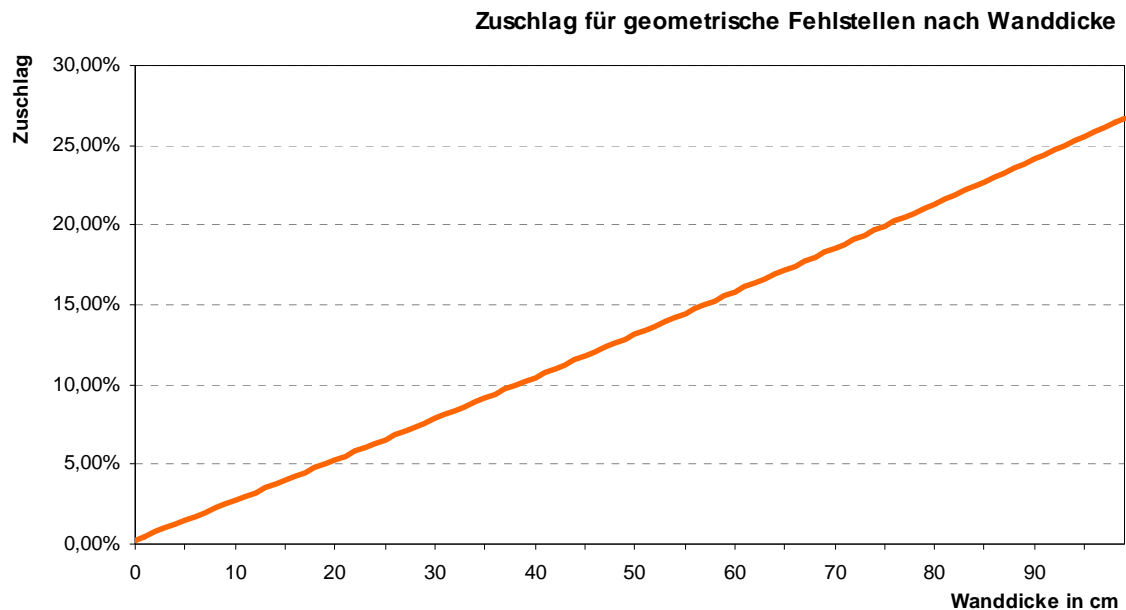
Durch die Fixierung der Innenseite der Hülle entstehen an den Ecken und Kanten des Gebäudes Fehlstellen. Diese Fehlstellen sind in ihrem Anteil an der Grauen Energie umso bedeutender, je dicker die Wand des Gebäudes ist.

Der korrekte Faktor berechnet sich über:

$$102m \cdot d^2 + 8 \cdot d^3 = 412m^2 \cdot d \cdot a$$

Wobei d die ermittelte Wanddicke und a der notwendige Zuschlag auf die Graue Energie ist.

Für den Zuschlag a ergibt sich:



Grafik 5: Zuschlag für Fehlstellen in der Hülle

Der Zuschlag steigt von 0 bis 100 cm Wandstärke annähernd linear um 0,25% pro cm an (0,24% beim Sprung von 0 auf 1 cm; 0,29% beim Sprung von 99 auf 100 cm). Deutlich wird der Vorteil aus mehreren Wohneinheiten zusammengefassten Strukturen, die aufgrund ihrer Größe viel weniger Fehlstellen durch Kanten und Ecken aufweisen würden.

1.4.3.2.1.6 Thermische Masse

Die Berechnungen innerhalb dieser Arbeit gehen von Monats- oder Tagesmittelwerten für Klima und Nutzerverhalten aus. Damit sich hierdurch keine größeren Ungenauigkeiten ergeben muss das Referenzgebäude über eine Thermische Masse verfügen, die in der Lage ist die punktuell auftretenden Wärmequellen über einen oder mehrere Tage zu speichern und so die resultierenden Temperaturschwankungen zu glätten.

1.4.3.2.1.7 Spezialisierte Wandaufbauten

Zwei Seiten des opaken Gebäudekörpers weisen ein besonderes Anforderungsprofil auf:

- Das Dach muss Regen- bzw. Wasserdicht ausgeführt werden.
Dies beeinflusst den Fassadenaufbau und erfordert im Fall des gewählten Flachdaches eine wasserdichte Dachbahn und meistens eine unterseitige Dampfsperre. Der veränderte Aufbau verändert die Gesamtenergiebilanz für die Dachfläche.
- Das Fundament muss die Lasten des Gebäudes ins Erdreich einleiten.
Möglich sind für das gewählte Konstruktionssystem Flächen-, Streifen- und Punktfundamente. Der notwendige Beton und die Erdarbeiten verändern die Gesamtenergiebilanz der Sohlfläche.

Für die Berechnungen wurde jeweils eine Fläche von 13m x 9 m angenommen.

Das Flachdach wird innerhalb der Berechnungen pauschal mit 12.000 kWh veranschlagt

(Berechnet für 13m x 9m Bitumenabdichtung (zweilagig) und 12m x 8m Dampfsperre)

Das Fundament wird innerhalb der Berechnungen pauschal mit 21.000 kWh veranschlagt

(Berechnet für 20 cm Ortbeton, 8 cm Sauberkeitsschicht/ Magerbeton und Bitumenabdichtung (einlagig))

Das alternative Streifenfundament liegt nur bei etwa 8.000 kWh, ist aber deutlich arbeitsaufwendiger. Ist Arbeitskraft jedoch am gewählten Standort billig, ist das Streifenfundament eine ökologische Alternative.

Durch die spezialisierten Hüllflächen entsteht also ein pauschaler Gesamtzuschlag von 33.000 kWh. Diese werden bei allen weiteren Bilanzen gesondert ausgewiesen.

1.4.3.2.1.8 Inneneinrichtung des Gebäudes

Jedes Gebäude verfügt neben der Hülle über weitere Bausteine, die für seine Nutzung benötigt werden. Hierzu gehören Elemente der Erschließung (z.B. Treppen – zumindest eine wird für das zweigeschossige Referenzgebäude notwendig sein) und der Raumtrennung (Innenwände/ Türen).

Jeder dieser Bausteine verursacht Arbeits-, Rohstoff und Energieaufwendungen. Die Tabelle 4 ermöglicht zumindest eine annähernde Ermittlung der in den Aufbauten enthaltenen Grauen Energie. Insbesondere im Bereich von Sonderanfertigungen können die realen Daten jedoch deutlich von den genannten Werten abweichen. Zudem weichen standort- und nutzungsbezogen die gewählten Innenausbauten deutlich voneinander ab. Der japanische Wohnstandard favorisiert auch aktuell noch leichte Schiebewände um einen zentralen Wohnraum bei Bedarf zu unterteilen, während in Deutschland Aspekte des Schallschutzes meistens in massiven oder gedämmten Leichtbauwänden resultieren. Eine Nutzung des Referenzgebäudes als Einfamilienhaus bedingt eine andere Menge an Trennwänden als die Nutzung durch vier Wohneinheiten.

Diesem Spielraum an Möglichkeiten, der zudem fließend in den Bereich der Konsumgüter übergeht (die Wahl eines Fußbodens oder einer Tür ist eine Geschmacksentscheidung) kann innerhalb dieser Arbeit keine Rechnung getragen werden. Bis auf die Anzahl möglicher Bewohner ist hier zudem wenig Potential einer standortbezogenen Optimierung zu sehen.

Der Innenausbau wird deshalb innerhalb dieser Arbeit aus diesem Grund nicht berücksichtigt.

1.4.3.2.1.9 Luftwechsel

Die von Menschen für komfortables Befinden benötigte Menge an Frischluft wird je nach Quelle mit 20m³/h bis 30m³/h beziffert [18]. Der anzusetzende Luftwechsel ist demnach abhängig von der Anzahl der in einem Gebäude lebenden Personen.

Aus bauphysikalischen Gründen ist in Gebäuden jedoch eine Mindestluftwechselrate ratsam. Sie dient vor allem dem Transport anfallender Luftfeuchtigkeit und mindert so die Schimmelproblematik bewohnter Gebäude. Eine gewisse Luftwechselrate fällt generell über Undichtigkeiten der Gebäudehülle an.

Innerhalb der Arbeit wird von einer Luftwechselrate von 0,6 1/h ausgegangen. Diese stellt einen Kompromiss unterschiedlichster Klima- und Nutzeranforderungen dar und lässt sich sowohl rechnerisch gut handhaben, wie auch baulich zuverlässig realisieren.

1.4.3.3 Meteorologische Grundlagen

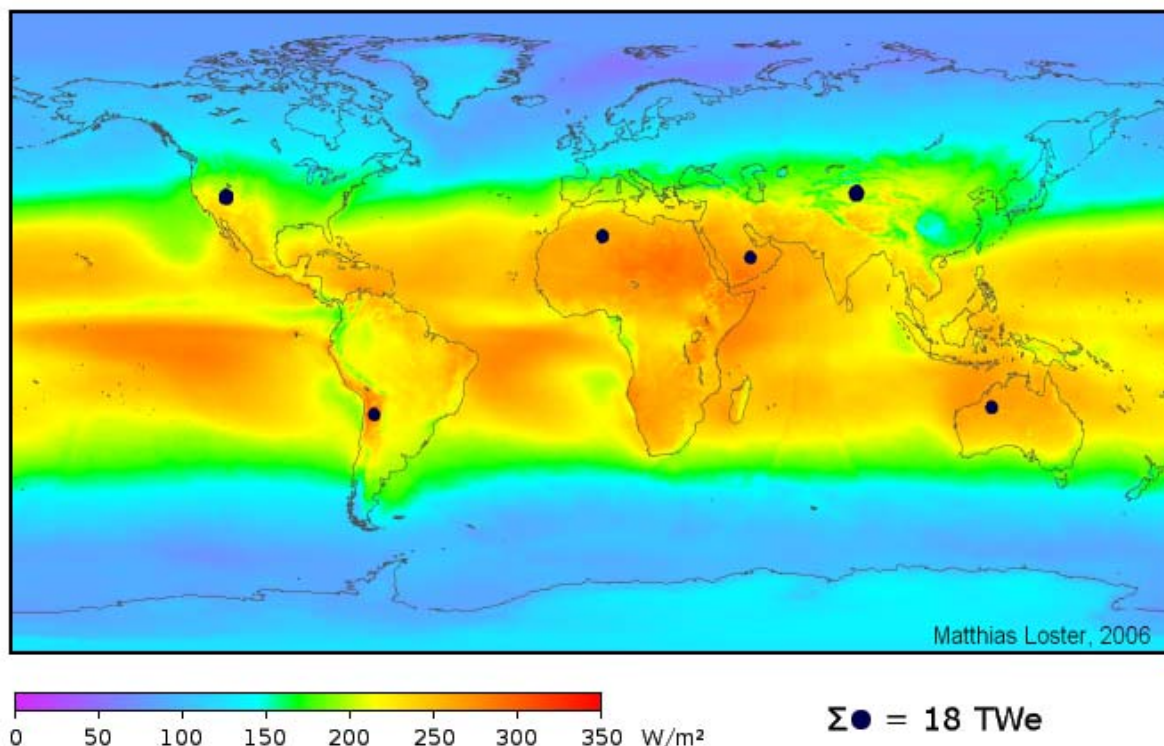
Die meisten betrachteten Technologien sind in ihrer Leistungsfähigkeit mittelbar oder unmittelbar von den lokalen Klimabedingungen abhängig. Die für die Abbildung dieser Bedingungen notwendigen Grundlagen werden im Folgenden kurz erläutert. Neben der vergleichsweise einfach zu ermittelnden Lufttemperatur wird im speziellen auf die ungleich schwieriger zu beschreibende solare Strahlung eingegangen. Aufgrund des Betrachtungsrahmens der Arbeit werden keine wind- oder wasserkraftbasierten Systeme behandelt, so dass auf diese Aspekte auch in der Klimabetrachtung hier verzichtet wird.

1.4.3.3.1 Solare Strahlung

Die von der Sonne ausgehende Strahlung hat am Rand der Atmosphäre unseres Planeten eine mittlere Intensität von 1367 W/m^2 (auf eine Fläche rechtwinklig zum Einfallswinkel). Durch den schwankenden Abstand der Sonne von der Erde variiert dieser Wert real zwischen 1325 W/m^2 und 1420 W/m^2 .

Teile dieser Strahlung werden durch die Erdatmosphäre reflektiert und absorbiert, so dass die Strahlungsintensität auf eine optimale in Richtung der Sonne ausgerichteten Fläche abhängig ist von der Strecke die die Strahlung durch die Atmosphäre zurücklegt. Der kürzeste mögliche Weg im Zusammenhang mit seiner die Strahlungsintensität mindernden Wirkung als 1 AM (Air Mass) bezeichnet. Der auf der Erde maximal zu erreichende Wert bei wolkenfreiem Himmel und einer Strecke von 1 Am entspricht etwa 1112 W/m^2 , bei 1,5 AM sind es etwa 1000 W/m^2 . Die Abnahme der Strahlung ist im relevanten Bereich annähernd proportional zur Air Mass. Die zwischen Standort und Sonne liegende Atmosphäre schwankt über den Jahresverlauf durch die Neigung der Erdachse und die Drehung der Erde. Am Beispiel von Berlin liegen die Werte zwischen 1,13 AM zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende und 4,13 zum Zeitpunkt der Wintersonnenwende.

Die folgende Grafik [19] bildet die mittlere solare Einstrahlung auf eine horizontale Fläche ab. Die schwarzen Punkte markieren die Fläche, die durch Photovoltaikmodule (8% Ausnutzung) bedeckt werden müssten um den aktuellen Primärenergiebedarf der Erde zu decken:



Grafik 6: Solare mittlere Einstrahlung der Erde

Erkennbar ist auf der Nordhalbkugel die von Norden nach Süden zunehmende Strahlung, wobei am Äquator wieder eine Abnahme zu vermerken ist (auf der Südhalbkugel entsprechend). Dieses Phänomen ist den dortigen starken Aufwinden in Verbindung mit starker Wolkenbildung und Regenfällen zuzuschreiben. Die Zu- und Abnahme der Strahlung ist jedoch auch durch lokale Wetterphänomene geprägt, weshalb der Verlauf von Norden nach Süden nicht homogen ist.

Die für die Deckung des weltweiten Primärenergiebedarfs benötigte Fläche ist gering, gemessen am weltweiten Platzangebot. Trotzdem übertrifft die Summe aller Flächen die Größe Spaniens.

Das Angebot an solarer Energie ist wie gezeigt im Übermaß vorhanden. Es ist kostenlos, aber stark ungleichmäßig verteilt.

1.4.3.3.2 Berechnungsgrundlagen

Die für die Berechnungen benötigten Daten werden der meteorologischen Datenbank Meteonorm [20] entnommen.

Bei den Strahlungsdaten auf geneigte Flächen handelt es sich um rechnerisch ermittelte Werte. Gemessen werden an den jeweiligen Standorten nur die diffuse Strahlung und die direkte Strahlung auf eine horizontale Fläche. Aus diesen beiden Werten wird geometrisch die Strahlung auf geneigte Flächen berechnet, was eine geringe Ungenauigkeit birgt.

Bei den für die Berechnung verwendeten Messwerten handelt es sich um monatliche Mittelwerte. In der Verwendung der monatlichen Werte liegt gegenüber der Verwendung von Tageswerten ebenfalls eine gewisse Ungenauigkeit, die innerhalb der Datenbank mit 4% bis 6% beziffert wird.

Die durch den Boden reflektierte Strahlung wird mit einem Faktor von 0,2 berücksichtigt. Dieser Wert entspricht in etwa dem Wert für eine Grasfläche. Für stärker reflektierende Oberflächen ergeben sich entsprechende Abweichungen. Maximale Faktoren bis 0,8 (z.B. Wasserflächen) sind innerhalb des Rechenmodells der Datenbank möglich.

Die Datenbank berücksichtigt Schneefall und die resultierende Reflektion. Auf welche Weise diese Berücksichtigung innerhalb des Rechenmodells vorgenommen wird konnte anhand der beiliegenden Erläuterungen nicht geklärt werden. Die berechneten Strahlungswerte beinhalten keine Horizontverschattung.

Die Strahlungsintensität wird in Watt/m² ausgewiesen. Da es sich um einen Durchschnittswert handelt unterliegt er im Tagesverlauf (und in geringerem Maß auch im Monatsverlauf) einer Schwankung. Die weiteren Berechnungen gehen von einer thermischen Masse aus, die die Verwendung dieser Durchschnittswerte erlaubt.

Das Ergebnis der Berechnungen innerhalb der Datenbank stellt sich am Beispiel von Berlin wie folgt dar:

Berlin														
	Neigung	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Summe in kWh/a
Norden	90°	9	18	31	49	72	81	73	56	38	22	10	8	342
Osten	90°	17	37	64	97	130	137	121	113	80	47	20	13	641
Westen	90°	21	34	64	96	126	125	131	110	81	49	24	13	640
Süden	90°	25	50	95	149	202	219	210	180	123	68	30	18	1002

Zusätzlich werden die monatlichen Mitteltemperaturen ausgewiesen:

Temperatur	0,3	1,3	4,7	9,1	14,5	17,5	19,2	18,8	15	10,4	5,4	1,8
-------------------	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	----	------	-----	-----

Für die Beschreibung der maximal möglichen solaren Ausbeute wird die optimale Neigung einer Fläche berechnet. Für alle Standort auf der Nordhalbkugel wird eine Südausrichtung angenommen, für alle Standort auf der Südhalbkugel eine Nordausrichtung. Um die Auswirkungen einer nicht optimalen Neigung und das Potential einer Nachführung zu beschreiben werden zusätzlich die Werte für Neigungen von 0°, 30° und 60° ausgewiesen. Die jeweiligen Monatshöchstwerte werden innerhalb der Tabellen orange markiert.

Horizontal	0°	25	50	95	149	202	219	210	180	123	68	30	18
Süden	30°	46	74	127	171	210	221	218	199	155	98	53	31
Süden	60°	57	83	133	160	181	185	186	179	156	109	65	38
Optimal st.													
Optimal fl.	---												

Tabelle 7: Klimadaten von Berlin

1.5 Weiterer Aufbau der Arbeit

Die beschriebene Methodik definiert den Verlauf der weiteren Arbeit. Sie wird in Teilen in den Kapiteln drei und vier weiter verfeinert und den Anforderungen angepasst, im Kern folgen aber alle Berechnungen dem beschriebenen Ansatz.

Für den weiteren Verlauf der Arbeit fehlt vor allem die globale Zielgröße an der sich die personenbezogenen Zielgrößen orientieren (vgl. 1.1). Im Rahmen des mit der Promotion verbundenen zweijährigen Aufenthaltes in Japan war kein anderer Punkt derartig umstritten wie die anzustrebenden Zielsetzungen. Vor diesem Hintergrund ist die vertiefte Beschäftigung mit der Arbeit des International Panel on Climate Change zu sehen. Der aktuelle Kenntnisstand der Meteorologie und der von ihr entwickelten Rechenmodelle versehen die vorliegende Arbeit mit Sinn und ordnet sie in die übergeordneten Zusammenhänge ein. Ohne eine belastbare Kenntnis der Zusammenhänge ist die Tätigkeit im Bereich von Konzepten der Energieeffizienz nur eine Entwicklung von Rechenmodellen ohne direkten Kontext zu den realen Gegebenheiten.

Dieser Kontext soll über die Entwicklung der Zielgrößen im folgenden Kapitel geschaffen werden.

Quellen Kapitel 1

- [1] D. Meadows, *Die Grenzen des Wachstums – Der Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit* (1969),
- [2] Bericht der WTO zu den weltweiten Rohstoffreserven (2004)
- [3] Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2007)
- [4] D.Meadows, MIT, *Wachstum innerhalb des Weltmodells, Die Grenzen des Wachstums* (1968)
- [5] Kurt Biedenkopf, *Die neue Sicht der Dinge* (1985)
- [6] W. Bühner: *Die Spitzenverbände der westdeutschen Industrie und die europäische Integration seit 1945: Motive, Konzepte, Politik* (1991)
- [7] Statistisches Bundesamt Deutschland (2007)
- [8] Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): *IPCC Fourth Assessment Report - Working Group I Report "The Physical Science Basis"*
- [9] Statistisches Bundesamt Deutschland: Indikatorenbericht 2008 (2008)
- [10] Artikel Süddeutsche Zeitung <http://www.sueddeutsche.de/jobkarriere/576/336425/text/>
- [11] Ecofys III - Cost-Effective Climate Protection in the EU Building Stock (2005)
- [12] Ecoinvent Datenbank für Ökobilanzen; www.ecoinvent.ch
- [13] SimaPro Softwaretool zur grafischen Darstellung von Ökobilanzen; www.simapro.de
- [14] Praktischer Umweltschutz Schweiz (PUSCH)
- [15] Statistisches Bundesamt Deutschland: *Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte*
- [16] Ganser, Alessandro: Diplomarbeit ETHZ: Ökologischer und ökonomischer Vergleich von Heizsystemen zur Umsetzung von Nachhaltigkeit im Wohnungsbau (2008)
- [17] Leitfaden Photovoltaische Anlagen, Ralf Haselhuhn und Claudia Hemmerle, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., 2005, ISBN 3-9805738-3-4
- [18] Anonym: Bewertung der Luftqualität in Innenräumen. Bundesgesundheitsblatt 36 (1993) 117-118
- [19] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Solar_Land_area.png&filetimestamp=20080702012445
- [20] Meteonorm 6.1 Meteorologische Datenbank für weltweite Klimadaten; www.meteonorm.de

Leitliteratur

Adriaanse, Albert, Stefan Bringezu, Allan Hammond, Youichi Moriguchi, Eric Rodenberg, Rogisch und Helmutz Schütz: *Ressource Flows: The Material Basis of Industrial Economies*, Washington/ USA, World Resource Institute (1997)

Biedenkopf, Kurt: *Die neue Sicht der Dinge* (1985)

Bührer, W. *Die Spitzenverbände der westdeutschen Industrie und die europäische Integration seit 1945: Motive, Konzepte, Politik* (1991)

Haselhuhn, R., Ralf und Claudia Hemmerle, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., *Leitfaden Photovoltaische Anlagen*, 2005, ISBN 3-9805738-3-4

Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC Fourth Assessment Report - Working Group I Report "The Physical Science Basis" (2007)

Meadows D.: *Die Grenzen des Wachstums – Der Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit* (1969),

Meadows D., MIT: *Wachstum innerhalb des Weltmodells, Die Grenzen des Wachstums* (1968)

Plumpe, W. (Hg.): *Wirtschaftsgeschichte* (R. Tilly) (1986)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zeiträume Rohstoffe	3
Tabelle 2: Bauphysikalische Daten der verwendeten Baustoffe	19
Tabelle 3: Bauphysikalische Daten der haustechnischen Heizanlagen	20
Tabelle 4: Bauphysikalische Daten der verwendeten Solarzellen.....	21
Tabelle 5: Bauphysikalische Daten der verwendeten Fenster	21
Tabelle 6: Parameter eines Gebäudes.....	23
Tabelle 7: Klimadaten von Berlin.....	28

Grafikverzeichnis

Grafik 1: Zeiträume Rohstoffe	3
Grafik 2: Prinzipdarstellung einer optimalen Kombination von Initialaufwand und laufendem Verbrauch.....	12
Grafik 3: Prinzipdarstellung eines Vergleichs auf der Basis verschiedener Bilanzierungsgrundlagen.....	14
Grafik 4: Darstellung des kumulierten Energieaufwandes/ Graue Energie über SimaPro/ Ecolnvent	17
Grafik 5: Zuschlag für Fehlstellen in der Hülle	25
Grafik 6: Solare mittlere Einstrahlung der Erde.....	27

Inhaltsverzeichnis Kapitel 2

2. Einleitung.....	34
2.1 Terminologie des IPCC Berichtes	35
2.1.1 Die SRES Szenarien	35
2.2 Belastbarkeit der meteorologischen Rechenmodelle	37
2.2.1 Einflussfaktoren innerhalb der Rechenmodelle	37
2.3 Aus den meteorologischen Erkenntnissen resultierende Zielgrößen	39
2.3.1 Auswirkungen der globalen Treibhausgaskonzentrationen	39
2.3.2 Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen	40
2.3.3 Rückspeicherkapazitäten und ihre Veränderungen durch den Klimawandel.....	41
2.3.4 Systemübergreifende Prognosen für die zukünftige Entwicklung des Klimas	41
2.3.5 Übertragung der Datenlage auf personenbezogene zulässige CO ₂ -Mengen.....	42
2.4 Folgen eines Nichterreichens der Zielsetzungen	44
2.4.1 Sinnhaftigkeit einer festen Grenze von 3 Tonnen CO ₂ e/a p und Zielsetzung.....	46
2.5 Aktuelle Spielräume persönlicher Emissionsbilanzen.....	47
2.5.1 Persönliche Emissionsbilanz nach Lebensstil	47
2.5.2 Persönliche Emissionsbilanz nach Haushaltsform	49
2.6Fazit	50
2.6.1 Lösungsansätze zur Begrenzung der weltweiten Emissionen.....	51
2.3 Aufbau der weiteren Arbeit.....	52

2. Einleitung

Der Klimawandel als greifbarer Indikator für die Belastung der ökologischen Systems Erde ist in der öffentlichen Diskussion eng mit der Forderung nach Energieeinsparung verbunden. Umgekehrt wird die Notwendigkeit von Energiesparmaßnahmen fast immer mit einem Aspekt des Umwelt- oder Klimaschutzes begründet. Die genauen Auswirkungen und Interaktionen, insbesondere von Emissionen durch Energieverbrauch und Klimawandel sind so komplex, dass jenseits des Bekenntnisses zur Energieeinsparung von Architekten wenige konkrete Zielsetzungen formuliert werden. Die vorhandenen Zielsetzungen der Vereinten Nationen und einzelner Länder widersprechen sich teilweise stark, was mutmaßlich durch abweichende Interessen der zugrunde liegenden Studien zu erklären ist. [1] [2]

Insbesondere an der Schnittstelle von meteorologischen Erkenntnissen und den Entscheidungsmöglichkeiten von Architekten bei der Gebäudeplanung will die vorliegende Arbeit durch eine Zusammenfassung der für Architekten relevanten Klimafaktoren klarere Zielsetzungen und Argumentationsmöglichkeiten zu ermöglichen.

Vorgehensweise

Da der Bericht des IPCC die Grundlage des folgenden Kapitels bildet wird unter 2.1 zuerst in die verwendete Terminologie des Berichtes eingeführt. Anschließend werden aus der Sicht eines Architekten die Kernpunkte des Berichtes diskutiert.

Die Fragestellungen an die globalen Rahmenbedingungen können wie folgt strukturiert werden

- 2.2 Belastbarkeit der aktuellen Aussagen zu Klimawandel und seinen Ursachen.
Für die Verwendung der globalen Situation als Ausgangsbasis für die weitere Arbeit ist zu ermitteln wie belastbar die aktuellen Erkenntnisse sind.
- 2.3 Aus den aktuellen Aussagen resultierende Zielgrößen.
Aus den meteorologischen Grundlagen sind die personenbezogenen Zielgrößen zu ermitteln um auf der Basis eines Wohnhauses argumentieren zu können.
- 2.4 Folgen des Klimawandels
Um die Relevanz der Arbeit beurteilen zu können ist zu ermitteln welche Konsequenzen nach aktuellem Kenntnisstand ein Nichterreichen der Zielgrößen nach sich zieht.

Anschließend wird anhand des wissenschaftlich belastbar vorliegenden Nutzerspektrums in Deutschland die endgültige personenbezogene Vergleichsgröße ermittelt.

- 2.5 Spektrum persönlicher Emissionsbilanzen

2.1 Terminologie des IPCC Berichtes

Durch eine Zusammenfassung der Kernaussagen des Berichtes des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimawandel (IPCC) [3] sollen im Folgenden die Genauigkeit der meteorologischen Vorhersagen und die Art der ihnen zugrunde liegenden Parameter aufgezeigt werden. Ziel dieser Zusammenfassung ist es die durch Gebäude beeinflussten Faktoren in ihrer Relevanz einordnen zu können um eine Zielsetzung für die folgende Arbeit formulieren zu können.

Das IPCC betreibt selbst keine Wissenschaft, sondern trägt die Ergebnisse der Forschungen in den verschiedenen Disziplinen zusammen, darunter besonders der Klimatologie. Es bildet eine kohärente Darstellung dieses Materials in so genannten Wissensstandberichten ab, englisch "IPCC Assessment Reports". Aufgrund der resultierenden enormen Menge an Originalquellen und dem Bericht zugrunde liegenden Forschungsarbeiten werden im Folgenden nur die wichtigsten Quellen aufgeführt. Der Bericht selbst bildet die zentrale Quelle der erfolgten Zusammenfassung.

Der Bericht des IPCC nutzt in der Zusammenfassung zur leichteren Lesbarkeit die folgenden Begriffe um die Beurteilung der Richtigkeit der zugrunde liegenden Wissenschaft durch die Experten auszudrücken:

- Sehr hohes Vertrauen: Die Aussage ist in mindestens 9 von 10 Fällen richtig
- Hohes Vertrauen: Die Aussage ist in mindestens 8 von 10 Fällen richtig
- Mittleres Vertrauen: Die Aussage ist in mindestens 6 von 10 Fällen richtig
- Geringes Vertrauen: Die Aussage ist in mindestens 3 von 10 Fällen richtig
- Sehr geringes Vertrauen: Die Aussage ist in mindestens 2 von 10 Fällen richtig

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Zusammenstellung der für den Gebäudebereich relevanten Erkenntnisse nutzt die gleiche Begriffe, auch um die Aussagen der Berichtes korrekt wiederzugeben und nicht zu verfälschen.

2.1.1 Die SRES Szenarien

SRES bezieht sich auf die Szenarien, die im IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (Special Report on Emission Scenarios, SRES; IPCC, 2000) beschrieben wurden. Die SRES-Szenarien sind in vier Szenarien-Familien zusammengefasst (A1, A2, B1 und B2), die alternativen Entwicklungspfade untersuchen, wobei eine große Bandbreite an demographischen, wirtschaftlichen und technologischen Antriebskräften und den sich daraus ergebenden THG-Emissionen abgedeckt wird. Die SRESSzenarien beinhalten keine zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen über die jetzigen hinaus. Die Emissionsprojektionen werden für Abschätzungen zukünftigen Klimawandels intensiv genutzt, und ihre zugrundeliegenden Annahmen bezüglich sozioökonomischen, demographischen und technologischen Wandels dienen als Ausgangsmaterial für viele neuere Abschätzungen von Verwundbarkeit gegenüber Klimawandel und von Auswirkungen. Die A1-Modellgeschichte geht aus von einer Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer in der Mitte des Jahrhunderts den Höchststand erreichenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung, und rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. A1 teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen des Technologiewandels beschreiben: fossil-intensiv (A1FI), nicht fossile Energieträger (A1T) und eine ausgewogene Nutzung aller Quellen (A1B). B1 beschreibt eine sich näher kommende (konvergente) Welt mit der gleichen Weltbevölkerung wie in A1, jedoch mit rascheren Änderungen der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft. B2 beschreibt eine Welt mit Bevölkerung und Wirtschaftswachstum mittlerer Größe, mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. A2 beschreibt eine sehr heterogene Welt mit hohem Bevölkerungswachstum, langsamer wirtschaftlicher Entwicklung und langsamem Technologiewandel. Keinem der SRES Szenarien wurden Wahrscheinlichkeiten zugeordnet.

Die SRES-Szenarien projizieren einen Anstieg der Referenzwerte globaler THG-Emissionen in einer Bandbreite von 9,7 bis 36,7 Gt CO₂-Äq. (25–90%) zwischen 2000 und 2030. In diesen Szenarien wird projiziert, dass die Dominanz fossiler Brennstoffe im weltweiten Energiemix bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus anhält. Daher wird für die CO₂-Emissionen aus dem Energieverbrauch zwischen 2000 und 2030 ein Wachstum von 40–110% projiziert. Nach dem SRES veröffentlichte Untersuchungen (d.h. post-SRES-Szenarien) haben niedrigere Werte

für einige Emissionsantriebe eingesetzt, vor allem für Bevölkerungsentwicklungen. Jedoch ergaben in Untersuchungen, die diese neuen Bevölkerungsprojektionen einbezogen hatten, Änderungen in anderen Antrieben, wie z.B. dem Wirtschaftswachstum, nur geringe Änderungen in den Gesamtemissionen. Projektionen des Wirtschaftswachstums in Afrika, Lateinamerika und dem Mittleren Osten bis 2030 sind in den post-SRES-Szenarien niedriger als im SRES, aber dies hat nur geringe Auswirkungen auf das globale Wirtschaftswachstum und die Gesamtemissionen, weshalb im Folgenden nur auf die Kernszenarien eingegangen werden soll.

Da die Ungenauigkeit der Annahmen mit der zeitlichen Distanz deutlich zunimmt wird darauf verzichtet, die Modelle über den Zeitraum von 100 Jahren zu erweitern.

Kernfaktoren sind neben den oben genannten Parametern die Geschwindigkeit der Orientierung zu nicht fossilen Energieträgern und der Wandel der Industrienationen zu Informations- und Dienstleistungsorientierten Gesellschaften. Beide Faktoren könnten mittelfristig zu einer Treibhausgaskonzentration von etwa 55 – 60 Gt CO₂-Äq bei langfristig abnehmender Konzentration führen (Szenarien B1 und A1T).

Sowohl eine Abnahme der Bedeutung von Schwerindustrie als auch eine Umorientierung von fossilen auf nachwachsende Rohstoffe birgt enormes Potential zum Klimaschutz.

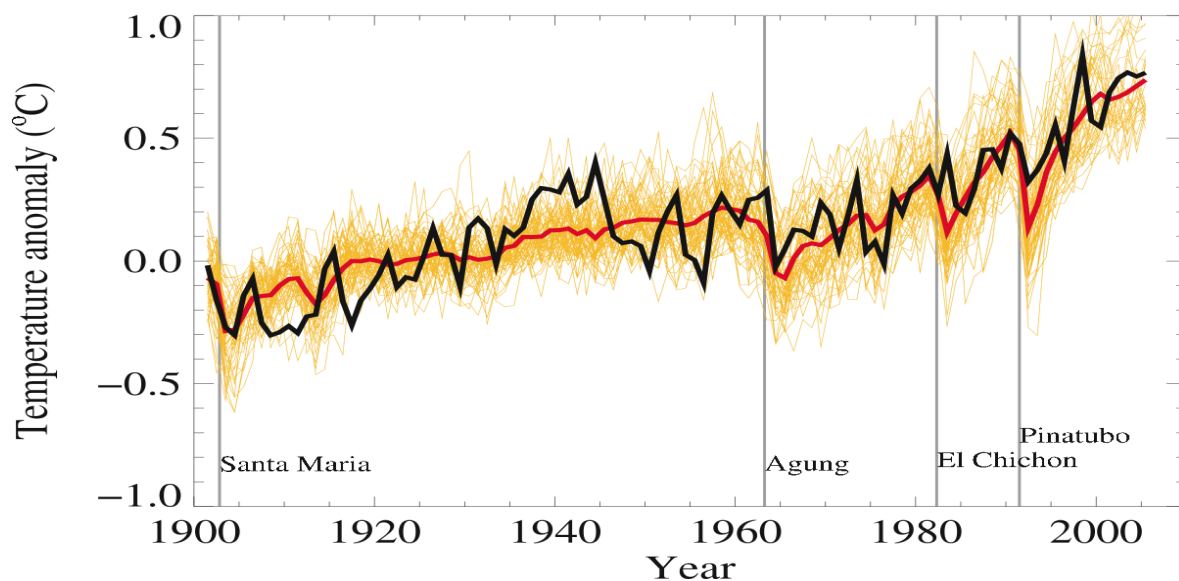
2.2 Belastbarkeit der meteorologischen Rechenmodelle

Bei der Evaluierung der für die Klimaveränderung relevanten Parameter stehen der Meteorologie heute in hohem Maße belastbare Modelle zur Verfügung. Als Beleg dient ein Abgleich der verschiedenen Rechenmodelle mit den realen Klimadaten der letzten 100 Jahre [Grafik 1]. Die in einzelnen Modellen noch vorhandenen Abweichungen von bis zu $0,5^{\circ}\text{C}$ schrumpfen im Mittel auf $0,3^{\circ}\text{C}$ zusammen. Der Trend ab 1960 wird mit hoher Genauigkeit abgebildet. Der Grad des wissenschaftlichen Vertrauens in die Rechenmodelle wird als *sehr hoch* bezeichnet.

Trotzdem wird der Zusammenhang nach wie vor von einigen Interessengruppen als nicht stichhaltig abgelehnt. Dies erscheint angesichts des allgemeinen Vertrauens in sehr viel ungenauere Prognosen nicht nachvollziehbar. Auf der Basis der jährlichen Schätzungen des Wirtschaftswachstums und der assoziierten Steuerprognosen werden politische Leitlinien beschlossen, Mittel zugewiesen, Gesetze erlassen und ein Staatshaushalt verabschiedet. Die Ungenauigkeit ist, wie wir den Steuerüberraschungen der letzten Jahre entnehmen können, relativ groß. So haben die Finanzämter im Februar 2006 laut eines Artikels von Focus Money Online 4,1 % mehr eingenommen als durch Prognosen auf der Basis des letzten Jahres veranschlagt. [4]

Die Vorgehensweise wird mit der Notwendigkeit verteidigt zur Zukunftsplanung eine erste Annahme zu benötigen. Die Unschärfe in der Genauigkeit wird nicht bestritten. Gehandelt wird trotzdem. Der Grad des wissenschaftlichen Vertrauens in den geplanten Jahreshaushalt ist deutlich geringer als die Belastbarkeit der meteorologischen Modelle. Die Steuerschätzungen sind so genau wie möglich. Also finden sie Verwendung und bilden die Basis unseres Handelns.

Bei allen noch möglichen Fehlerquellen in den Klimamodellen gilt das gleiche wie für die Steuerschätzungen. Sie sind so genau wie momentan möglich. Es sollte auf ihrer Basis gehandelt werden. Diese Arbeit geht von den im Bericht der IPCC geschilderten Datenlage und den dargestellten Genauigkeiten aus. Im Bereich von Fehlerquoten wird von einer möglichst ungünstigen Sachlage ausgegangen.



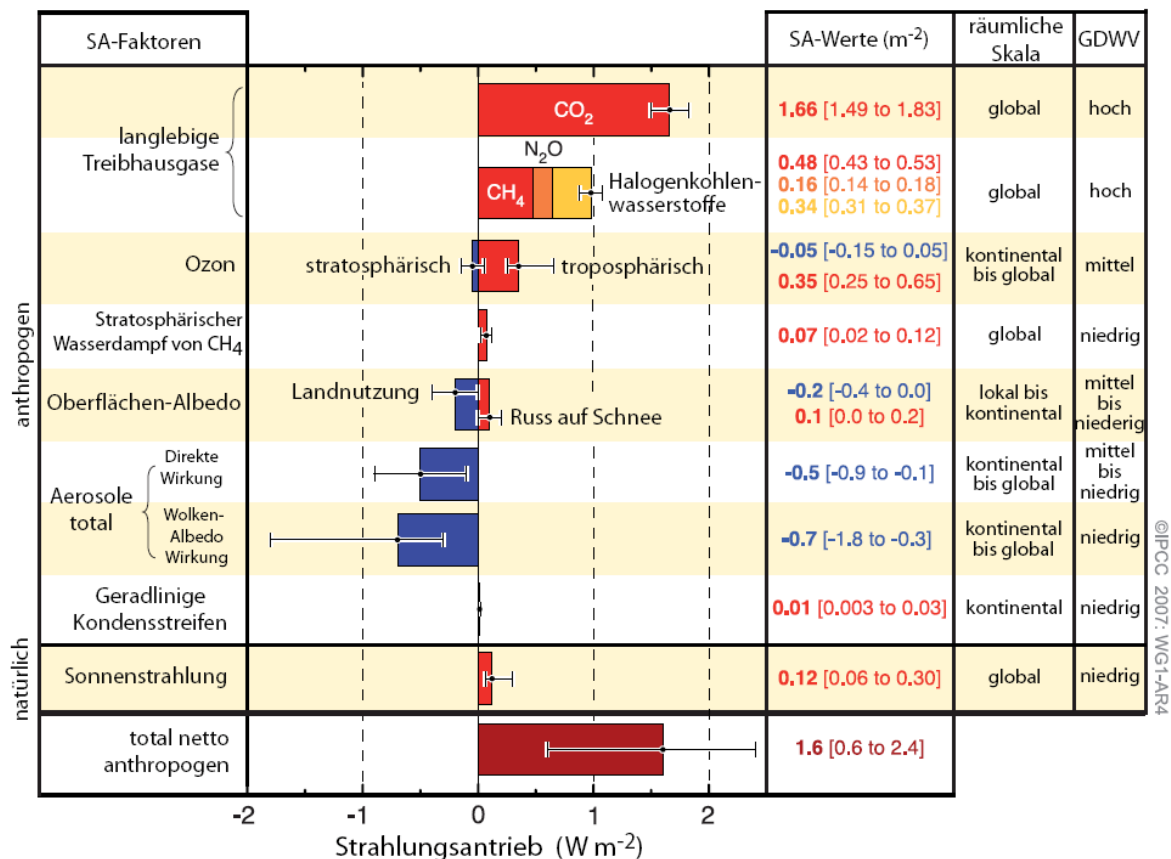
Grafik 1. Globale mittlere, bodennahe Temperatur im 20ten Jahrhundert auf der Basis von Beobachtungen (schwarz) und als Ergebnis von 58 Simulationen auf der Basis von 14 verschiedenen Klimamodellen mit sowohl natürlichen und menschlichen Klimafaktoren (gelb). Der durchschnittliche Temperaturverlauf der 58 Simulationen ist als dicke rote Linie dargestellt. Temperaturabweichungen sind in Relation zur Durchschnittstemperatur der Jahre 1901 bis 1950 abgebildet. Die vertikalen grauen Linien zeigen das Auftreten signifikanter vulkanischer Eruptionen.

2.2.1 Einflussfaktoren innerhalb der Rechenmodelle

Der Strahlungsantrieb ist ein Maß für den Einfluss, den ein Faktor auf die Änderung des Gleichgewichts von einfallender und abgehender Energie im System Erde-Atmosphäre hat, und ist ein Anzeichen für die Bedeutung eines Faktors als potentieller Klimaänderungsmechanismus. In diesem Bericht sind Werte für den Strahlungsantrieb bezogen auf Änderungen gegenüber vorindustrieller Werte (definiert im Jahr 1750) abgebildet. Sie werden in Watt pro Quadratmeter (W/m^2) ausgedrückt.

Dem Strahlungsantrieb beschreibt das Ungleichgewicht von Energieeintrag und Energieverlusten des Systems Erde. Entsprechen sich Energieeintrag und Energieverluste, so bleibt die globale Mitteltemperatur konstant und der Strahlungsantrieb ist null. Entsprechen sich die beiden Größen nicht, so verändert sich die globale Mitteltemperatur entsprechend.

Die folgende Grafik bildet die bekannten Einflussfaktoren auf den Strahlungsantrieb und ihren Effekt ab:



Grafik 2: Global gemittelter Strahlungsantrieb (SA) im Jahr 2005 gegenüber 1750 (beste Schätzwerte und 5-95% Unsicherheitsbereiche) für CO_2 , CH_4 , N_2O und andere wichtige Faktoren und Mechanismen, zusammen mit der typischen geographischen Ausdehnung (räumliche Skala) des Antriebs und einer Beurteilung des Grades des wissenschaftlichen Verständnisses (GDVV). Aerosole aus explosiven Vulkanausbrüchen führen zu einer zusätzlichen episodischen Abkühlungsphase für ein paar Jahre nach einer Eruption. Die Bandbreite geradliniger Kondensstreifen schließt keine anderen möglichen Effekte der Luftfahrt auf die Bewölkung mit ein.

Die Zusammensetzung des Strahlungsantriebs macht die Rolle der langlebigen Treibhausgase deutlich. In der Summe betragen sie allein $2,64 \text{ W/m}^2$ bis $2,91 \text{ W/m}^2$. Auch ist hervorzuheben, dass der Grad des Wissenschaftlichen Verständnisses in diesem Bereich *hoch*, die möglichen Fehlerquoten also vergleichsweise niedrig sind. Es besteht *sehr hohes* Vertrauen darin, dass der globale durchschnittliche Nettoeffekt menschlicher Aktivitäten seit 1750 eine Erwärmung war, mit einem Strahlungsantrieb von $+1,6$ [$+0,6$ bis $+2,4$] W/m^2 .

Der gesamte Strahlungsantrieb aufgrund der Zunahmen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas beträgt $+2,3$ [$+2,1$ bis $+2,5$] W/m^2 , und seine Wachstumsrate während des Industriezeitalters ist sehr wahrscheinlich seit über 10000 Jahren beispiellos. Der Strahlungsantrieb durch Kohlendioxid ist zwischen 1995 und 2005 um 20% angestiegen, was die größte Änderung innerhalb eines Jahrzehnts während mindestens der letzten 200 Jahre darstellt. Die anthropogenen Beiträge zu Aerosolen (vor allem Sulfat, organischer Kohlenstoff, Ruß, Nitrat und Staub) erzeugen zusammengekommen einen kühlenden Effekt mit einem gesamten direkten Strahlungsantrieb von $-0,5$ [$-0,9$ bis $-0,1$] W/m^2 und einem indirekten Strahlungsantrieb durch Wolkenalbedo von $-0,7$ [$-1,8$ bis $-0,3$] W/m^2 . Aerosole beeinflussen auch den Niederschlag. Im Vergleich dazu wird der seit 1750 durch Änderungen der Sonneneinstrahlung verursachte geringe Strahlungsantrieb auf $+0,12$ [$+0,06$ bis $+0,30$] W/m^2 veranschlagt. Der Faktor der zunehmenden Sonnenaktivität, welcher in der Diskussion als alternative Erklärung der globalen Erwärmung angeführt wurde ist nach aktuellem Forschungsstand als alleiniger Grund auszuschließen. [5][6][7][8][9]

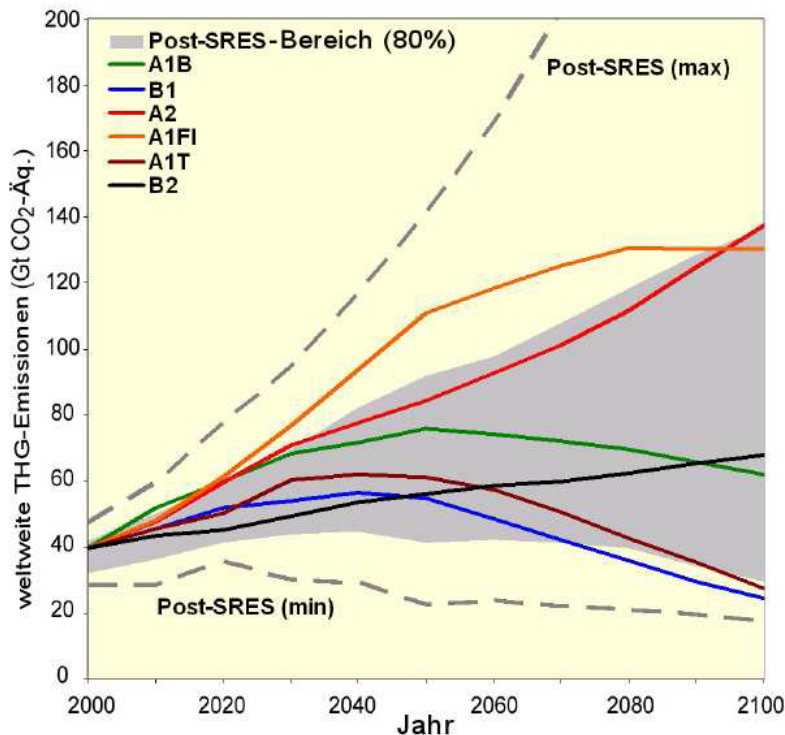
Gebäude beeinflussen das Klima vor allem durch Emissionen die aus Energieverbrauch resultieren. Nachdem die Belastbarkeit und Relevanz dieser Erkenntnisse aufgezeigt wurden wird im Folgenden eine Zielsetzung für maximale Emissionsmengen diskutiert.

2.3 Aus den meteorologischen Erkenntnissen resultierende Zielgrößen

Die globale atmosphärische Kohlendioxidkonzentration ist von einem vorindustriellen Wert von etwa 280 ppm auf 379 ppm im Jahr 2005 angestiegen. Die jährliche Wachstumsrate der Kohlendioxidkonzentration war während der letzten zehn Jahre (Durchschnitt 1995–2005: 1,9 ppm pro Jahr) größer als während des Zeitraums seit Beginn der kontinuierlichen direkten atmosphärischen Messungen (Durchschnitt 1960–2005: 1,4 ppm pro Jahr), auch wenn die Wachstumsrate von Jahr zu Jahr schwankt. [10] [11]

Die Schwierigkeit bei der Prognose zukünftiger Klimaveränderungen ist nicht im Bereich der korrekten Abbildung der oben beschriebenen Parameter zu sehen sondern in der präzisen Vorhersage ihrer Entwicklung. Als zentrale Rahmenbedingungen sind hier die Entwicklung der Weltbevölkerung und das Ausmaß der industriellen Ambitionen der einzelnen Länder zu sehen. Um den möglichen Spielraum abzubilden wurden von den Vereinten Nationen die SRES-Szenarien entwickelt (Definition der zugrunde liegenden Parameter siehe unten).

Die folgende Grafik bildet die globalen Treibhausgaskonzentrationen in Abhängigkeit der verschiedenen Szenarien ab:



Grafik 3: Weltweite THG-Emissionen (in CO₂-Äq. pro Jahr) ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen: sechs beispielhafte SRES-Markerszenarien (farbige Linien) und der 80. Perzentil-Bereich neuerer Szenarien, die nach dem SRES veröffentlicht wurden (post-SRES) (grau schattierter Bereich). Gestrichelte Linien zeigen die gesamte Bandbreite der post SRES-Szenarien. Die Emissionen decken CO₂, CH₄, N₂O und F-Gase ab.

2.3.1 Auswirkungen der globalen Treibhausgaskonzentrationen

Der Anstieg der globalen Treibhausgaskonzentration hat als direkte Folge eine Veränderung der globalen mittleren bodennahen Temperatur zur Folge. Aufgrund der Trägheit des gesamten Systems ist eine Klimaerwärmung generell nicht mehr zu verhindern. Die bis zum heutigen Tag emittierten Treibhausgase verfügen teilweise über eine lange Lebensdauer, so dass auch ohne weiteres Ansteigen der Treibhausgaskonzentrationen eine Erwärmung um ca. 0,6°C nicht mehr abzuwenden ist. Die Annahme konstant verlaufender Emissionen muss als extrem unrealistisch gelten. Weder Bevölkerungswachstum noch die industrielle Entwicklung werden sich abrupt stoppen lassen. Die folgende Tabelle führt die erwartete Temperaturerwärmung und den Anstieg des Meeresspiegels als eine der unmittelbaren Folgen nach den oben beschriebenen SRES Referenzszenarien auf.

Fall	Temperaturänderung (°C; 2090–2099 verglichen mit 1980–1999) ^{a, d}		Meeresspiegelanstieg (m; 2090–2099 verglichen mit 1980–1999)
	Beste Schätzung	Wahrscheinliche Bandbreite	Modellbasierte Bandbreite ohne zukünftige rapide Änderungen des Eisflusses
Konstante Jahr-2000-Konzentrationen ^b	0.6	0.3 – 0.9	NA
B1-Szenario	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T-Szenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2-Szenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B-Szenario	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2-Szenario	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI-Szenario	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

Tabelle 1: Auswirkungen der globalen Treibhauskonzentration

a) Diese Schätzungen wurden basierend auf einer Hierarchie von Modellen vorgenommen, welche ein einfaches Klimamodell, mehrere Modelle mittlerer Komplexität (EMICS) und eine große Anzahl von Globalen Atmosphäre-Ozean-Klimamodellen (AOGCMs) sowie Einschränkungen hinsichtlich der Beobachtungen umfassen.

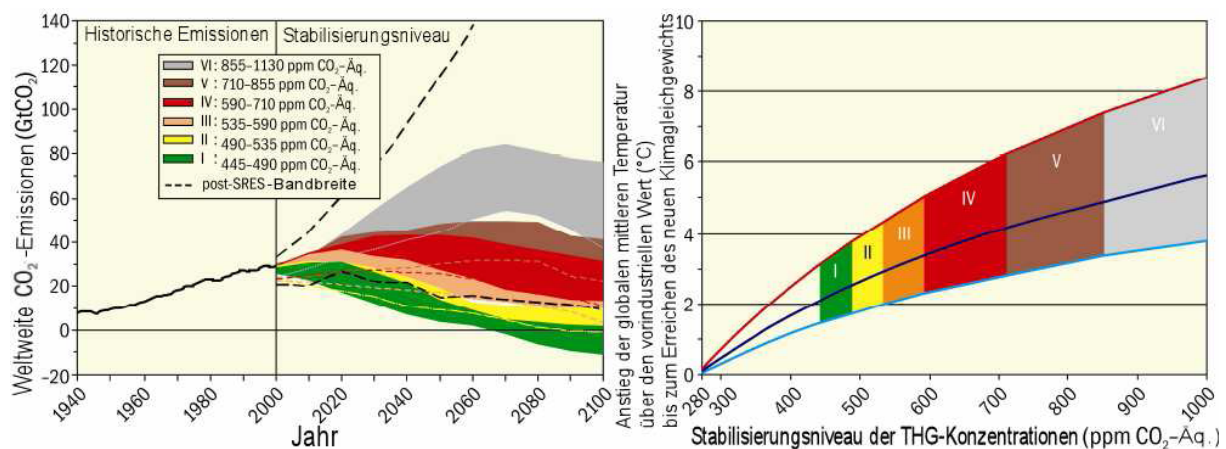
b) Die Zahlen für den Fall konstanter Jahr-2000-Konzentrationen wurden nur aus AOGCMs abgeleitet.

c) Alle oben aufgeführten Szenarien sind sechs SRES-Musterszenarien. Die näherungsweise CO₂-Äquivalentkonzentrationen, die den berechneten Strahlungsantrieben aufgrund anthropogener THGs und Aerosole im Jahr 2100 entsprechen (siehe S. 823 des TAR), liegen für die beispielhaften Musterszenarien SRES B1, A1T, B2, A1B, A2 und A1FI jeweils bei etwa 600, 700, 800, 850, 1250 und 1550 ppm.

d) Temperaturänderungen sind als Abweichung gegenüber dem Zeitraum 1980–1999 ausgedrückt.

2.3.2 Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen

Abhängig vom jährlichen Emissionsaufkommen wird sich die Konzentration der Treibhausgase auf einem Niveau einpendeln, welches aufgrund der Trägheit des Systems als stabil bezeichnet wird. Jeder Treibhausgaskonzentration kann mit einer gewissen Unschärfe eine mittlere globale Temperaturveränderung zugeordnet werden. Der Begriff Stabilisierung ist in diesem Zusammenhang etwas irreführend. Die Temperaturveränderung folgt der Veränderung der Treibhausgase mit einer gewissen Verzögerung. Eine stabile Globale Mitteltemperatur setzt deshalb eine stabile Treibhausgaskonzentration (und alle anderen Parameter ebenfalls auf stabilem Niveau) und diese wiederum eine stabile, ausgeglichene jährliche Emissionsbilanz voraus. Da diese Rahmenbedingungen unrealistisch sind, ist von einer weiteren Schwankung des Systems auszugehen. Es gilt diese Abweichungen in einem für Menschen und Umwelt vertretbaren Rahmen zu halten. Die im Folgenden behandelten Szenarien werden (unabhängig von den Ihnen zugrunde liegenden SRES Szenarien) nur nach ihren Stabilisierungsniveaus behandelt.



Grafik 6: Globale CO₂-Emissionen für den Zeitraum 1940–2000 und Emissionsbandbreiten für Kategorien von Stabilisierungsszenarien von 2000 bis 2100 (linke Tafel); und die entsprechende Beziehung zwischen Stabilisierungsziel und des wahrscheinlichen Anstiegs der mittleren globalen Temperatur über den vorindustriellen Wert bis zum Erreichen eines neuen Gleichgewichts (rechte Tafel). Die Annäherung an das Gleichgewicht kann mehrere Jahrhunderte dauern, insbesondere für Szenarien mit höheren Stabilisierungsniveaus. Farbige Schattierungen geben die Stabilisierungsszenarien nach unterschiedlichen Zielen gruppiert an (Stabilisierungskategorie I bis VI). Die rechte Tafel zeigt Bereiche der Änderung der mittleren globalen Temperatur oberhalb vorindustrieller Werte unter der Verwendung von (i) „der bestmöglichen Abschätzung“ der Klimasensitivität von 3 °C (schwarze Linie in der Mitte des gefärbten Bereichs), (ii) der oberen Grenze der wahrscheinlichen Bandbreite der Klimasensitivität von 4,5 °C (rote Linie am oberen Rand des gefärbten Bereichs).

Bereichs) und (iii) der unteren Grenze der wahrscheinlichen Bandbreite der Klimasensitivität von 2 °C (blaue Linie am unteren Rand des gefärbten Bereichs). Schwarze gestrichelte Linien in der linken Tafel geben die Emissionsbandbreite neuer Referenzszenarien an, die seit dem SRES (2000) veröffentlicht wurden. Emissionsbandbreiten der Stabilisierungsszenarien umfassen Nur-CO₂- und Multi-Gas- Szenarien und entsprechen den 10.-90. Perzentilen der vollen Szenarienverteilung. Anmerkung: In den meisten Modellen schließen CO₂-Emissionen weder die Emissionen aus der Zersetzung von oberirdischer Biomasse, die nach Abholzung und Entwaldung zurückbleibt, noch aus Torffeuern und entwässerten Torfböden mit ein.

2.3.3 Rückspeicherkapazitäten und ihre Veränderungen durch den Klimawandel

Rückkopplungen zwischen dem Kohlenstoffkreislauf und dem Klimawandel beeinflussen die als Reaktion auf den Klimawandel nötige Emissionsminderung und Anpassung. Man erwartet, dass die Klima-Kohlenstoffkreislauf-Kopplung den Anteil der anthropogenen Emissionen, der in der Atmosphäre verbleibt, mit der Erwärmung des Klimasystems steigen lässt, aber Emissionsminderungsstudien haben die volle Bandbreite dieser Rückkopplungen noch nicht erfasst. Daher könnten die Emissionsminderungen, die laut den in Tabelle 5.1 bewerteten Emissionsminderungsstudien für die Erreichung eines bestimmten Stabilisierungsniveaus nötig sind, zu niedrig angesetzt sein. Modellstudien, die auf dem aktuellen Verständnis der Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplung basieren, legen nahe, dass zur Stabilisierung der Kohlendioxidkonzentrationen auf z.B. 450 ppm³³ über das 21. Jahrhundert kumulierte Emissionen von weniger als 1800 [1370 bis 2200] Gt CO₂ nötig sein könnten, was etwa 27% weniger als die 2460 [2310 bis 2600] Gt CO₂ wäre, die ohne Berücksichtigung von Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen ermittelt wurden. [26]

2.3.4 Systemübergreifende Prognosen für die zukünftige Entwicklung des Klimas

In Abhängigkeit der oben beschriebenen Restunsicherheiten können als Mittelwerte einer Vielzahl von Szenarien und Rechenmodellen für die einzelnen Stabilisierungsniveaus folgende Konsequenzen prognostiziert werden, welche auch als Parameter für diese Arbeit zu Grunde gelegt werden. In diese Annahmen besteht nach Ansicht des IPCC ein *sehr hohes* Maß an Vertrauen.

Kategorie	CO ₂ -Konzentration bei Stabilisierung (2005 = 379 ppm) ^(b)	CO ₂ -Äq.-Konzentration bei Stabilisierung einschließlich THGs und Aerosole (2005 = 375 ppm) ^(b)	Jahr maximaler CO ₂ -Emissionen ^(a, c)	Änderung globaler CO ₂ -Emissionen im Jahr 2050 (% der Emissionen in 2000) ^(a, c)	Mittlerer globaler Gleichgewichtstemperaturanstieg über die vorindustriellen Werte unter der Verwendungs einer „bestmöglichen Abschätzung“ der Klimasensitivität ^(d, e)	Mittlerer globaler Gleichgewichtsmeeresspiegelanstieg über die vorindustriellen Werte nur aus Wärmeausdehnung ^(f)	Anzahl bewerteter Szenarien
	ppm	ppm	Jahr	Prozent	°C	Meter	
I	350-400	445-490	2000-2015	-85 bis -50	2,0-2,4	0,4-1,4	6
II	400-440	490-535	2000-2020	-60 bis -30	2,4-2,8	0,5-1,7	18
III	440-485	535-590	2010-2030	-30 bis +5	2,8-3,2	0,6-1,9	21
IV	485-570	590-710	2020-2060	+10 bis +60	3,2-4,0	0,6-2,4	118
V	570-660	710-855	2050-2080	+25 bis +85	4,0-4,9	0,8-2,9	9
VI	660-790	855-1130	2060-2090	+90 bis +140	4,9-6,1	1,0-3,7	5

Tabelle 2: Systemübergreifende Prognosen

a) Die Emissionen zur Erreichung eines bestimmten Stabilisierungsniveaus, die in den hier bewerteten Emissionsminderungsstudien genannt sind, können aufgrund fehlender Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen unterschätzt sein (siehe auch Thema 2).

b) Atmosphärische CO₂-Konzentrationen lagen im Jahr 2005 bei 379 ppm. Die beste Schätzung der gesamten CO₂-Äq.-Konzentration für alle langlebigen THG im Jahr 2005 liegt bei etwa 445 ppm, während der entsprechende Wert inklusive des Nettoeffekts aller anthropogenen Antriebsfaktoren 375 ppm CO₂ Äq. beträgt.

c) Die Bandbreiten entsprechen dem Bereich vom 15. bis zum 85. Perzentil der Verteilung von post-TARSSzenarien. CO₂-Emissionen sind ebenfalls angegeben, damit Multi-Gas-Szenarien mit Nur-CO₂-Szenarien verglichen werden können (siehe Abbildung SPM.3).

d) Die bestmögliche Schätzung der Klimasensitivität beträgt 3 °C.

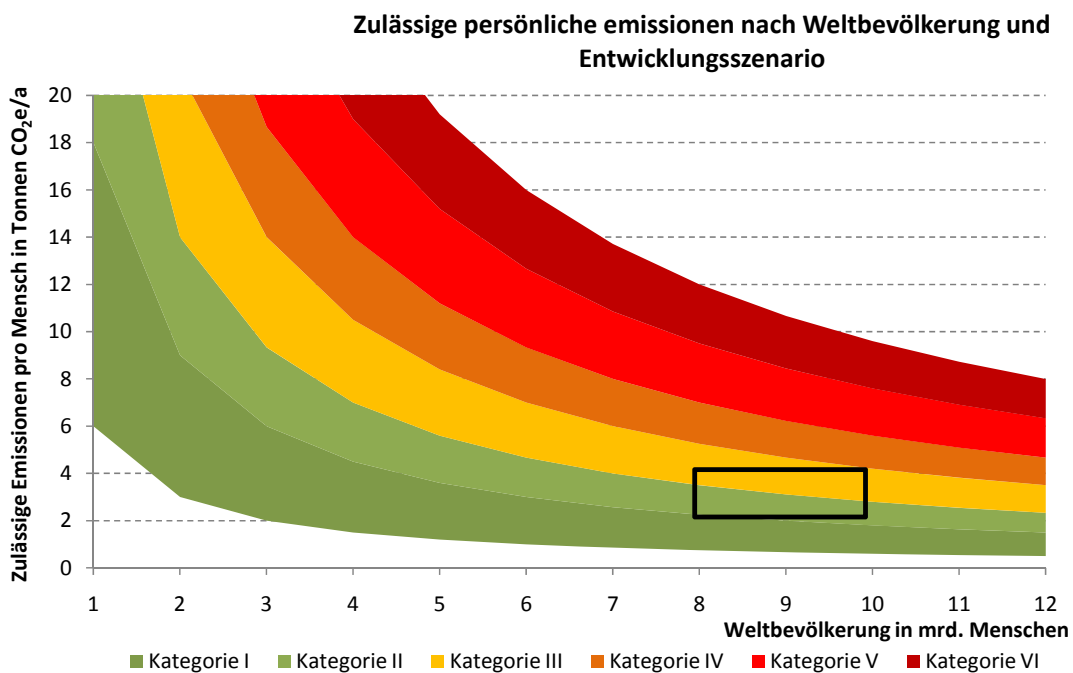
e) Es ist zu beachten, dass die mittlere globale Gleichgewichtstemperatur sich aufgrund der Tragheit des Klimasystems von der erwarteten mittleren globalen Temperatur zum Zeitpunkt der Stabilisierung von THGKonzentrationen unterscheidet. In den meisten der bewerteten Szenarien tritt die Stabilisierung der THGKonzentrationen zwischen 2100 und 2150 ein (siehe auch Fußnote 32).

f) Der Gleichgewichtsmeeresspiegelanstieg bezieht sich nur auf den Beitrag der Wärmeausdehnung der Ozeane und erreicht mindestens viele Jahrhunderte lang kein Gleichgewicht. Diese Werte sind mit relativ einfachen Klimamodellen abgeschätzt worden (ein AOGCM niedriger Auflösung und mehrere EMICs auf der Basis des besten Schätzwerts von 3 °C Klimasensitivität) und schließen keine Beiträge von schmelzenden Eisschilden, Gletschern

und Eiskappen ein. Für die langfristige Warmausdehnung wird projiziert, dass sie zu 0,2 bis 0,6 m pro Grad Celsius globaler Durchschnittserwärmung über vorindustrielle Werte führt. (AOGCM bedeutet „Atmosphere Ocean General Circulation Model“ (allgemeines Atmosphären-Ozean- Zirkulationsmodell) und EMICs „Earth System Models of Intermediate Complexity“ (Erdsystemmodelle mittlerer Komplexität).)

2.3.5 Übertragung der Datenlage auf personenbezogene zulässige CO₂-Mengen

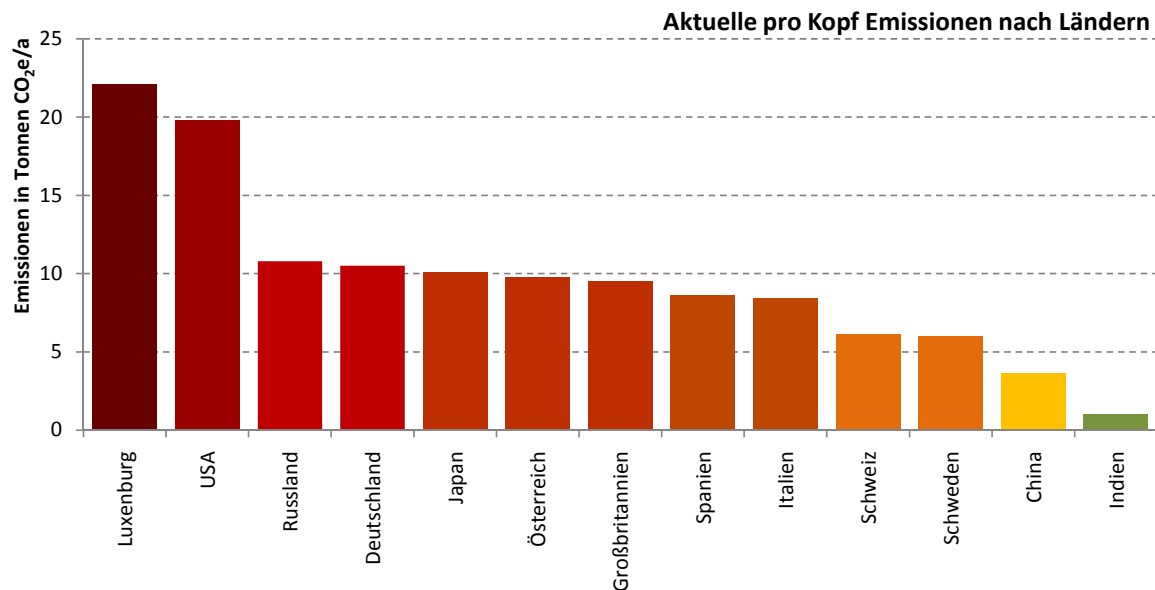
In Kombination mit der Entwicklung der Weltbevölkerung kann auf diesem Stand auf persönliche Emissionskapazitäten geschlossen werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Entwicklung der Weltbevölkerung in den oben beschriebenen Szenarien als wichtiger Faktor enthalten ist. Manche Kombinationen von Weltbevölkerung und Stabilisierungsszenario sind deshalb unrealistisch. Im realistischen Bereich einer Weltbevölkerung von mittelfristig 8 bis 10 mrd. Menschen können jedoch alle SRES Szenarien (die A1-Reihe tendiert zu >10 mrd.) verwendet werden. Aus der einfachen Abhängigkeit von Weltbevölkerung und globaler, akzeptierter Treibhausgaskonzentration ergeben sich bei gleicher Zuweisung die in der Grafik dargestellten persönlichen Emissionskapazitäten:



Grafik 7: Zulässige Emissionen pro Person nach Gesamtbevölkerung

Der schwarze Rahmen markiert für eine realistische Weltbevölkerung von 8 bis 10 mrd. Menschen die Emissionsmenge, die nach den Rechenmodellen einen Anstieg der globalen Mitteltemperatur um 1,5°C bis 2°C verursacht.

Zum Vergleich der aktuelle Stand der jährlichen CO₂e Emissionen pro Person nach Ländern:



Grafik 8: Aktuelle Emissionen pro Person nach Ländern

Die Menschen in Industrienationen verursachen ein Vielfaches der im globalen Mittel für eine Begrenzung der Klimaveränderung auf 2°C zulässigen Emissionen. In ihrer Bedeutung für den Klimawandel gemindert werden die Emissionen durch die, im Verhältnis zu Ländern wie Indien und China, geringe Bevölkerung. Sowohl China, als auch Indien weisen jedoch massive Steigerungen in Lebensstandard und resultierenden Emissionen auf. Mittel- und langfristig wird ein den heutigen Industrienationen vergleichbarer Lebensstil das Ziel dieser Länder sein. Es gilt also zu zeigen ob und wie ein derartiger Lebensstil mit der Zielsetzung von 3 Tonnen CO₂e pro Person und Jahr vereinbar ist. Vor dem Hintergrund des Themas der vorliegenden Arbeit steht hierbei das aus Wohnen resultierende Emissionsaufkommen im Vordergrund.

Sowohl das Modell einer dezentralisierten Welt (B2), wie auch der Ansatz einer ausgeglichenen Nutzung fossiler und regenerativer Energieträger (A1B) weisen langfristig deutlich über den aktuellen Werten liegenden Konzentrationen von Treibhausgasen auf. Das dezentralisierte Modell ist hierbei mittelfristig durchaus im Bereich der nachhaltigen Szenarien ist aber durch ein konstantes Wachstum im Langzeitbereich gekennzeichnet. Die Version einer Ausgeglichenen Nutzung von Energieträgern weißt langfristig fallende Treibhausgaskonzentrationen aus, abhängig von der Geschwindigkeit mit der Effizienz und Wechsel zu CO₂-neutralen Rohstoffen realisiert wird.

Fazit: Das dezentrale Modell, obwohl unter dem Aspekt der Materialflüsse von enormen Vorzügen gekennzeichnet, hat in Bezug auf die Entwicklung der Konzentration von Treibhausgasen nur eine verzögernde Wirkung. Das Modell ausgeglichener Nutzung von Energieträgern zeigt die Auswirkung einer Teilnutzung fossiler Energieträger auf die Gesamtemissionen. Die Menge der bis zur vollständigen Umorientierung zu regenerativen Energieträgern verbrauchten fossilen Brennstoffe ist eine Unsicherheit innerhalb des Szenarios.

Die Szenarien A1 (hohes Bevölkerungswachstum, langsamer Industriegewachstum und langsamer Technologiewandel) und A1FI (intensive Nutzung fossiler Energieträger). Weisen beide mittel- und langfristig enorme globale Konzentrationen von Treibhausgasen auf.

Fazit: Ein starkes Bevölkerungswachstum als exponentieller Faktor innerhalb des Systems ist auch bei nur langsam fortschreitendem industriellem Wachstum nicht aufzufangen. Eine erfolgreiche Begrenzung der Klimaveränderung auf ein minimales Maß gilt ohne Kontrolle der Weltbevölkerung von wissenschaftlicher Seite als *sehr unwahrscheinlich*.

2.4 Folgen eines Nichterreichens der Zielsetzungen

Die Klimaveränderung im globalen Mittel, bedingt nicht eine Erwärmung in ähnlicher Dimension in regionalem Maßstab. Es wird lediglich ein Trend abgebildet, welches sich aufgrund des grundsätzlich erst einmal recht simplen Treibhausprinzips mit einem hohen Grad an Wissenschaftlichem Vertrauen abbilden lässt. Zur Betrachtung der Auswirkungen auf regionaler Ebene finden lokale Klimamodelle Verwendung welche aus den übergeordneten globalen und kontinentalen Modellen mit Randbedingungen versorgt werden. Eine Erwärmung im globalen Mittel kann durchaus eine Absenkung der Jahresmitteltemperatur auf regionaler Ebene bedeuten.

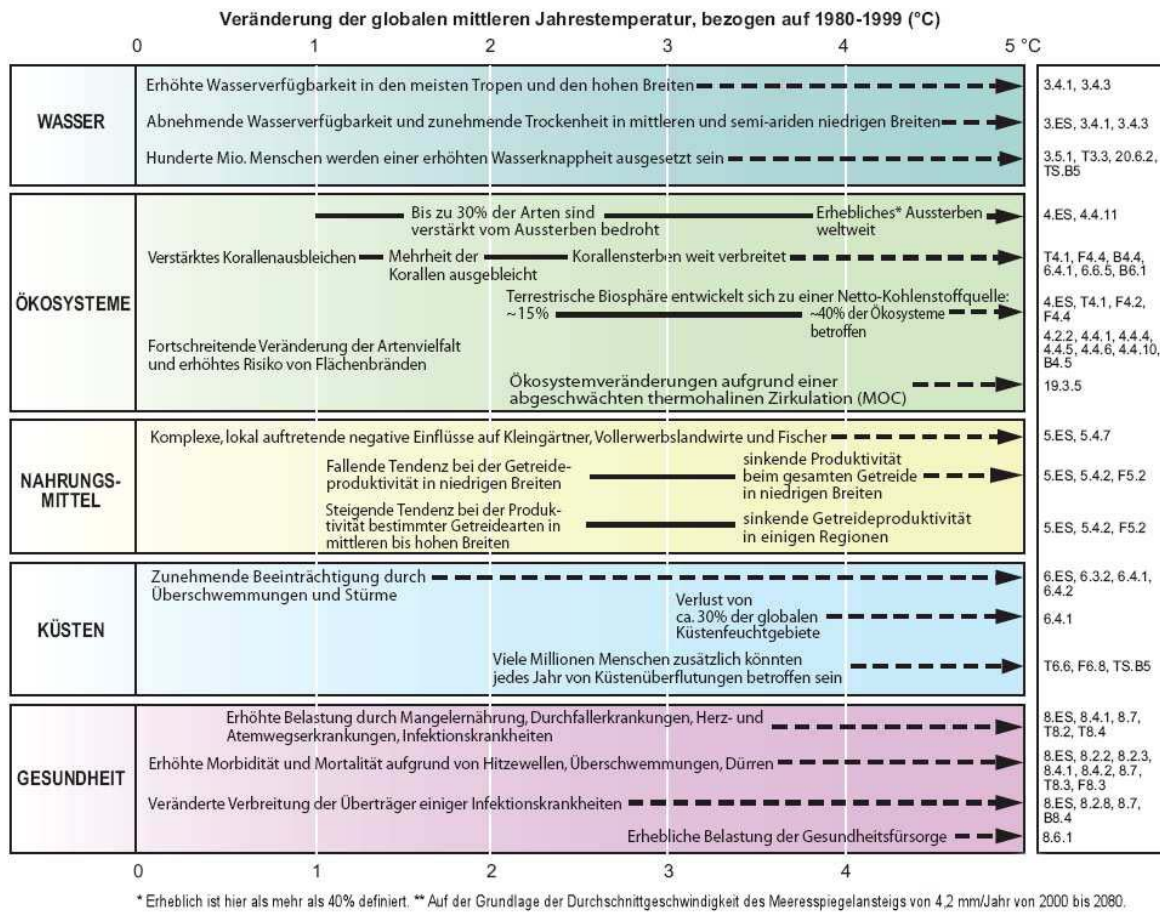
Als wichtiger Effekt ist zudem die zunehmend extremer ausfallende Veränderung zu beachten je kleiner der betrachtete Maßstab angesetzt wird. Weist der globale Trend der Jahresmitteltemperatur noch die Form eines sanft ansteigenden Verlaufs auf, so sind die regionalen Modelle hiervon überproportional betroffen und reagieren mit teilweise extremen Temperaturschwankungen.

Als Beispiel mag die Abwanderung von Arbeitsplätzen dienen. Eine Quote im übergeordneten Modell von 2% von A nach B bedeutete auf regionaler Ebene nicht einen Abbau von 2% der Arbeitsplätze in allen Werken der Region A, oder die Reduzierung der Arbeitszeit um 2% pro Jahr auf persönlicher Ebene. Es bedeutet vielmehr, dass im Mittel die Arbeitsplätze der Region A um 2% abnehmen, was die unvermittelte Schließung eines konkreten Werkes (100% Arbeitslosigkeit in der unmittelbaren Umgebung) der Region genauso bedeuten kann wie eine steile Karriere des Einzelnen auf der persönlichen Ebene. Ein globaler Mittelwert ist im täglichen Leben nicht erlebbar, auch wenn wir seinen Auswirkungen unterworfen sind, was die Vermittlung der Problematik nach wie vor schwierig macht.

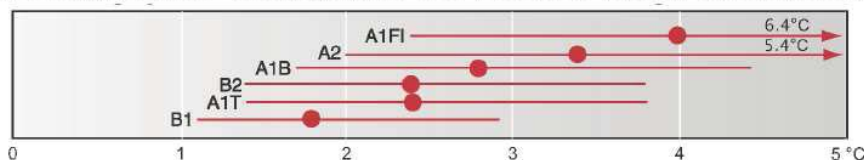
Aufgrund der diversen regionalen Besonderheiten ist es nicht einfach, die Auswirkungen der globalen Erwärmung in konkreten Folgen abzubilden. Da mittlerweile als sicher gilt, dass eine Erwärmung nur noch abzuschwächen und nicht mehr komplett zu verhindern ist, beschäftigen sich zahlreiche Forschungsvorhaben mit den regionalen Auswirkungen, ihren Folgen für die dort wohnenden Menschen und den auftretenden Kosten. [12][13][14][15] Von Seiten der Vereinigten Staaten wurden bereits 2003 die Folgen für die nationale Sicherheit erörtert. [16] Zu einem Zeitpunkt, als es ihn von offizieller amerikanischer Seite noch gar nicht gab.

Der durch die Klimaerwärmung verursachte Schaden ist immens [17][18]. Auf globaler Ebene wird er, je nach Quelle, mit 5.500 mrd. Euro bis 30.000 [19][20] mrd. Euro beziffert. Die Unsicherheit in Bezug auf die Gesamtkosten ist vor allem auf Regionen zurückzuführen in denen die Auswirkungen der Klimaveränderung noch nicht evaluiert sind. Insbesondere gilt dies für Zonen in Entwicklungsländern.

Als Leitlinie für direkte Auswirkungen der globalen Erwärmung wird im Bereich des IPCC 2007 auf die folgende Tabelle verwiesen:



Erwärmung bis 2090-2099 gegenüber 1980-1999 für Szenarien ohne Klimaschutz



Grafik 4: Beispiele für Auswirkungen in Verbindung mit projizierten Anstiegen der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur.

Obere Tafel: Illustrative Beispiele für projizierte globale Auswirkungen von Klimaänderungen (und, falls relevant, von Meeresspiegel und atmosphärischem Kohlendioxid), in Verbindung mit Anstiegen der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur unterschiedlichen Ausmaßes im 21. Jahrhundert. Die schwarzen Linien verbinden die Auswirkungen untereinander, die gestrichelten Pfeile zeigen die bei steigender Temperatur weiter ansteigenden Auswirkungen. Die Einträge sind so platziert, dass die linke Seite des Textes den ungefähren Beginn einer Auswirkung angibt. Mengenmäßige Einträge bezüglich Wasserknappheit und Überschwemmungen stellen zusätzliche Auswirkungen der Klimaänderung dar, und zwar in Bezug auf die über die Bandbreite der SRES-Szenarien A1F1, A2, B1 und B2 projizierten Bedingungen. Maßnahmen zur Anpassung an die Klimaänderung sind in diesen Abschätzungen nicht enthalten. Für alle Aussagen besteht ein hohes Vertrauensniveau. Die obere rechte Tafel nennt die Quellenangaben aus WGII für die Aussagen in der oberen linken Tafel. Untere Tafel: Punkte und Balken geben den besten Schätzwert und die wahrscheinlichen Bandbreiten der Erwärmung an, die für die sechs SRES-Musterszenarien für den Zeitraum 2090-2099 gegenüber 1980-1999 abgeschätzt wurden.

Die Auflistung macht deutlich, welches Interesse die Menschen haben sollten, die globale Erwärmung auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Was nur indirekt deutlich wird sind die mit zunehmender Erwärmung exponentiell anwachsenden Folgekosten, sowie die mit zunehmender globaler Durchschnittserwärmung abnehmende Präzision der Abschätzung der regionalen Folgen. Diese Unschärfe ist einer der Hauptgründe für die große Spanne der prognostizierten Kosten von 5,5 Billionen bis zu 30 Billionen Euro. Es stellt sich unmittelbar die Frage, welche Einsparpotentiale bestehen und welche Kosten ihre Umsetzung erfordern.

2.4.1 Sinnhaftigkeit einer festen Grenze von 3 Tonnen CO₂e/a p und Zielsetzung

Eine zwingende Menge für zulässige Emissionen gibt es nicht. Jede Menge ist mit einer durch sie bedingten Klimaauswirkung untrennbar verbunden. Ein Bekenntnis zu einem bestimmten Emissionsaufkommen geht mit der Akzeptanz der resultierenden globalen und regionalen Klimaveränderung und ihren Auswirkungen Hand in Hand.

Vor diesem Hintergrund erscheint die Formulierung einer maximalen Emissionsmenge wenig sinnvoll. Es müsste vielmehr eine möglichst geringe Emissionsmenge angestrebt werden.

Beide Ansätze haben Vor und Nachteile:

- Der Ansatz einer möglichst geringen Emissionsmenge bedingt eine fortlaufende Optimierung aller an Emissionen beteiligten Systeme. Die Systeme treten nicht in Konkurrenz zueinander, da für jedes System das Optimum angestrebt wird. Der Ansatz berücksichtigt zudem unterschiedliche Ausgangsbedingungen. Das Optimum an einem Standort ist nicht zwingend auch das Optimum an einem zweiten Standort.
Nachteile sind für diesen Ansatz in der Unschärfe der Zielgröße zu sehen. Es ist absehbar, dass irgendwann der Aufwand für eine weitere Optimierung sehr groß wird. In diesem Fall sind künstliche ökonomische Anreize notwendig, um die Verbesserung der Systeme voranzutreiben.
Im Alltag ist die möglichst geringe Emissionsmenge nicht realistisch durchsetzbar. Die unter dem Aspekt der Emissionen optimale Lösung für Flugzeugnutzung ist keine Flugzeugnutzung. Ob solche Konzepte durchsetzbar sind erscheint zweifelhaft. Der Mensch hätte innerhalb eines solchen Systems keinen eigenen Spielraum mehr. Er wäre in allen Bereichen angehalten sich entsprechend des Optimums zu verhalten. Ein Lebensstil nach eigenen Prioritäten wäre nicht möglich, bzw. würde ökonomisch betrafft.
- Der Ansatz einer ehrgeizigen, fixierten Emissionsmenge erfordert ebenfalls eine Verbesserung der bestehenden an den Emissionen beteiligten Systeme. Diese treten jedoch in gegenseitige Konkurrenz. Die Lobbyisten der einzelnen Bereiche werden bestrebt sein die Schwierigkeiten einer weiteren Optimierung innerhalb des eigenen Systems aufzuzeigen und auf andere Bereiche verweisen wo diese Einsparungen einfacher zu erzielen seien.
Der positive Aspekt einer fixierten Emissionsmenge ist die Möglichkeit sie zu unterschreiten. Sehr emissionsarm lebende Menschen könnten direkt über den Handel ihres Emissionsgutachtens von ihrem Lebensstil profitieren. Innerhalb des eigenen Guthabens könnte zudem nach den eigenen Prioritäten gehaushaltet werden

Auf nationaler und internationaler Ebene dominieren die fixierten Emissionsgrenzen als Zielsetzung klar. Ein realistischer Wert wird von wissenschaftlicher Seite im Bereich von 1,5°C bis 2,5°C gesehen. Die Anhebung der globalen Mitteltemperatur um 2°C wird aktuell von der Europäischen Union als Grenze von tolerablem zu „gefährlichem Klimawandel“ benannt. Auch der wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) empfiehlt die Erwärmung bei maximal 2°C zu begrenzen [28] Dies würde durch ein Stabilisierungsszenario im Bereich von etwa 400 bis 450 ppm erreicht werden [29] und, bei einer anzunehmenden mittelfristigen Erdbevölkerung von 8 bis 10mrd. Menschen, eine akzeptierte CO₂-Äq Emissionsproduktion von 3 Tonnen pro Person und Jahr bedeuten. Um dieses Ziel zu erreichen wird eine Halbierung des weltweiten Emissionsaufkommens bis 2050 angestrebt. Einige Nationen, wie auch Deutschland, formulieren noch ehrgeizigere Ziele bzw. kürzere Zeiträume. Die Schweiz verfolgt die 2000 Watt Gesellschaft [38] als mögliches Zukunftsmodell. Dieses Modell geht von einer Leistung aus, welche jedem Bürger konstant zur Verfügung steht. Es wird davon ausgegangen, dass die veranschlagten 2000 Watt in Verbindung mit Effizienzmaßnahmen ausreichen um den aktuellen Lebensstandard beizubehalten. Zum Vergleich, einige Leistungen die Menschen erbringen können:

Treppensteigen: 50 Watt bis 100 Watt	
Leistungssportler: etwa 200 Watt	(im Schnitt über 1 bis 2 Stunden)
Tour de France Teilnehmer: etwa 400 Watt	(über etwa 5 Stunden)
Radbahnfahrer (Sprinter): etwa 650 Watt	(etwa 10 Minuten lang)
Gewichtheber Matthias Steiner): etwa 1750 Watt	(etwa 3 Sekunden lang)
(Olympiasieger 2008)	

Der Grund für die Bevorzugung von fixierten Emissionsmengen gegenüber möglichst geringer Emissionsmengen auf politischer Ebene ist klar: ein definiertes Ziel lässt sich besser vermitteln als die Ankündigung einer nicht endenden Optimierung.

Das Grundproblem des Ansatzes ist die notwendige ökonomische Motivation innerhalb der einzelnen Handlungsfelder. Zu Verbesserung des Gebäudebestandes, als wichtige Komponente der Maßnahmen in Deutschland zur Emissionsreduzierung wurden durch die KfW 2007 im ersten Halbjahr 8,3 Mrd. Euro durch Subventionen vergünstigte Kredite bewilligt.

Zu diesem förderungsintensiven Konzept sind jedoch Alternativen bekannt. Projekte wie der Top-Runner Ansatz [39] des japanischen Wirtschaftsministeriums zeigen welches Potential aktiviert werden kann wenn ein Wirtschaftsbereich nur an sich selbst, bzw. an seinen Spitzenprodukten gemessen wird. Bei diesem Ansatz wird das effizienteste Produkt einer Produktgruppe ermittelt. Fünf Jahre Später müssen alle Produkte der Gruppe mindestens die gleiche Effizienz erreichen und es wird neu ermittelt. Die Produktgruppe ist also gezwungen sich an den Spitzenprodukten zu orientieren. Gleichzeitig ist ein Anreiz gegeben die Effizienz der Spitzenprodukte weiter zu verbessern. Ein derartiger Ansatz ist auch für Gebäude denkbar.

Die folgenden Kapitel verfolgen analog zum Top-Runner Ansatz ein möglichst energieeffizientes Gebäude. Die Gesamtbilanz des Gebäudes wird jedoch gleichzeitig in Relation zu den Zielsetzungen der Vereinten Nationen gesetzt.

2.5 Aktuelle Spielräume persönlicher Emissionsbilanzen

Die Beispiele für personenbezogene Bilanzen basieren auf dem aktuellen Kenntnisstand des deutschen Bundesumweltamtes. [30]

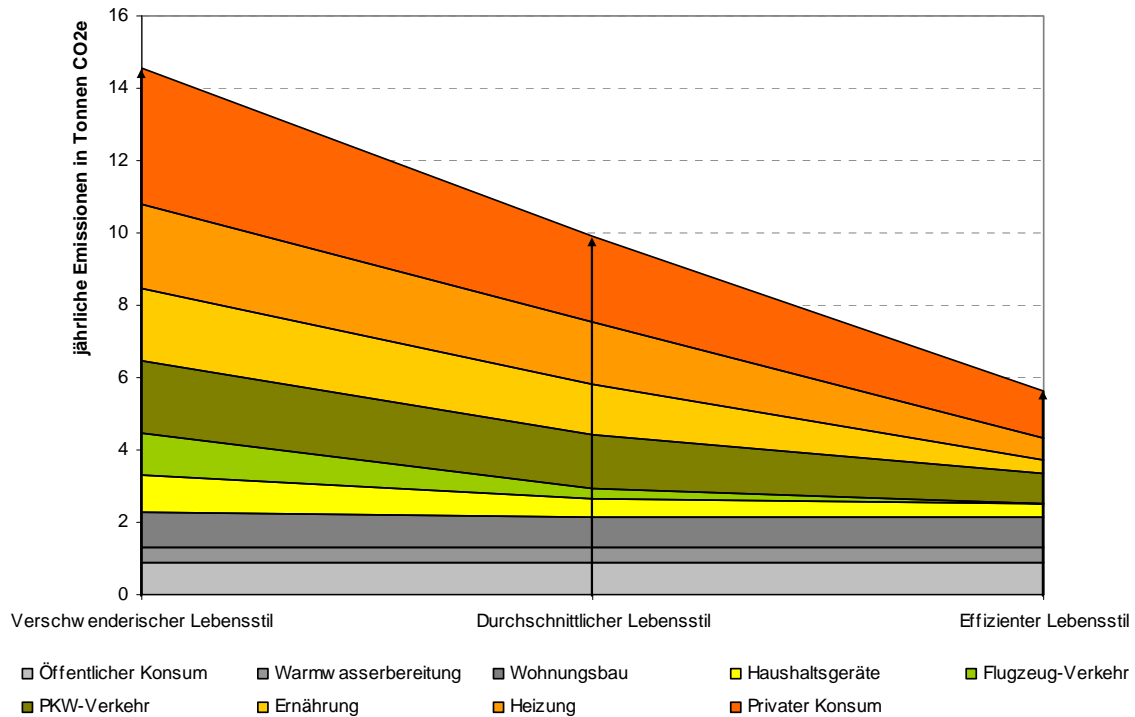
Deutschland wurde aus folgenden Gründen als Beispiel für die personenbezogene Bilanz gewählt:

- Die Datenlage ist im globalen Vergleich als sehr gut zu bewerten. Insbesondere liegen für diverse Persönlichkeitsprofile belastbare Daten vor, die die Spielräume persönlicher Bilanzen innerhalb einer Industriegesellschaft aufzeigen. [31]
- Da die vorliegende Arbeit in deutscher Sprache verfasst ist, hat die überwiegende Mehrzahl potentieller Leser einen Bezug zum deutschen Lebensstil und in der Folge auch zu den unterschiedlichen Persönlichkeitsprofilen.
- Deutschland entspricht als Industrieland mit ausgeprägtem Konsum einem Entwicklungsstand den viele Entwicklungsländer anstreben. Es muss als unrealistisch gelten anzunehmen, dass dieser Lebensstandard einem Großteil der Welt auf Dauer vorenthalten werden kann. [32]

Im Folgenden werden die Ergebnisse von zwei Studien stellvertretend untersucht.

2.5.1 Persönliche Emissionsbilanz nach Lebensstil

Die folgende Grafik bildet die Ergebnisse einer Studie des ifeu Heidelberg zum Thema Spektren in persönlichen Emissionsbilanzen ab. Basierend auf einem durch das Statistische Bundesamt ermittelten Durchschnittswert wurde durch überschlägige Rechnungen ermittelt welche Emissionsmengen ein verschwenderischer und ein effizienter Lebensstil verursacht. Beide Extreme sind laut Verfasser [36] realistische Annahmen. Theoretisch ließe sich für Vielflieger der Wert für Emissionen durch Flugreisen noch deutlich steigern, genau wie sich der Wert für PKW Nutzung auf Null reduzieren lässt. Die resultierenden Bilanzen würden aber lediglich einen zu vernachlässigenden Anteil der Gesamtbevölkerung betreffen.



Grafik 8: Zulässige Emissionen pro Person nach Gesamtbevölkerung

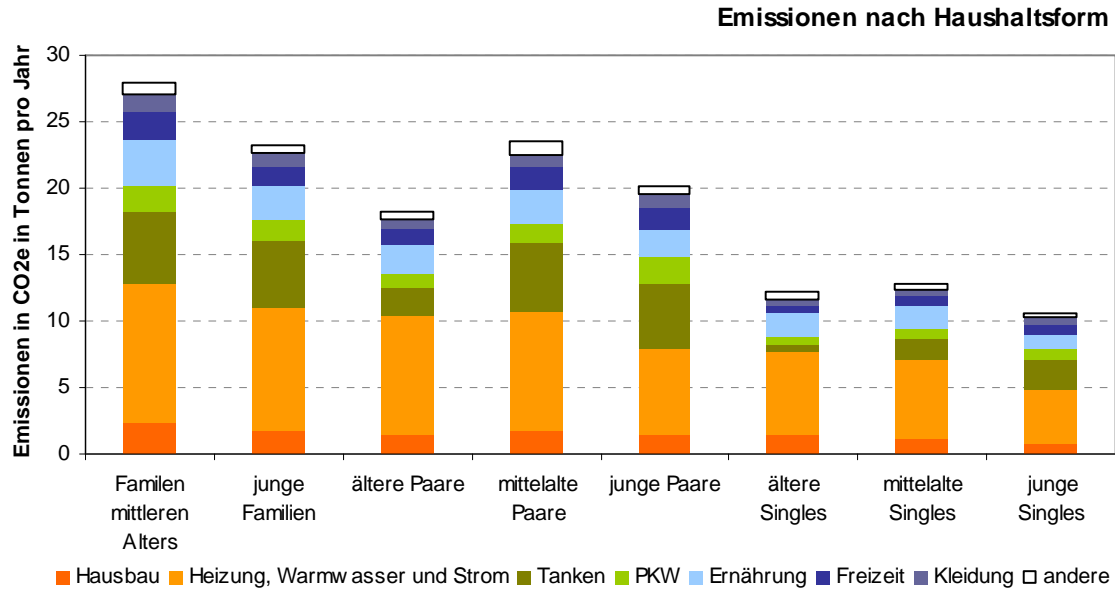
Die der Grafik zugrunde liegenden Daten lassen sich zu den drei übergeordneten Bereichen Konsum, Wohnen und Transport zusammen fassen. Die durchschnittlichen Emissionen betragen für Konsum: 3,8t, Wohnen: 3,45t und für Transport: 1,8t. Hinzu kommen Emissionen durch Maßnahmen die auf Landes- oder Bundesebene vorgehalten werden und die auf alle Einwohner umgerechnet werden von ca. 0,88 Tonnen CO₂e pro Jahr und Person.

Das Spektrum aller drei übergeordneter Bereiche ist zwischen effizientem Lebensstil und verschwenderischem Lebensstil groß. In allen drei Bereichen lassen sich maßgebliche Einsparungen erzielen.

Als die zwei wichtigsten Faktoren wurde innerhalb dieser Studie und eines Berichtes des ifeu das Interesse an umweltbewusstem Konsum, die Ausgefallenheit der persönlichen Konsumgewohnheiten und die ökonomischen Möglichkeiten benannt. Insbesondere eine Kombination von ökonomischen Möglichkeiten, dem Gefallen an exotischen Konsumgütern in Kombination mit einem Desinteresse an den Umweltkonsequenzen führt zu hohen Emissionsbilanzen. Ist einer der Faktoren stark unterdurchschnittlich ausgeprägt resultiert in den meisten Fällen eine niedrige Emissionsbilanz.

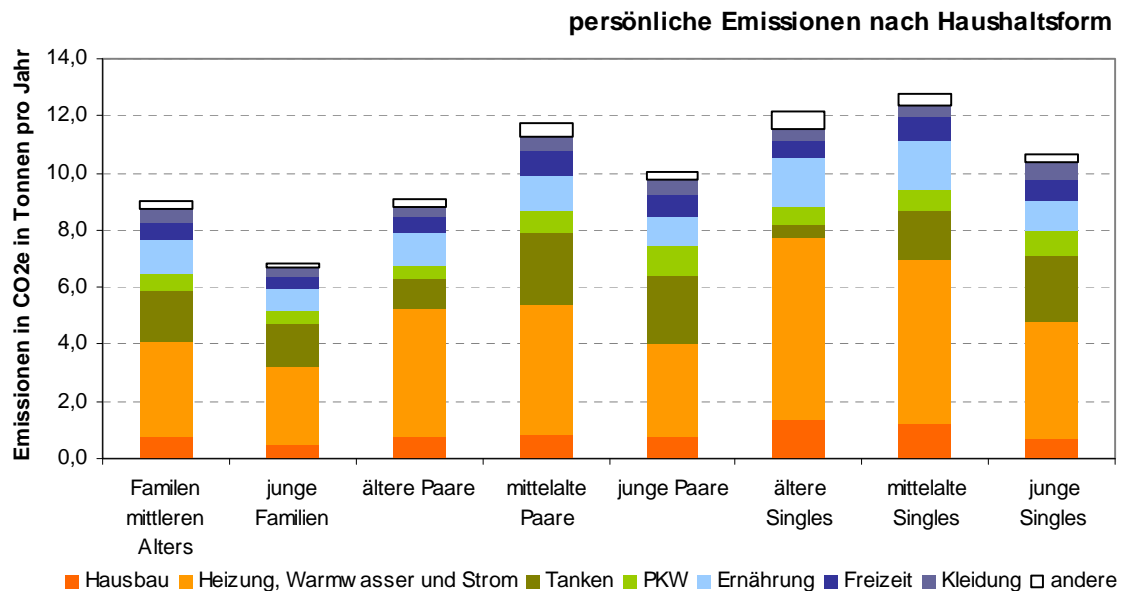
2.5.2 Persönliche Emissionsbilanz nach Haushaltsform

Nicht nur ein Interesse an umweltbewussten Verhalten prägt die persönlichen Emissionen, auch die Haushaltsform in der gewohnt ist relevant. Die folgende Grafik zeigt die Emissionen die das Statistische Bundesamt für acht Kernprofile von Haushaltsformen in Deutschland ermittelt hat. Alle Werte sind Durchschnittswerte. [37]



Grafik 9: Zulässige Emissionen pro Person nach Gesamtbevölkerung

Die gleiche Grafik stellt sich auf persönliche Emissionen umgerechnet (angenommene 3,4 Personen in jungen Familien und 3,1 in Familien mittleren Alters, entspricht Statistik nach dem Jahresbericht StBA 2006) wie folgt dar:



Grafik 10: Zulässige Emissionen pro Person nach Gesamtbevölkerung

Die in der Haushaltsbilanz gut abschneidenden Singlehaushalte weisen in der personenbezogenen Bilanzierung die höchsten Werte auf. Hier zeigt sich ein Kernproblem in den etablierten Berechnungsmodellen im Gebäudebereich. In der Regel wird auf Haushaltsbasis gerechnet, da die Anzahl der Bewohner nicht im Voraus bekannt ist. Die Bilanzierung auf Haushaltsbasis spricht für die Verbreitung von Singlewohnungen, während personenbezogen gerechnet jede Form der Lebensgemeinschaft dem Singlewohnen vorzuziehen ist.

2.6Fazit

Die Bilanzierungen des Statistischen Bundesamtes machen klar, dass die Zielsetzung von 3 Tonnen CO₂e/a nicht alleine durch effiziente Gebäude erreicht werden können. Auch ohne Emissionen durch Gebäude verursacht der Durchschnittliche Deutsche noch zwischen 3,38 Tonnen CO₂e/a und 9,88 Tonnen CO₂e/a.

Effiziente Gebäude können nach den Daten des Statistischen Bundesamtes jedoch einen wichtigen Beitrag leisten, zumal die energetischen Verbesserungen mit Aspekten der Gesundheit und des Komforts verknüpft werden können. Ohne effiziente Gebäude ist die Zielsetzung der Vereinten Nationen sowieso nicht zu erreichen. Ein durchschnittlicher Lebensstil verursacht bereits 3,4 Tonnen CO₂e/a durch wohnen, ein verschwenderischer Lebensstil sogar 4,7 Tonnen CO₂e/a. Mit dem Anspruch an eine Begrenzung des Klimawandels ist eine Verbesserung des Effizienzstandards in Gebäuden also zwingend verbunden.

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung von 3 Tonnen CO₂e/a wird für eine Beurteilung der innerhalb dieser Arbeit erreichten Wohnstandards von folgender durchschnittlicher Verteilung ausgegangen:

Wohnen (laufender Wärme- und Kühlbedarf, Warmwasser, Graue Energie): 1 Tonnen CO₂e/a

Strom (elektrische Haushaltsgeräte, Computer etc.): 0,5 Tonnen CO₂e/a

Transport (Kraftfahrzeug, Bahn, Schiff, Flugzeug): 0,75 Tonnen CO₂e/a

Konsum (Ernährung, Restkonsum): 0,75 Tonnen CO₂e/a

Die einzige statistisch relevante Haushaltsform, die eine dieser Zielgrößen in Deutschland im Mittel erreicht sind ältere Singles in Bezug auf den Transport. Alle anderen Haushaltsformen und Lebensstile müssen für eine Erreichung der Zielsetzung optimiert werden.

Umgerechnet in Kilowattstunden ergibt sich nach den aktuellen Mittelwerten nach GEMIS:

Wohnen	1500 Kg CO ₂ e/a / 0,622 Kg CO ₂ e/kWh =	2412 kWh/a (Strom)
	oder	
	1500 Kg CO ₂ e/a / 0,2485 Kg CO ₂ e/kWh =	6036 kWh/a (Wärme aus Erdgas)
	oder jede Kombination aus beiden Emissionsquellen Abgleiche am Ende der Kapitel 3,4 und 5	
Strom:	500 Kg CO ₂ e/a / 0,622 Kg CO ₂ e/kWh =	804 kWh/a
	Verbrauch von Beispielgeräten unter 3.3.1	
Transport:	750 Kg CO ₂ e/a / 0,295 CO ₂ e/kWh =	2542 kWh/a (282 Liter Benzin)
	oder	
	750 Kg CO ₂ e/a / 0,622 CO ₂ e/kWh =	1206 kWh/a (Strom)
Konsum:	750 Kg CO ₂ e/a / 0,622 Kg CO ₂ e/kWh =	1205 kWh/a (Strom)
	oder	
	750 Kg CO ₂ e/a / 0,3119 Kg CO ₂ e/kWh =	2405 kWh/a (Wärme aus Erdöl)
	oder jede Kombination aus beiden Emissionsquellen	
	Beispiele für Graue Energie in Konsumgütern unter 1.1	

Durch eine Verbesserung der Methoden zur Energiegewinnung erhöht sich ggf. die pro Emissionsmenge erzeugte Energie. Dies hat vereinfacht eine Erhöhung der jedem Menschen jährlich zur Verfügung stehenden Energie zur Folge.

Die berechneten Werte sollen neben der Zielsetzung der Arbeit, die Gesamtbilanz von Gebäuden und die Effizienz von Systemen in Abhängigkeit vom Standort zu beschreiben eine Einordnung der Ergebnisse in die globalen Rahmenbedingungen ermöglichen.

2.6.1 Lösungsansätze zur Begrenzung der weltweiten Emissionen

Eine Reihe genereller Ansätze für die Lösung des Problems der weltweiten Emissionen kann formuliert werden. Auf viele dieser Ansätze haben Architekten nur sehr begrenzt Einfluss. Diese Ansätze werden nur der Vollständigkeit halber kurz angeschnitten und eine knappe Zusammenfassung der nach aktuellem Kenntnisstand prognostizierten Entwicklung geschildert und bezüglich ihres Einflusses auf die vorliegende Arbeit diskutiert.

Begrenzung der Weltbevölkerung

Mit einer Begrenzung des weltweiten Bevölkerungswachstums bei fixierter weltweiter Emissionsmenge stehen dem einzelnen mehr Emissionen zur Verfügung. Die Abhängigkeit wurde bereits in Grafik 7 dargestellt. Eine Begrenzung auf unter 8 mrd. Menschen für das Jahr 2050 gilt jedoch nach aktuellem Entwicklungs- und Kenntnisstand als unrealistisch.

Da Architekten keinen Einfluss auf die Entwicklung der Weltbevölkerung haben wird von den Prognosen der Vereinten Nationen ausgegangen.

Nachhaltige Energiegewinnung

Zahlreiche Szenarien wurden für eine weltweite nachhaltige Energiegewinnung entwickelt. Dies beinhaltet Konzepte zur Energiegewinnung aus regenerativen Quellen (PV-Kraftwerke, Windkraft, Solarkraftwerke), die Entwicklung von Technologien zur Rückspeicherung von CO₂ und Energiegewinnung durch neutrale Technologien (Kernspaltung, Kernfusion).

Generell kann formuliert werden, dass eine konsequente Realisierung einer solchen Lösung die vorliegende Arbeit vor ökologischem Hintergrund überflüssig machen würde. Wenn der Menschheit Energie ohne resultierende Emissionen und andere Umweltbelastungen zur Verfügung steht, wird der Energieaspekt in Bezug auf Umweltfolgen irrelevant. Eine solche Lösung ist jedoch kurz- und mittelfristig nicht absehbar. Es liegt jedoch nahe, dass der Stellenwert von Energie sich durch die Verbesserung der Energiegewinnung und ihrer Methoden im Laufe der Jahre ändern wird. Durch die resultierenden Veränderungen der pro kWh entstehenden Emissionen verändern sich in der Folge auch die Ergebnisse der Bilanzierungen innerhalb der vorliegenden Arbeit. Die Möglichkeit einer entsprechenden Anpassung ist in den Datenblättern bereits enthalten.

Da Architekten auf die Entwicklung der globalen Energiegewinnung keinen Einfluss haben, wird außerhalb des Gebäudes von den aktuellen Emissionswerten nach GEMIS ausgegangen.

Energieeinsparmaßnahmen

Die Energieeinsparmaßnahmen können in zwei große Bereiche unterteilt werden: Effizienz und Suffizienz. Effizienz beschreibt die Reduzierung des Verbrauchs durch ein günstigeres Verhältnis von Aufwand und Effekt, Suffizienz beschreibt die Reduzierung des Effektes und resultierenden Verbrauch.

Beide Formen können unmittelbar die Emissionen durch Gebäude reduzieren. Im Gebäudebereich wird innerhalb der vorliegenden Arbeit von einer möglichst großen Effizienz ausgegangen. Anschließend wird die notwendige Suffizienz (z.B. Verringerung Wohnfläche durch mehr Bewohner) ermittelt um die Zielsetzung von 3 Tonnen CO₂e/a zu erreichen.

Anpassung des Lebensstils

Vor dem Hintergrund der gewählten Zielsetzung muss gefragt werden, welche Werte bereits heute durch einen angepassten Lebensstil (Konsumverhalten, Transportmittel, Wohnungsform) erreicht werden können. In Anbetracht der immer akuter werdenden Folgen des Klimawandels stellt sich die Frage ob der Lebensstil der westlichen Welt zukunftstauglich ist.

2.3 Aufbau der weiteren Arbeit

Zusammen mit der in Kapitel eins beschriebenen Methodik liegt nun mit der Zielsetzung und realen Vergleichsgrößen die Grundlage für die weitere Arbeit vor. In den Kapitel drei und vier wird analog zu der Methodik aus Kapitel eins ermittelt wie weit die Energiebilanz des Referenzgebäudes an den zehn Beispielstandorten reduziert werden kann.

Das Gebäude wird hierzu in eine opake Hülle und Haustechnik unterteilt. Im folgenden Kapitel wird die opake Hülle bezüglich ihrer Abhängigkeiten von Nutzer und Klima diskutiert. Im vierten Kapitel wird die in Kapitel drei entwickelte Hülle haustechnisch optimiert und in Kapitel fünf am Beispiel von Japan mit realen Gebäuden verglichen.

Aufgrund der mit jeder Menge an Emissionen verbundenen Klimaveränderung wird in allen Fällen ein möglichst geringer Energieverbrauch angestrebt. Die innerhalb dieses Kapitel definierten Zielgrößen dienen als Orientierung und zur Einordnung der theoretisch maximal erreichbaren Werte.

Quellen Kapitel 2

- 1 Simon Geisbüsch, Gerold Kier & Dr. Manfred Treber, Die internationalen Klimaverhandlungen und ihre Akteure
- 2 Sven Wieduwilt, Niedersächsisches Umweltministerium (2005), Internationale Umweltpolitik
- 3 Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): *IPCC Fourth Assessment Report - Working Group I Report "The Physical Science Basis"*
- 4 Focus Money Online (2006), http://www.focus.de/finanzen/news/steuer-ueberraschung_aid_106197.html
- 5 Stott, Peter A., Gareth S. Jones und John F.B. Mitchell (2003): *Do Models Underestimate the Solar Contribution to Recent Climate Change?* In: Journal of Climate, Volume 16, Dezember, S. 4079–4093
- 6 Solanki, Sami, I.G. Usoskin, B. Kromer, M. Schüssler und J. Beer (2004): *Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years*, in: Nature, Vol. 431, 28 Oktober, S. 1084–1087
- 7 Max Planck Society (2004): *How Strongly Does the Sun Influence the Global Climate?* Press Release, 2. August
- 8 Schmitt, D. and M. Schüssler (2003): *Klimaveränderung – Treibhauseffekt oder Sonnenaktivität?* Max-Planck-Institut für Aeronomie
- 9 Ramanathan, Veerabhadran, Muvva V. Ramana, Gregory Roberts et al. (2007): *Warming trends in Asia amplified by brown cloud solar absorption*, in: Nature, Vol. 448, S. 575-578
- 10 Josep Canadella, Corinne Le Quéré, Michael Raupach, Christopher Field, Erik Buitenhuis, Philippe Ciais, Thomas Conway, Nathan Gillett, R. Houghton und Gregg Marland (2007): *Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks*, in: Proceedings of the National Academy of Sciences
- 11 T.J. Blasing and Karmen Smith: *Recent Greenhouse Gas Concentrations*, CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center)
- 12 Pittock, Barrie (2006): *Are Scientists Underestimating Climate Change?*, in: Eos, Vol. 87, No. 34, 22. August, S. 340–341
- 13 Hare, William (2003): *Assessment of Knowledge on Impacts of Climate Change – Contribution to the Specification of Art. 2 of the UNFCCC*. Externe Expertise für das WBGU-Sondergutachten „Welt im Wandel: Über Kioto hinausdenken. Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert“
- 14 Hare, William (2005): *Relationship between increases in global mean temperature and impacts on ecosystems, food production, water and socio-economic systems*
- 15 Peter J. Mayhew, Gareth B. Jenkins, Timothy G. Benton (2007): *A long-term association between global temperature and biodiversity, origination and extinction in the fossil record*, in: Proceedings of The Royal Society B
- 16 Kaemfert, Claudia und Barbara Praetorius (2005): *Die ökonomischen Kosten des Klimawandels und der Klimapolitik*, in: DIW, Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung 74, 2/2005, S. 133–136
- 17 Schwartz, Peter und Doug Randall (2003): *An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security*, Studie im Auftrag des US-Verteidigungsministeriums
- 18 O. Edenhofer, K. Lessmann, C. Kemfert, M. Grubb, J. Köhler (2006): *Induced Technological Change: Exploring its Implications for the Economics of Atmospheric Stabilization. Synthesis Report from the Innovation Modeling Comparison Project*, in: The Energy Journal
- 19 Leggett, Mark (2006): *An indicative costed plan for the mitigation of global risks*, in: Futures 38, Vol. 7, S. 778–809

- 20 ZDF heute.de: *Studie: Klimawandel lässt Weltwirtschaft schrumpfen*, 30. Oktober 2006
- 21 Leggett, Mark (2006): *An indicative costed plan for the mitigation of global risks*, in: *Futures* 38, Vol. 7, S. 778–809
- 22 WBGU (2003): *Über Kyoto hinaus denken – Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert.*, Sondergutachten für die Bundesregierung
- 23 Christoph Weber, Perrels (2000) Vergleich der CO₂ Emissionen verschiedener Haushaltstypen (Westdeutschland 1990)
- 24 Paul Scherrer Institut: *Die 2000-Watt-Gesellschaft: Norm oder Wegweiser?*, (2007)
- 25 Climate warning as Siberia melts - earth - 11 August 2005 - New Scientist
- 26 Pacala, Stephen und Robert Socolow (2004): *Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies*, in: *Science* 305, 14. August, S. 968–972
- 27 Weaver, A. J., K. Zickfeld, A. Montenegro, and M. Eby (2007): *Long term climate implications of 2050 emission reduction targets*, in: *Geophysical Research*
- 28 Katharina Schächtelle, Hans Hertle Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (2007), Die CO₂ Bilanz des Bürgers, Recherche für ein internetbasiertes Tool zur Erstellung persönlicher CO₂ Bilanzen
- 29 Bundesamt für Statistik, Deutschland, (2007): Emissionsbilanz 2007

Leitliteratur

Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): *IPCC Fourth Assessment Report - Working Group I Report "The Physical Science Basis"*

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswirkungen der globalen Treibhauskonzentration.....	40
Tabelle 2: Systemübergreifende Prognosen	41

Grafikverzeichnis

Grafik 1: Globale mittlere, bodennahe Temperatur im 20ten Jahrhundert	37
Grafik 2: Global gemittelter Strahlungsantrieb (SA) im Jahr 2005	38
Grafik 3: Weltweite THG-Emissionen.....	39
Grafik 6: Globale CO ₂ -Emissionen für den Zeitraum 1940-2000 und Emissionsbandbreiten für Kategorien von Stabilisierungsszenarien von 2000 bis 2100	40
Grafik 7: Zulässige Emissionen pro Person nach Gesamtbevölkerung	42
Grafik 8: Aktuelle Emissionen pro Person nach Ländern.....	43
Grafik 4: Beispiele für Auswirkungen in Verbindung mit projizierten Anstiegen der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur.....	45
Grafik 8: Zulässige Emissionen pro Person nach Gesamtbevölkerung	48
Grafik 9: Zulässige Emissionen pro Person nach Gesamtbevölkerung	49
Grafik 10: Zulässige Emissionen pro Person nach Gesamtbevölkerung	49

Inhaltsverzeichnis Kapitel 3

3. Einleitung.....	59
3.1 Konstruktionsprinzipien für mögliche Regelwandaufbauten	61
3.1.1. Kriterien für die Auswahl von Konstruktionssystemen	62
3.1.1.1 Konstruktionskriterien.....	62
3.1.1.2 Standortkriterien	63
3.1.1.1.1 Was wird vor Ort gewünscht?.....	63
3.1.1.1.2 Was kann vor Ort realisiert werden?	64
3.1.1.1.2.1 Verfügbarkeit und Transport von Material.....	64
3.1.1.1.2.2 Die Technologischen Möglichkeiten vor Ort	65
3.1.1.1.2.3 Ökonomische Möglichkeiten vor Ort.....	66
3.1.1.1.2 Was ist vor Ort erlaubt?	66
3.1.2 Die Gesamtenergiebilanz der Konstruktionssysteme im Vergleich.....	67
3.1.2.1 Referenzaufbauten.....	68
3.1.2.2 Referenzmaterialien	69
3.1.2.3 Vergleich Graue Energie	70
3.1.3 Die optimale Gesamtenergiebilanz	71
3.1.3.1 Beispielberechnung einer optimalen Gesamtbilanz	72
3.1.3.1.1 Veränderung einzelner Parameter der Beispielrechnung.....	73
3.1.3.1.2 Auswirkung auf die Gesamtbilanz durch Abweichung von der optimalen Dämmstärke..	75
3.1.3.3 Optimale Wandstärken und Energiebilanzen der vier Konstruktionssysteme im Vergleich	76
3.1.3.4 Vergleich der konstruktiven Variationsmöglichkeiten der Systeme	77
3.1.4 Ergebnis.....	78
3.1.4.1 Hinterlüftete Fassade/ Kerndämmung.....	78
3.1.4.2 Wärmedämmverbundsystem	79
3.1.4.3 Heterogenes System / Holzrahmenbau	79
3.1.4.4 Monolithische Wandaufbauten	79
3.1.5 Kernerkenntnisse	79
3.2 Gebäude und Nutzer.....	80
3.2.1 Auswirkungen des Nutzers	80
3.2.1.1 Nutzervarianten	82
3.2.1.2 Auswirkungen auf die Energiebilanz des Gebäudes	83
3.2.1.3 Grundsätzliche Zusammenhänge	83
3.2.2 Erweiterung der Beschreibung der Temperaturdifferenz	84

3.2.2.1 Bereiche ohne Heiz- und Kühlbedarf	86
3.2.3 Erweiterung des Rechenmodells	87
3.2.3.1 Die Ermittlung der Heizgrenze	87
3.2.3.2 Die Ermittlung der Kühlgrenze	87
3.2.4 Berechnung der Kennwerte für die Beispielstädte	88
3.3.4.1 Standorte mit monatlichen Mitteltemperaturen < 20°C im Jahr	88
3.2.4.2 Standorte mit monatlichen Mitteltemperaturen > 20°C im Jahr	90
3.2.4.3 Standorte mit monatlichen Mitteltemperaturen < 20°C und > 20°C im Jahr	90
3.3 Gesamtgebäudebilanzierung für die Beispielstandorte.....	91
3.4 Ergebnis	93
3.4.1 Auswirkung eines Mindestanteils von Fensterflächen.....	93
3.4.2 Vergleich der benötigten Grauen Energie mit den internationalen Zielsetzungen	93
3.5 Der Aufbau der weiteren Arbeit	97

3. Einleitung

Im letzten Kapitel wurde die Auswirkung von Emissionen auf die globale Temperatur und die daraus resultierenden Folgen beschrieben (2.1). Aus den persönlichen Bilanzen wurde deutlich, dass Wohngebäude mit etwa einem Drittel an diesen Emissionen beteiligt sind (2.2).

Mit Ende des zweiten Kapitels ist die Aufbereitung der Ausgangssituation abgeschlossen und die Zielsetzung für die weiteren Kapitel formuliert: möglichst wenig Emissionen durch Gebäude und der Abgleich der Ergebnisse mit den Zielsetzungen der Vereinten Nationen.

Dieses angestrebte Optimum der Gesamtenergiebilanz wird innerhalb dieses Kapitels für die Gebäudehülle entwickelt und in seinen Abhängigkeiten untersucht.

Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangssituationen weltweit kann hierbei nicht überall der gleiche Wert erreicht werden. Die Rahmenbedingungen in Sibirien unterscheiden sich von denen in Zentralafrika. Diese Ausgangssituationen werden im Folgenden als Standortfaktoren bezeichnet.

Selbst in ferner Zukunft und dem Fall eines weltweiten Ausgleichs von Wirtschaft und Know-how bleibt das lokale Klima als unveränderlicher Unterschied zwischen den einzelnen Standorten.

Die gleiche Situation ergibt sich für Gebäude. Bereits bei der Definition eines Gebäudes ist es schwierig eine gemeinsame Basis zu finden. In den Ghettos von Mexiko City gilt ein Regenschutz als Haus, während in Deutschland für undichte Wände die Miete gemindert wird. Die Baracke aus dem Slum ist dem Wohlstandseuropäer mit Sicherheit ebenso wenig als Haus zu vermitteln, wie Hütten ohne Wasseranschluss in Zentralafrika. Diese Parameter werden als Gebädefaktoren bezeichnet. Der Kern der Arbeit besteht aus der Untersuchung mit welchen Gebädefaktoren angemessen auf die Standortfaktoren reagiert werden kann um Emissionen zu vermeiden und einer Aussage welche Gesamtenergiebilanz an den unterschiedlichen Standorten erreicht werden kann.

Die Arbeit vertritt die Annahme, dass die Gebädefaktoren unter dem Gesichtspunkt der Energiebilanz nicht überall optimal auf die Standortfaktoren abgestimmt sind.

Für die Untersuchung des Sachverhalts wird innerhalb der Kapitel 3 und 4 ein Referenzgebäude, bestehend aus Hülle, Nutzer und Haustechnik, entwickelt. Das Gebäude unterliegt den in Kapitel 1 getroffenen Einschränkungen.

Bei der Entwicklung des definierten Referenzgebäudes wird wie folgt vorgegangen:

- 3.1 Vergleich verschiedener Konstruktionssysteme/ Regelaufbauten
Ergebnis: Vergleichskriterien für Konstruktionssysteme und Auswahl eines Konstruktionssystems für die weiteren Berechnungen, Veränderung der Hülle in Abhängigkeit vom Klima
- 3.2 Formen einer Hülle aus den opaken Regelwandaufbauten
Ergebnis: Definition der Form des Gebäudes und resultierende geometrischen Besonderheiten.
- 3.3 Einfügen eines oder mehrerer Bewohner in die Hülle
Ergebnis: Veränderung der Hülle in Abhängigkeit von Nutzung
- 3.4 Bilanzierung des Gebäudes
Ergebnis: Gesamtenergiebilanz des Gebäudes in Abhängigkeit von Standort und Nutzung

Der unter 3.4 beschriebene Energiebedarf bildet anschließend die Ausgangslage für die Kapitel 4 und 5, welche die Bereitstellung der benötigten Energie über haustechnische Systeme in ihren Abhängigkeiten untersuchen.

Die am Ende des dritten Kapitels vorliegende opake, bewohnte Hülle erfüllt zwar nicht den etablierten Anspruch an ein Wohnhaus, kann aber bereits nach der Definition der deutschen Landesbauordnung als Gebäude bezeichnet werden.

Definition Gebäude

Die Landesbauordnungen der deutschen Bundesländer definieren Gebäude wie folgt:
„Gebäude sind selbstständig benutzbare, überdeckte bauliche Anlagen, die von Menschen betreten werden können und geeignet oder bestimmt sind, dem Schutz von Menschen, Tieren oder Sachen zu dienen.“

Es wird innerhalb der nächsten Kapitel bewusst versucht das Gebäude zu Beginn so reduziert wie möglich zu definieren um die einzelnen Bestandteile einzeln in ihren Abhängigkeiten betrachten zu können. Wie bereits beschrieben verfolgt die Arbeit eine Optimierung der Gesamtenergiebilanz. Dass einige Ergebnisse nicht mit den architektonischen Ansprüchen der Bewohner übereinstimmen und folglich eher unrealistisch sind wird zugunsten einer konsequenten Zielsetzung in Kauf genommen.

3.1 Konstruktionsprinzipien für mögliche Regelwandaufbauten

Im Folgenden werden vier Prinzipaufbauten stellvertretend untersucht. Für jeden der Prinzipaufbauten wird aufgrund konstruktiver Besonderheiten ein gesondertes Datenblatt benötigt, die der Arbeit beiliegen. Die ausgewählten Aufbauten erheben nicht den Anspruch alle Möglichkeiten abzudecken, eine Einschränkung der Anzahl ist jedoch notwendig um nicht den Rahmen dieser Arbeit zu sprengen.

Es werden für die späteren Berechnungen für jedes der Systeme zwei konkrete Wandaufbauten angenommen. Die Veränderung der Daten einzelner Bausteine und in begrenztem Maß auch das Auswechseln einzelner Komponenten ist aber innerhalb des beiliegenden Arbeitsblattes möglich.

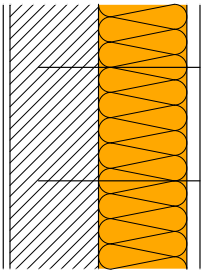
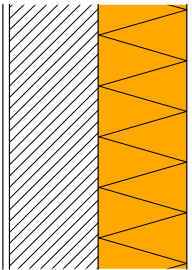
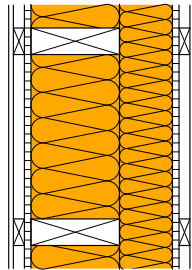
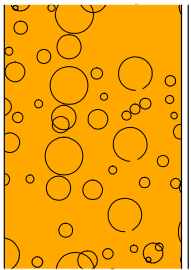
1 - Vorgehängte, hinterlüftete Konstruktion	2 – Wärmedämmverbundsystem	3 - Heterogener Wandaufbau	4 - Monolithische Konstruktion
			
Konstruktionsprinzip			
Homogene tragende Hinterkonstruktion mit vorgehängtem Witterungsschutz. Dämmung witterungsgeschützt zwischen Fassade und Hinterkonstruktion	Auf einer homogenen, tragenden Hinterkonstruktion aufgeklebte druckfeste Dämmelemente. Außenseitig zum Witterungsschutz verputzt	Beplankte Pfostenkonstruktion mit hinterlüfteter Fassadenkonstruktion. Dämmung witterungsgeschützt zwischen den Pfosten und ab einer Dicke von 20 cm auch vor den Pfosten	Monolithischer, beidseitig verputzter Aufbau. Die Wand übernimmt sowohl tragende als auch dämmende Funktion
Materialien			
Tragende Ebene: Beton, Stein, Holz Fassadenebene: Holzwerkstoffe, Naturstein, Kunststein	Tragende Ebene: Beton, Stein, Holz Putz	Tragende Ebene: Holz, Stahl Fassadenebene: Plattenwerkstoffe, Holzwerkstoffe	Mauerwerk, Lehm, Poröse Kunststeine (Porenbeton) Putz
Anforderung an den Dämmstoff			
nicht druckfest, nicht wasserfest	Druckfest, eventuell auch wasserfest	nicht druckfest, nicht wasserfest	sehr Druckfest (tragend), eventuell auch wasserfest
Wärmebrücken an Detailschlüssen			
vermeidbar	vermeidbar	vermeidbar	Nicht vermeidbar
Wärmebrücken in der Fläche*			
Durch die Aufhängungen der Fassade immer vorhanden. Angenommen mit 0,02 W/m²K	Keine	An den Pfosten vorhanden, kann durch kreuzweise angeordnete Elemente minimiert werden. Angenommen mit 0,01 bis zu einer Dämmstärke von 20cm, 0,05 bei mehr als 20 cm	keine
Berechnungsblatt			
3.1 Vorgehängte Konstruktion.xls	3.1 Dämmverbund.xls	3.1 Heterogener Wandaufbau.xls	3.1 Monolithische Konstruktion.xls

Tabelle 1: Konstruktionsprinzipien für Regelwandaufbauten

* Obwohl sich die Wärmebrücken in Relation zur Wanddicke verändern werden die entsprechenden Werte als Vereinfachung angenommen.

3.1.1. Kriterien für die Auswahl von Konstruktionssystemen

Die Kriterien für die Auswahl eines geeigneten Konstruktionssystems werden innerhalb dieser Arbeit unterteilt in Konstruktions- und Standortkriterien.

Die Konstruktionskriterien beschreiben was der Aufbau zu leisten in der Lage ist.

Die Standortkriterien beschreiben was vor Ort gewünscht ist, realisiert und bezahlt werden kann.

Die Kriterien werden zwar beispielhaft für die ausgewählten vier Prinzipaufbauten durchgeführt, Ziel ist jedoch über eine Definition von Auswahlkriterien den späteren Vergleich auch mit weiteren Systemen zu ermöglichen. Die vier genannten Konstruktionsprinzipien dienen als Beispiel für die entwickelten Kriterienkataloge.

3.1.1.1 Konstruktionskriterien

Die Konstruktionsfaktoren sind durch zahlreiche Normen und Richtlinien beschrieben und können deshalb für alle konkreten Aufbauten klar definiert werden. Für die Prinzipaufbauten gilt nach Stand der Technik:

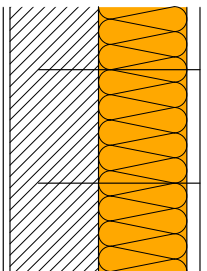
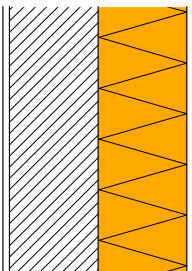
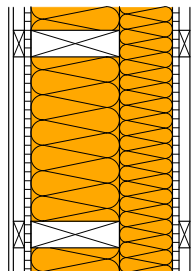
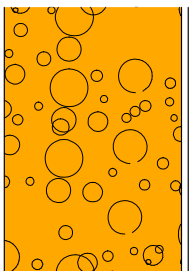
1 - Vorgehängte, hinterlüftete Konstruktion	2 – Wärmedämmverbundsystem	3 - Heterogener Wandaufbau	4 - Monolithische Konstruktion
			
Tragfähig			
ja	ja	ja	ja
Dämmfähig			
ja	ja	ja	ja
Speicherfähig			
ja	ja	nein (mit Latenzspeicher ja)	ja
Brennbar			
nein	nein	ja	nein
Regensicher/ Wasserdicht			
ja / nein	ja / ja	ja / nein	ja / ja
Schallschützend			
ja (Masse)	ja (Masse)	ja (Masse-Feder-Masse)	ja (Masse)
Raumbildend			
ja	ja	ja	ja
Resistent gegen mechanische Beschädigung			
ja	nein	ja	ja

Tabelle 2: Konstruktionsfaktoren für die Auswahl von Konstruktionssystemen

Die vier Beispielsysteme sind alle konstruktiv hoch entwickelt und in der Lage alle Kriterien mehr oder weniger gut zu erfüllen. Andere Konstruktions- und Wandsysteme, wie zum Beispiel Lehm oder Papierwände können hier an Kriterien scheitern. Eine Lehmwand ist nicht regensicher und funktioniert an Standorten mit Regen nur mit einem entsprechenden Dachüberstand. Eine Papierwand erfüllt zusätzlich den Schallschutz nicht.

Die Konstruktionskriterien sind der Vollständigkeit innerhalb dieser Arbeit genannt um später auch für exotischere Wandkonstruktionen eine einheitliche Vorgehensweise zu gewährleisten.

Kann ein Prinzipaufbau die geforderten Anforderungen nicht erfüllen kommt er für eine Realisierung nicht in Frage. Neben absoluten, qualitativen Kriterien können basierend auf den örtlich etablierten Berechnungsmodellen auch relative, quantitative Kriterien formuliert resultieren. Neben einem Ausschluss einzelner Systeme kann sich aus den Konstruktionskriterien folglich auch ein Ranking ergeben.

3.1.1.2 Standortkriterien

Im Gegensatz zu den Konstruktionskriterien gibt es für Standortkriterien keine Normen. Aus diesem Grund wird im Folgenden versucht aufzuzeigen welche Einflüsse standortbedingt auftreten können und wie diese zu berücksichtigen sind.

In Bezug auf ein konkretes Projekt ist zu klären:

Was wird vor Ort gewünscht?	(gesellschaftlich, politisch und wirtschaftlich)	3.1.1.1.1
Was kann vor Ort realisiert werden?	(technologisch, ökonomisch)	3.1.1.1.2
Was darf vor Ort realisiert werden?	(politisch)	3.1.1.1.3

Zu allen drei Punkten ist eine Vielzahl von Antworten möglich, jede das Resultat einer individuellen Situation und ihrer eigenen Geschichte. Es soll versucht werden anhand einzelner Beispiele die Spielräume der Standortkriterien aufzuzeigen ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

3.1.1.1.1 Was wird vor Ort gewünscht?

74% aller Bauherren in Deutschland geben an, der energetische Standard spiele bei der Planung ihres Gebäudes eine große oder sehr große Rolle. Begründet wird dies mit den steigenden Energiepreisen und der Notwendigkeit des Umweltschutzes. [2]

Das Interesse von politischer Seite wird durch den in der EnEV vorgeschriebenen Mindestenergiestandard und die durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) für energieeffiziente Neubauten und Sanierungen gewährten vergünstigten Kredite belegt. [3]

Eine Studie des Bundesumweltamtes [4] prognostiziert, dass innerhalb von 20 Jahren mit Effizienztechnologie in Deutschland mehr Umsatz erzielt wird als durch Automobilindustrie. Neben der Verbesserung des Gebäudestandards ist es das erklärte Ziel der KfW durch die Bezuschussung von Bauherren Arbeitsplätze in der Bauindustrie zu sichern.

Diese Zahlen mögen als Beispiel dienen für ein Land in dem energieeffiziente Gebäude auf allen Ebenen als gewünscht gelten können.

In Japan ergab eine Umfrage unter potentiellen Käufern von Häusern in der Kobunaki-Siedlung, einer ökologischen Mustersiedlung, bei 93% (65 von 70) der Befragten ein Interesse ökologischer zu leben. Nur 12 der befragten Personen assoziierten jedoch mit diesem Wunsch auch das Interesse an weniger Energieverbrauch durch ihr Gebäude. Nur 7 der 12 Interessenten waren bereit für diesen Wunsch auch mehr Geld zu bezahlen. [5]

Seit 1976 gibt es von politischer Seite in Japan eine Empfehlung für einen Dämmstandard für Neubauten, der in der aktuellen Version für die gemäßigten Zonen einen U-Wert von 2,7 W/m²K ansetzt. Diese Empfehlung ist jedoch in keiner Weise bindend. Studien und Evaluationen über den Anteil der nach der Empfehlung realisierten Gebäude liegen nicht vor. [6]

80% aller Einfamilienhäuser in Japan werden in Holzbauweise errichtet. [7] Die gesamte Infrastruktur der Bauindustrie ist auf den Holzbau ausgerichtet. Die geringe Lebensdauer japanischer Gebäude (ca. 20-30 Jahre) und die geringe Konkurrenz aus dem Ausland sichert die Auftragslage der Bauindustrie. Von wirtschaftlicher Seite besteht mutmaßlich kein Interesse an einem Wechsel von Holz- zu Massivbau und an dauerhafteren Gebäuden.

Das aktuell stark Wachsende Interesse von japanischer Seite an energieeffizienten Gebäuden ist in erster Linie gesundheitlich bedingt: Laut einer Studie des japanischen Gesundheitsministeriums leiden fast eine Million Japaner an Krankheitsbildern die mittelbar aus schlechtem Wohnbestand resultieren. [8]

- Bei beiden Beispielen handelt es sich um Industrienationen, mit vergleichbaren technischen und ökonomischen Möglichkeiten. Die Wünsche bezüglich der Gebäude unterscheiden sich jedoch genauso deutlich wie die Hintergründe dieser Wünsche. Der Wunsch nach einem energetisch optimierten Gebäude bildet die Basis der weiteren Überlegungen. Es wird deshalb davon ausgegangen das ein solches Gebäude gewollt ist.

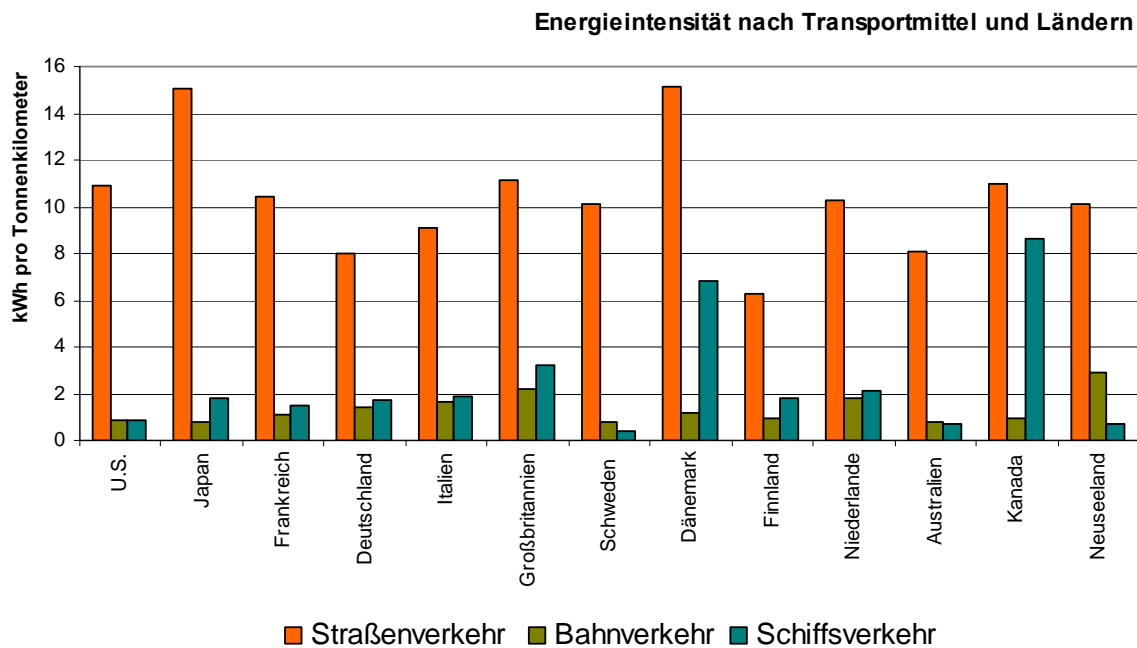
3.1.1.1.2 Was kann vor Ort realisiert werden?

Der Wunsch nach einer Lösung bedingt nicht, dass diese auch umgesetzt werden kann. Im Fall von Gebäuden ist zu klären ob die notwendigen Materialien zur Verfügung stehen, diese verwendet (baulich eingesetzt) werden können und ob Arbeitsleistung und Material bezahlt werden kann.

3.1.1.1.2.1 Verfügbarkeit und Transport von Material

Die Internetseiten von international tätigen Speditionen beantworten die Frage nach der weltweiten Verfügbarkeit von Material mit einem klaren ja. Hapag Lloyd beispielsweise liefert mit 133 Schiffen insgesamt 2,8 mio TEU (ein TEU entspricht einem 20 Fuß Container) Güter in 130 Länder der Welt. [9] Die Frage nach der Verfügbarkeit ist vor dem Hintergrund des Ziels einer gesamtenenergetischen Optimierung um die Frage ergänzen, welche Auswirkungen der Transport von Materialien hat.

Die folgende Grafik listet die Daten pro Tonnenkilometer für einige Mitgliedsstaaten der Internationalen Energieagentur IEA [10] auf:



Grafik 1: Energieintensität nach Transportmittel und Ländern

Die einzelnen mittleren Energieintensitäten resultieren aus geographischen Besonderheiten (z.B. dem sehr bergigen Japan), der Infrastruktur der einzelnen Länder (z.B. der Qualität der Straßen) und dem technischen Stand der verwendeten Fahrzeuge (z.B. Durchschnittsverbrauch LKW). Für jeden Tonnenkilometer verändert sich also die Bilanz des beförderten Baustoffes.

- In der Energieintensität des Warentransportes sind auch im direkten Vergleich der aufgelisteten Industrienationen Abweichungen von bis zu einhundert Prozent zu verzeichnen. Um die Auswirkungen des Transportes seriös zu bewerten ist deshalb im Einzelfall bei bekanntem Produktions- und Zielort eine Bilanzierung mit einer geeigneten Datenbank (beispielsweise GEMIS oder Ecolnvent) notwendig.

Für den Transport von Bautechnologie kann formuliert werden:

- Ökologisch ist der Transport von Produkten insbesondere dann zu befürworten wenn die Herstellung an einem Ort deutlich umweltverträglicher erfolgen kann, so dass mehr Umweltfolgen durch bessere Produktion vermieden werden können als durch den Transport zusätzlich anfallen. Insbesondere bei besonders aufwendig herzustellenden oder sehr viel Material oder Energie erfordernden Gütern ist dies schnell der Fall.
- Ökonomisch bilden die Transportkosten einen Teil der Gesamtkosten. Diese sind abhängig von Volumen und Gewicht der zu transportierenden Ware, wo in der Regel das Volumen der limitierende Faktor ist. Der Transport ist aus ökonomischer Sicht also besonders für kleine, leichte und wertvolle Güter sinnvoll, da die Transportkosten hier nur einen Bruchteil des Endpreises ausmachen.

3.1.1.1.2.2 Die Technologischen Möglichkeiten vor Ort

Die technologischen Möglichkeiten vor Ort beinhalten für den Weg vom Rohstoff zum Gebäude notwendige Maschinen und Facharbeitskräfte. Die folgende Tabelle listet die notwendigen Voraussetzungen nach Konstruktionssystem auf. Die Auflistung wird unterteilt in eine High-tech Auflistung und eine Low-tech Alternative:

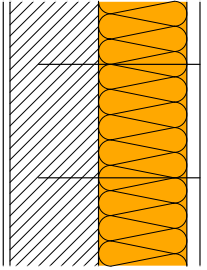
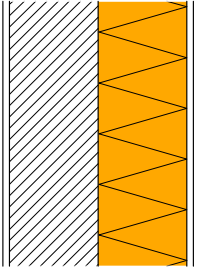
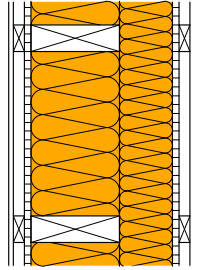
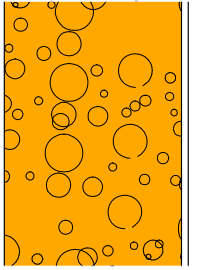
1 - Vorgehängte, hinterlüftete Konstruktion	2 – Wärmedämmverbundsystem	3 - Heterogener Wandaufbau	4 - Monolithische Konstruktion
			
Maschinen für die Materialgewinnung der Konstruktion			
High-tech: Ziegel- oder Porenbetonwerke, Stahlindustrie für die Aufhängung Low-tech: Evtl. Maschinen zur Holzbearbeitung für einen Ersatz der Aufhängung durch Holz; Lokal geformte und gebrannte Steine (Lehmziegel)	High-tech: Ziegel- oder Porenbetonwerke Low-tech: Lokal geformte und gebrannte Steine (Lehmziegel), Formstücke und Brennofen	High-tech: Sägewerke, Forstgerät, CNC- Fräse, Harvester Low-tech: Axt, Motorsäge, Hobel	High-tech: Porenbetonwerk Low.tech: Verwendung vorhandener poröser Steine, Werkzeug zum bearbeiten von Steinen
Facharbeiter für die Materialgewinnung der Konstruktion			
High-tech: Verfahrensmechaniker Low-tech: Ungelernte Hilfsarbeitskräfte	High-tech: Verfahrensmechaniker Low-tech: Ungelernte Hilfsarbeitskräfte	High-tech: Forstarbeiter, Zimmerer Low-Tech: Forstarbeiter, Zimmerer	High-tech: Verfahrensmechaniker Low-tech: Steinmetze
Maschinen für die Materialgewinnung der Dämmung			
High-tech: Dämmstoffindustrie, z.B Zentrifuge zum herstellen von Mineralwolle Low-tech: Häckseler zum Zerkleinern von Schüttdämmung aus Resten	High-tech: Kunststoff-/ Dämmstoffindustrie, z.B Zentrifuge zum herstellen von Mineralwolle Low-tech: Verwendung vorhandener Plattenelemente	High-tech: Dämmstoffindustrie, z.B Zentrifuge zum Herstellen von Mineralwolle Low-tech: Häckseler zum Zerkleinern von Schüttdämmung aus Resten	s.o.
Facharbeiter für die Materialgewinnung der Dämmung			
High-tech: Verfahrensmechaniker Low-tech: Ungelernte Hilfsarbeitskräfte	High-tech: Verfahrensmechaniker Low-tech: Ungelernte Hilfsarbeitskräfte	High-tech: Verfahrensmechaniker Low-tech: Ungelernte Hilfsarbeitskräfte	s.o.
Planer/ Ingenieure			
Statiker, Bauphysiker	Statiker, Bauphysiker	Statiker, Bauphysiker	Statiker
Für den Aufbau benötigte Maschinen			
Kran, Bindemittel, Bohrmaschine, Hammer, Schrauber, Mischer (Mörtel)	Kran, Bindemittel, Bohrmaschine, Hammer, Schrauber, Mischer (Mörtel)	Kran, Bindemittel, Bohrmaschine, Hammer, Schrauber, Mischer (Mörtel)	Kran, Bindemittel, Bohrmaschine, Hammer, Schrauber, Mischer (Mörtel)
Für den Aufbau benötigte Facharbeiter			
Maurer, Fassadenbauer, Trockenbauer	Maurer, Trockenbauer	Zimmermann	Maurer, Trockenbauer
Für den Erhalt benötigte Facharbeiter			
Ggf. Maler	Maler	Ggf. Maler oder Zimmermann	Maler

Tabelle 3: Standortkriterien für die Auswahl von Konstruktionssystemen

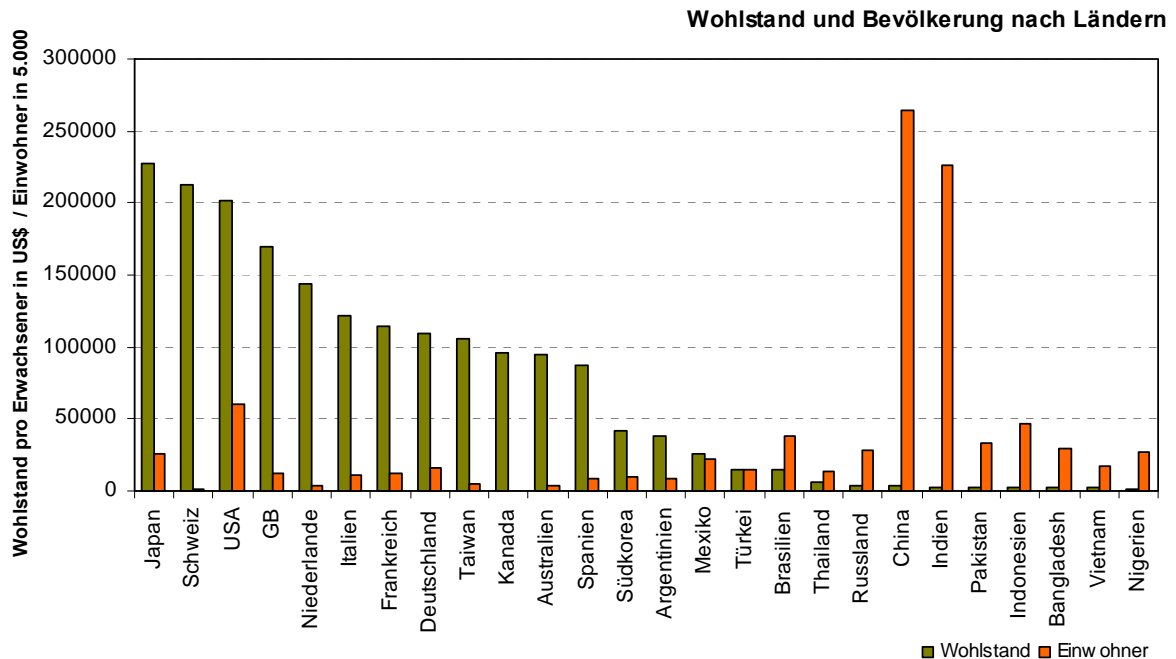
Ein festes Ausschlusskriterium lässt sich hier nicht formulieren. In Abhängigkeit von Umfang und Zielsetzung des Bauvorhabens kann zum einen über mehr Arbeitskraft eventuell ein Defizit an Maschinen ausgeglichen werden, zum anderen kann über Know-how Transfer ein Defizit an Fachwissen ausgeglichen werden.

Es ist im Einzelfall zu klären welche Systeme vor Ort realisiert werden können und welche Zusatzleistungen ggf. erbracht werden müssen (Schulungen, Import von Facharbeitern).

3.1.1.1.2.3 Ökonomische Möglichkeiten vor Ort

Der Weltwohlstand von Haushalten betrug im Jahr 2000 etwa 125.337.500.000.000 US\$. Bei angenommenen 3,7mrd. Erwachsenen werden etwa 2198 US\$ benötigt um zur reicheren Hälfte zu gehören. Nach einer Studie der Vereinten Nationen sind es 61.000 US\$ für die oberen 10% und 510.000 US\$ für das oberste 1%. [11] Die reichsten 10% der Weltbevölkerung besitzen 85% des Wohlstandes. Das reichste 1% besitzt immer noch 40%.

Die folgende Grafik zeigt den durchschnittlichen Wohlstand pro Erwachsenen und die Einwohnerzahl [12] für einige Beispielländer. Abgebildet sind mit insgesamt knapp 5 mio. Menschen etwa 71% der Weltbevölkerung 2007.



Grafik 2: Wohlstand und Einwohner nach Ländern

Die weltweite Verfügbarkeit von Bautechnologie bedingt nicht, dass jeder Mensch sich auch alle Technologien leisten kann. Der Wohlstand weltweit ist in hohem Maß ungleichmäßig und ungerecht verteilt.

- Die mangelnden ökonomischen Möglichkeiten schränken in vielen Fällen die Auswahl an Baustoffen und Technologien ein. Für andere Technologien kommen gegebenenfalls nur ältere, ineffizientere Versionen in Frage.

Da Zentraljapan zu Beginn der Arbeit als Anwendungsbeispiel für die entwickelten Rechenmodelle gewählt wurde, und dieses Land ökonomisch kaum Einschränkungen unterliegt, wird trotz der weltweiten Lage der Schwerpunkt der Arbeit weiterhin auf möglichst gute Hightech Baustoffe gelegt.

3.1.1.1.2 Was ist vor Ort erlaubt?

In Deutschland ist die Realisierung von Holzgebäuden nur bis zu einer zweigeschossigen Bauweise erlaubt. [13]. Auch wenn mit denselben Bauteilen in den Nachbarländern Österreich und Schweiz auch viergeschossige Gebäude realisiert werden können und dürfen, für Bauvorhaben in Deutschland ist diese Beschränkung bindend. Die Liste abweichender Bestimmungen trotz gleicher Ausgangslage lässt sich fortsetzen. Die Brandschutzbestimmungen der deutschen Bundesländer weisen Unterschiede in den erlaubten Längen für Fluchtwege obwohl die Menschen in Süddeutschland nicht nachweislich schneller laufen als im Norden [14]. Andere gesetzliche Rahmenbedingungen resultieren aus besonderen Bedingungen vor Ort. Konstruktionen in Japan beispielsweise müssen, je nach Region, besondere Bestimmungen zur Erdbebensicherheit erfüllen [15].

- In Bezug auf die gesetzlichen Möglichkeiten ist in der Regel kein Spielraum gegeben. Ein Konstruktionssystem ist entweder genehmigungsfähig oder nicht. Wenn ein System nach Gesetzeslage nicht genehmigungsfähig ist bleibt für Testkonstruktionen und Gebäude ggf. die Möglichkeit einer Sondergenehmigung.

3.1.2 Die Gesamtenergiebilanz der Konstruktionssysteme im Vergleich

Nachdem die Kriterien für die Auswahl geeigneter Konstruktionssysteme behandelt wurden, werden die in Frage kommenden Systeme im Folgenden bezüglich ihrer Gesamtenergiebilanz verglichen.

Hierzu erforderlich sind:

- konkrete Aufbauten für die Konstruktionsprinzipien
- bauphysikalische Daten der verwendeten Materialien
- Daten zu den Energieaufwendungen für Herstellung, Transport und Rückbau der Materialien – die Graue Energie der Baustoffe

Die Berechnungen erfolgen nach den in Kapitel eins beschriebenen Ansätzen und Methodik.

3.1.2.1 Referenzaufbauten

Für jedes System werden zuerst zwei Referenzaufbauten benannt. Die Änderungen zwischen Aufbau A und Aufbau B sind jeweils rot markiert. Die folgende Tabelle listet die beiden Referenzaufbauten (A und B), sowie die resultierenden Kennwerte für Graue Energie und U-Wert auf.

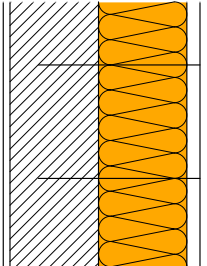
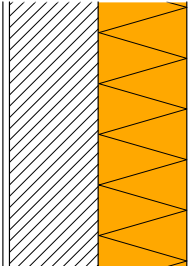
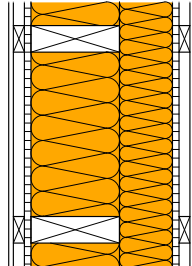
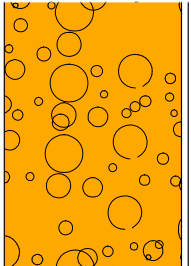
1 - Vorgehängte, hinterlüftete Konstruktion	2 - Dämmverbund	3 - Heterogener Wandaufbau	4 - Monolithische Konstruktion
			
Referenzaufbau A (von Innen nach Außen)			
Gipsputz 1 cm	Gipsputz 1 cm	Gipskarton 1,25 cm	Gipsputz 1 cm
Kalksandstein 17,5 cm	Kalksandstein 17,5 cm	Lattung/Installationsebene 4 cm	Porenbeton WLG 080 var.
Mineralwolle WLG 040 var.	EPS WLG 040 var.	OSB-Platte 1,8 cm	Außenputz 1 cm
Luftschicht 1 cm	Außenputz 0,5 cm	Konstruktionsvollholz (Kiefer) (Pfosten) var.	
Vormauerziegel 11,5 cm		Mineralwolle WLG 035 (Gefache) var.	
		DWD-Platte 2,2 cm	
		Lattung 4 cm	
		Zementgebundene Faserplatte 1 cm	
CO₂e-Treibhauseffekt / m² nach Ecolinvent			
107,3 kg + 0,72 kg/cm	45 kg + 1,2 kg/cm	28,5 kg + 0,74 kg/cm	10,7 kg + 3,3 kg/cm
Graue Energie / m²			
218,4 kWh + 2,18 kWh/cm _D	166,6 kWh + 5,05 kWh/cm _D	147,1 kWh + 1,70 kWh/cm _D (bis 20 cm Dämmung) 181,1 kWh + 2,20 kWh/cm _D (ab 21 cm Dämmung)	21,3 kWh + 10,8 kWh/cm _D Mindestens 15 cm Porenbeton, also mind. 183,1 kWh
Referenzaufbau B (von Innen nach Außen)			
Gipsputz 1 cm	Gipsputz ... 1 cm	Gipskarton 1,25 cm	
Kalksandstein 17,5 cm	Hochlochziegel 17,5 cm	OSB-Platte 1,8 cm	
Mineralwolle WLG 040 var.	EPS WLG 040 var.	Konstruktionsvollholz (Kiefer) (Pfosten) var.	
Luftschicht 4 cm	Außenputz 0,5 cm	Mineralwolle WLG 035 (Gefache) var.	
Zementgebundene Faserplatte 2 cm		DWD-Platte 2,2 cm	
		Lattung 4 cm	
		Unbehandelte Holzfassade 1 cm	
CO₂e-Treibhauseffekt / m² nach Ecolinvent			
48,5 kg + 0,72 kg/cm	66,4 kg + 1,2 kg/cm	10,9 kg + 0,74 kg/cm	
Graue Energie			
166,9 kWh + 2,18 kWh/cm _D	193,2 kWh + 5,05 kWh/cm _D	121,5 kWh + 1,70 kWh/cm _D (bis 20 cm Dämmung) 155,5 kWh + 2,20 kWh/cm _D (ab 21 cm Dämmung)	
Berechnungsblatt			
3.1 Vorgehängte Konstruktion.xls	3.1 Dämmverbund.xls	3.1 Heterogener Wandaufbau.xls	3.1 Monolithische Konstruktion.xls

Tabelle 4: Referenzaufbauten für die Konstruktionssysteme

3.1.2.2 Referenzmaterialien

Die folgenden Daten für die Baustoffe werden verwendet:

	Lambda λ in W/ mK	μ_1/ μ_2	Gewicht pro m³ in kg	Treibhaus- effekt in Kg CO₂e/ m³	Graue Energie in kWh/m³	Treibhaus- effekt in Kg CO₂e/ kWh
Dämmstoffe						
Mineralwolle WLG040	0,040	1	50	71,5	(150 – 400)* 200	0,358
Mineralwolle WLG035	0,035	1	50	72	(150 – 400)*	0,360
Mineralwolle WLG032	0,032	1	50	73,5	(150 – 400)*	0,368
Holzfaserwolle WLG 040	0,040	5	60*		(560 – 800)* 650*	
Polysterol expandiert EPS WLG040	0,040	20 / 100	18	119,5	(200 - 760)* 520	0,230
Polysterol expandiert EPS WLG035	0,035	20 / 100	18	120,6	(200 - 760)* 520	0,232
XPS WLG040	0,040	80 / 250	20	119,6	(450 – 1.000)* 800*	0,150
Zellulose Wolle			60	23,4	130	0,150
Strohballen						
XPS WLG035	0,035	80 / 250	60	360	(450 – 1.000)* 800*	
Holz						
Kiefer, Fichte KVH, luftgetrocknet	0,13	40*	540	93,4	499	0,187
Großflächige Bauteile						
Zementestrich (armiert)			1700	341,7	550	
Magerbeton			2190	142,2	214	0,664
Ortbeton (bewehrt/ Fe 80kg/m ³)	2,1	70 / 150	2450	190,9	722	0,264
Holzwerkstoffe						
OSB Platten	0,13*	200*	500	411	2500	0,164
DWD Platten	0,09*	11*	565*	485,9	2000	0,243
MDF Platten	0,17*	70*	900	767,7	3.500	0,219
Mörtel und Putze						
Klebmörtel für WDV (Kunststoffbasis)	0,8		1.600	1728	11.218	0,154
Gipsputz	0,55	10	1.800	156,4	865	0,181
Außenputz	0,87	15 / 35	1.500	909	825	1,102
Plattenwerkstoffe						
Zementgebundene Faserplatte	0,58	20 / 50	2.000		2900	
Gipskarton	0,25	8	900		1549	
Steine						
Ziegel	0,58	5 / 10	1.400	344,4	800	0,431
Vormauerziegel	0,68	5 / 10	1.600	580,8	700	0,830
Kalksandstein	0,79*	5 / 25*	1.600*	222,4	648	0,343
Porenbetonstein	0,19		781	326,5	1.079	0,303
Folien						
PE-Folie	0,2	100.000	1.100	5709	24.117	0,237
Diff.-off. Folie			930			
Bituminöse Abklebung	0,17	2.000 / 20.000	1.200	3576	16.807	0,213

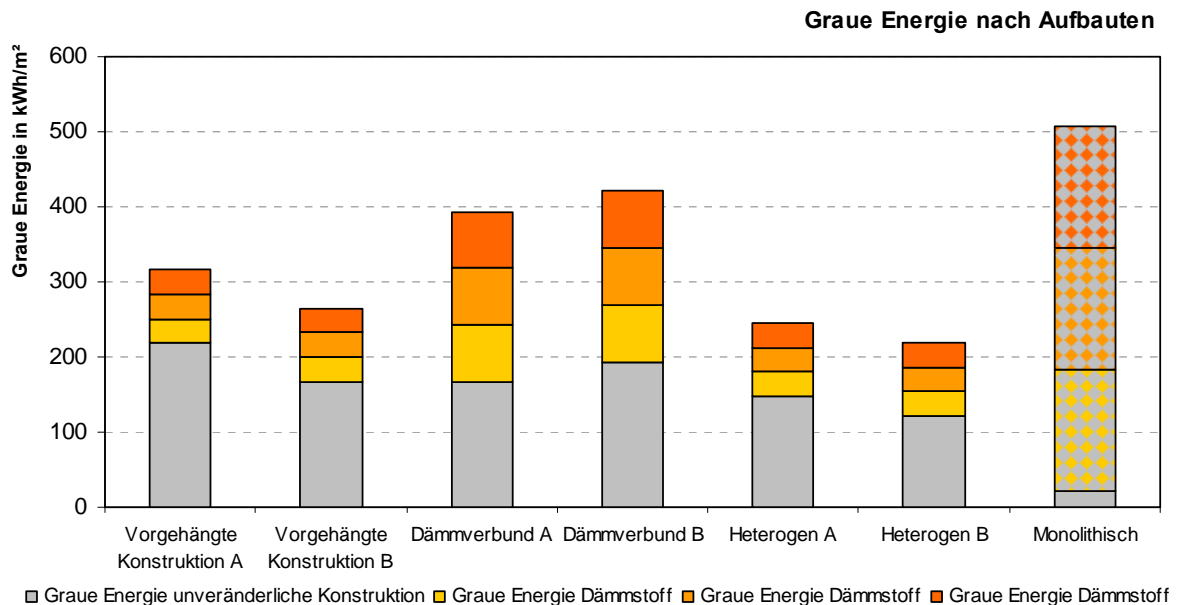
Tabelle 5: Bauphysikalische Daten der verwendeten Baustoffe

Für die mit einem * markierten Baustoffe existiert eine Vielzahl von einander stark abweichender Daten. Dies hängt mutmaßlich mit unterschiedlichen Produktionsmethoden zusammen, konnte aber auch durch eine umfangreiche Recherche nicht endgültig geklärt werden. Verwendet werden die Daten aus Ecolinvent.

3.1.2.3 Vergleich Graue Energie

Auf der Basis der definierten Aufbauten und der Materialwerte ist ein erster Vergleich der in den Systemen enthaltenen grauen Energie möglich.

Die folgende Grafik vergleicht die in den einzelnen Referenzaufbauten enthaltene Graue Energie. Die farbigen Flächen markieren jeweils die Graue Energie für 15 cm Dämmung (Dämmmaterial nach System). Im Fall des Monolithischen Aufbaus ist kein differenzierter Wert für die Graue Energie der Dämmung ausgewiesen, da hier tragende und dämmende Funktion von der gleichen Schicht übernommen werden. Aufgrund der unterschiedlichen Baustoffe haben die Aufbauten außerdem unterschiedliche Gesamt U-Werte.



Grafik 3: Vergleich Graue Energie der Referenzaufbauten

Aus dem Vergleich der in den Systemen enthaltenen Grauen Energie lassen sich erste Erkenntnisse ableiten:

- Auch bei hohen Dämmstärken macht die in den tragenden und verkleidenden Bauteilen enthaltene Energie (grau dargestellt) einen bedeutenden Teil der Gesamtmenge aus. Es ist demnach sinnvoll, bestehende Strukturen zu nutzen und zu sanieren um im Bereich der tragenden Struktur die Gesamtbilanz zu verbessern. Da die tragenden Materialien den überwiegenden Teil des Gewichts eines Systems ausmachen ist bei diesen Bauteilen die Problematik des Transportes erheblich größer als bei der leichteren Dämmung. Vor diesem Hintergrund sollten lokale, vorhandene Baustoffe verwendet werden.
- Durch auswechseln einzelner Materialien (Referenzvarianten A und B) innerhalb der Systeme sind Unterschiede in der Grauen Energie vorhanden. Unter Berücksichtigung der Anforderungen an ein Konstruktionssystem (siehe 3.1.1.1) ist eine Optimierung unter dem Aspekt der Grauen Energie also durchaus sinnvoll.

Unberücksichtigt bleibt bei diesem ersten Vergleich die Anpassung eines Aufbaus an die Klimabedingungen des Standortes sowie die Transmission durch die Wand.

Dies wird im Folgenden bei einem Vergleich der Gesamtenergiebilanz untersucht. Hierzu wird die Idee eines auf der Basis der Energiebilanz entwickelten Optimums verfolgt.

3.1.3 Die optimale Gesamtenergiebilanz

Um die Betrachtung der in den Bauteilen enthaltenen Grauen Energie um die Transmission zu erweitern müssen sowohl die anliegende Temperaturdifferenz über die Lebensdauer und die vorhandene Dämmstärke bekannt sein. Die Dämmstärke wird dem Ansatz der der Arbeit folgend so gewählt, dass die Summe aus Grauer Energie und Transmission möglichst gering ausfällt. Das Ergebnis ist die bestmögliche Gesamtbilanz unter den gegebenen Rahmenbedingungen, nachfolgend die optimale Gesamtenergiebilanz genannt.

Rechenweg:

Für die ökologisch optimale Dämmstärke muss gelten:

$$\sum \text{Graue Energie}_{\text{Baustoffe}} + \sum \text{Transmissionsverluste über Lebensdauer des Systems} = \text{minimal}$$

Für die Graue Energie gilt:

$$\sum \text{Graue Energie}_{\text{Baustoffe}} = \sum \text{Graue Energie}_{\text{Konstruktion}} + \sum \text{Graue Energie}_{\text{optimale Dämmstärke}}$$

Die in den Wandaufbauten enthaltene Graue Energie steigt also von einem Basiswert (siehe 3.1.2.3) linear mit wachsender Dämmstärke.

Für die Transmission gilt:

$$\sum \text{Transmission über Lebensdauer des Systems} = U\text{-Wert}_{\text{optimal}} * \sum \text{Gradtage über Lebensdauer des Systems}$$

Es gelten für die Berechnungen die in Kapitel 1 definierten Einschränkungen. Die folgenden Rechnungen differenzieren noch nicht nach der Richtung des Wärmestroms (Kühl- bzw. Heizfall).

Der für die Berechnung der Transmission benötigte Standortfaktor der Temperaturdifferenz über die Lebensdauer der Konstruktion kann in Form von Gradtagen den verwendeten meteorologischen Datenbanken entnommen werden (Alle Daten innerhalb dieser Arbeit aus Meteonorm):

Definition Gradtage

Gradtage sind in den VDI-Richtlinien VDI 3807 und VDI 4710 festgelegt. Gradtage nach VDI 3807 sind als Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Raumtemperatur von 20°C und dem jeweiligen Tagesmittelwert der Lufttemperatur (Außentemperatur) definiert.

Gradtage der im Folgenden verwendeten Beispielstädte:

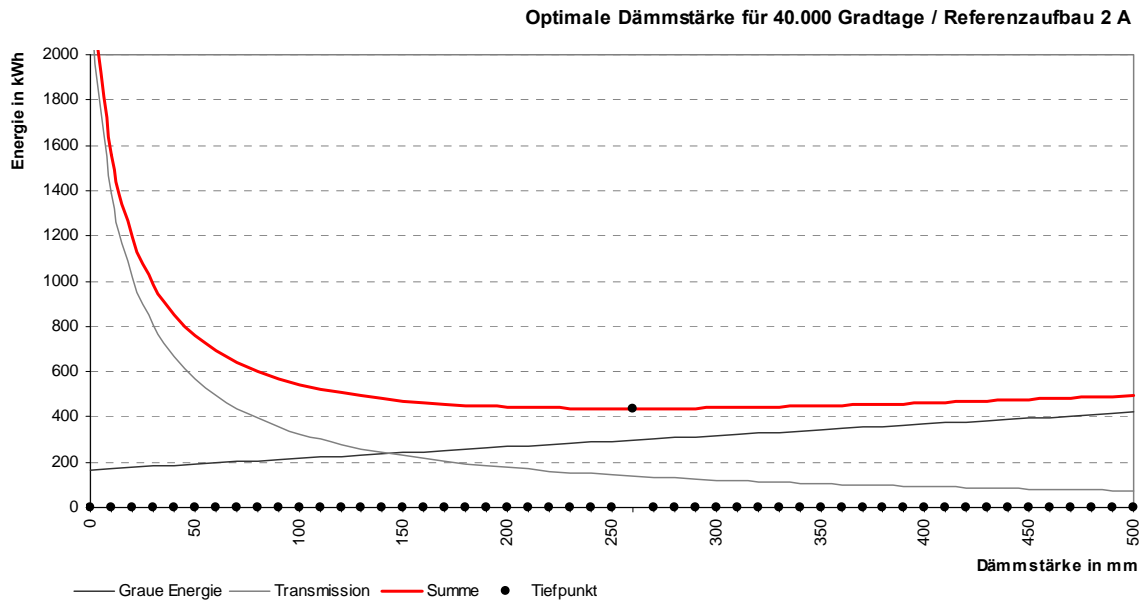
	Gradtage °C Außen < °C Innen (pro Jahr)	Gradtage °C Außen > °C Innen (pro Jahr)	Gradtage (pro Jahr)	Gradtage (10 Jahre)	Gradtage (20 Jahre)	Gradtage (30 Jahre)	Gradtage (40 Jahre)
Kinshasa	0	1.952,7	1.952,7	19.527	39.054	58.581	78.108
Kairo	588,6	1.237,7	1.826,3	18.263	36.526	54.789	73.052
Rio de Janeiro	0	944,9	944,9	9.449	18.898	28.347	37.796
Sydney	1.109,4	177,9	1.287,3	12.873	25.746	38.619	51.492
Tokyo	2.404,9	473,5	2.878,4	28.784	57.568	86.352	115.136
Rom	1994,7	381,2	2.375,9	23.759	47.518	71.277	95.036
Berlin	3.692,9	0	3.692,9	36.929	73.858	110.787	147.716
Helsinki	5.529,5	0	5.529,5	55.295	110.590	165.885	221.180
Moskau	5.662,4	0	5.662,4	56.624	113.248	169.872	226.496
Irkutsk	10.967,8	0	10.967,8	109.678	219.356	329.034	438.712

Tabelle 6: Gradtage nach Städten

3.1.3.1 Beispielberechnung einer optimalen Gesamtbilanz

Für die Ermittlung der optimalen Energiebilanz liegen der Arbeit Arbeitsblätter im Excel-Format bei. Da jedes Konstruktionssystem spezifische Besonderheiten aufweist, ist für jedes ein eigenes Arbeitsblatt erforderlich. Möglich ist aber die Veränderung einzelner Daten und Kennwerte der Materialien zum Beispiel aus den unter 3.1.2 aufgeführten Gründen.

Für angenommene 40.000 Gradtage und unter Verwendung des Referenzaufbaus 2A (WDVS mit EPS Dämmung) ergibt sich die folgende Grafik:



Grafik 4: Optimale Dämmstärke nach 3.1 Dämmverbund.xls

Der optimale Wert wird grafisch ermittelt. Für den in Grafik 3 dargestellten Fall ergibt sich eine optimale Dämmstärke von 26 cm. Die Gesamtenergiebilanz beträgt hierfür 436 kWh (138 kWh durch Transmission und 298 kWh in Form Grauer Energie).

Aus der Berechnung lassen sich als Erkenntnisse ableiten:

- Aus der Kombination von Grauer Energie und Transmission ergibt sich exakt ein optimaler Wert für die Gesamtenergiebilanz, also auch genau eine optimale Dämmstärke.
- Der Anstieg zu beiden Seiten des optimalen Punktes ist vergleichsweise flach. Durch geringe Abweichungen von der optimalen Dämmstärke ergeben sich also nur geringfügig schlechtere Gesamtbilanzen als optimal möglich.

Die Methodik und die Ergebnisse werden anhand einer Parameterstudie auf ihre Aussagekraft für die weitere Arbeit überprüft:

- 3.1.3.1.1 Verhalten der Gesamtenergiebilanz und der optimalen Dämmstärke bei der Veränderung einzelner Parameter der Konstruktion (Veränderung des Grauen Energiegehalts von Dämmung und Konstruktion/ sowie Wärmebrücken).
- 3.1.3.1.2 Quantifizierung der Abweichungen von der optimalen Gesamtenergiebilanz durch Wahl einer nicht optimalen Dämmstärke

Die Belastbarkeit und Spielräume der Methodik werden im Folgenden anhand einer Parameterstudie überprüft. Ziel ist hierbei die Veränderung der Aussagen bei abweichenden Parametern zu überprüfen und die Spielräume zu ermitteln, die bei der Wahl einer klimaangepassten Dämmstärke vorliegen.

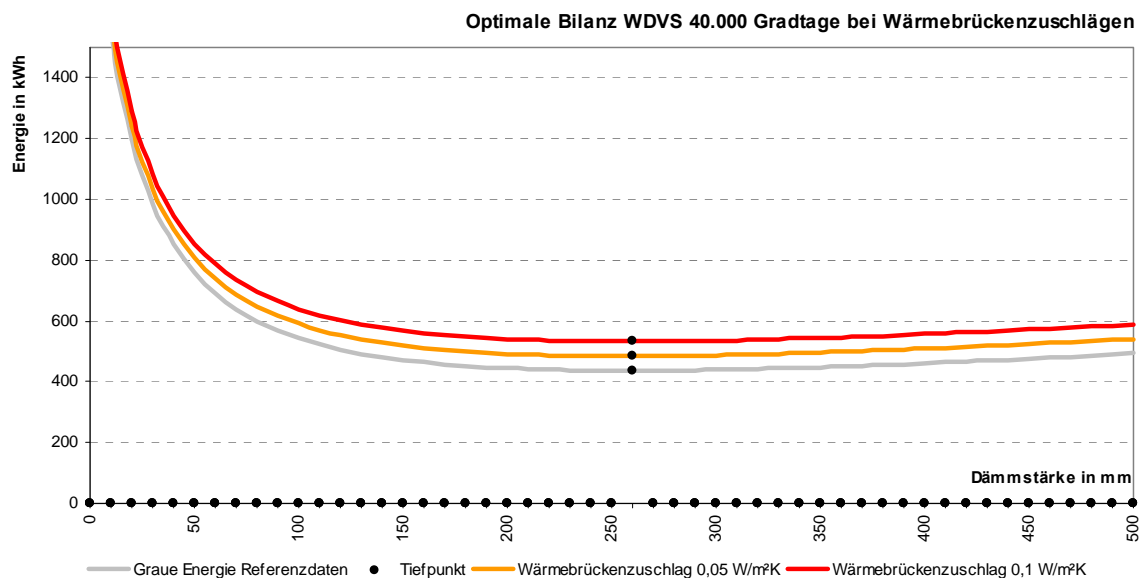
3.1.3.1.1 Veränderung einzelner Parameter der Beispielrechnung

Drei Veränderungen an der Datenbasis des Referenzaufbaus werden für eine Untersuchung des Verhaltens des Rechenmodells vorgenommen:

- Ansetzen eines Wärmebrückenzuschlags auf den U-Wert in Höhe von $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ bzw. $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ als vereinfachte Berücksichtigung für Wärmebrücken. Diese Zuschläge entsprechen den in der deutschen Gesetzgebung verwendeten pauschalen Zuschlägen für Gebäude mit Anschlussdetails nach Beiblatt 2 bzw. ohne konstruktiven Mindeststandard
- Veränderung der Grauen Energie der statischen Konstruktion durch Veränderung der Hinterkonstruktion um $\pm 50\%$
- Veränderung der Grauen Energie der klimaangepassten Dämmung um $\pm 50\%$

Die Berechnung wird jeweils für die veränderten Parameter neu durchgeführt. Die folgenden Grafiken zeigen neben den Ergebnissen die Originalkurve aus 3.1.3.1 als Referenzkurve in Grau. Die Graue Energie und die Transmission sind grafisch nicht mehr getrennt ausgewiesen.

Für die angesetzten Wärmebrückenzuschläge ergibt sich:



Grafik 5: Optimale Dämmstärke nach 3.1 Dämmverbund.xls + Wärmebrückenzuschlag

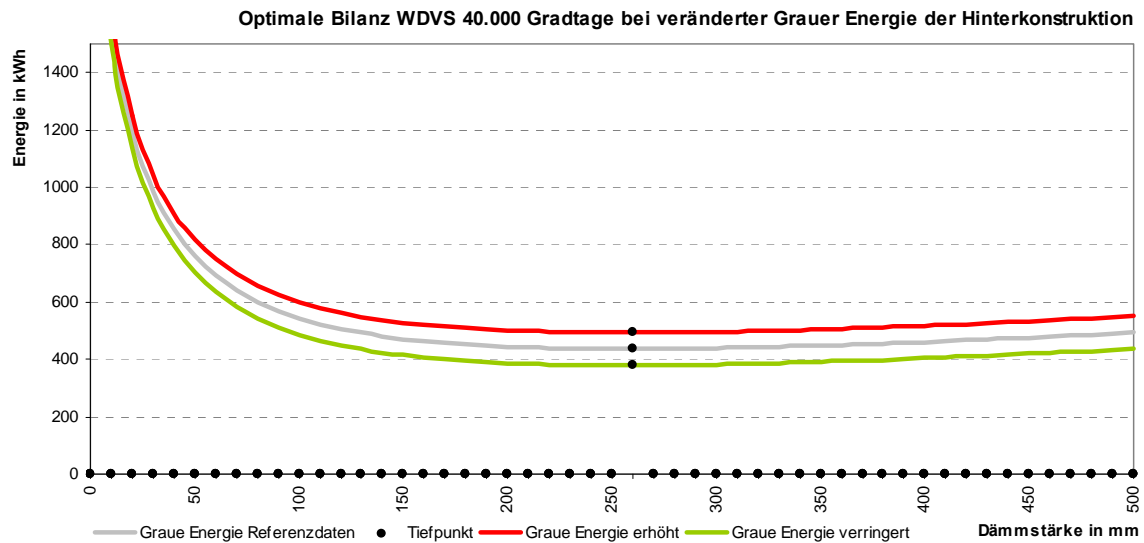
Ergebnis der Berechnungen unter Anwendung des Wärmebrückenzuschlags:

- Durch die angesetzten Wärmebrückenzuschläge verändert sich die Transmission proportional zu den anliegenden Gradtagen. Eine Veränderung der optimalen Dämmstärke ergibt sich nicht.

Der in den europäischen Berechnungsmodellen Verwendung findende Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung von Wärmebrücken stellt eine Vereinfachung dar. In der Realität nimmt die Bedeutung einer Wärmebrücke (z.B. ein die Dämmung durchdringendes Betonelement) mit der Dicke der Dämmebene ab, da auch das Material der Wärmebrücke eine dämmende Wirkung hat. Die optimale Dämmstärke würde sich unter Berücksichtigung dieses Umstandes bei zunehmenden Gradtagen leicht zu höheren Dämmstärken verschieben. Dies würde jedoch die präzise Definition der Wärmebrücke (Dimension/ Material) erfordern, und wäre mit hohem Rechenaufwand verbunden.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird die resultierende Ungenauigkeit akzeptiert um ein realisierbares Rechenverfahren zu gewährleisten. Bei Bedarf können im Einzelnachweis über gängige Software (z.B. Flixo) realistische Abminderungsfaktoren ermittelt werden.

Für die veränderte Graue Energie des Hintermauerwerks ergibt sich:

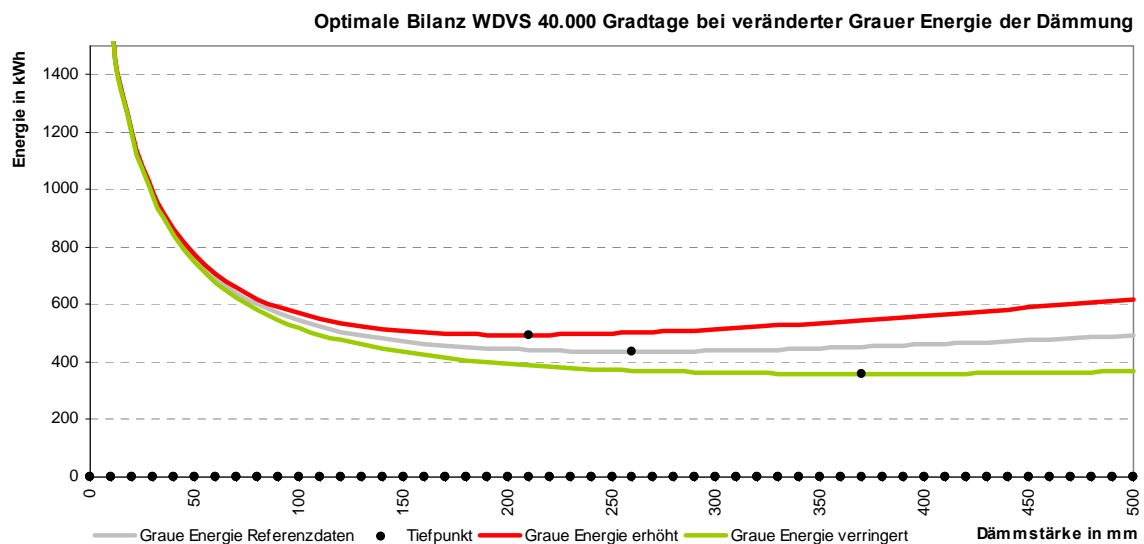


Grafik 6: Optimale Dämmstärke nach 3.1 Dämmverbund.xls + Hintermauerwerk +/-50%

Ergebnis der Berechnungen bei veränderter Grauer Energie der statischen Konstruktion:

- Die optimale Dämmstärke ändert sich bei Änderungen im Grauen Energiegehalt des Hintermauerwerks nicht. Für die Dimensionierung der optimalen Dämmstärke ist es nicht relevant ob die tragende Struktur bereits vorhanden ist (z.B. im Fall einer Sanierung) oder neu erstellt werden muss.
- Die Gesamtenergiebilanz ändert sich analog zu den vorgenommenen Änderungen. Eine Verwendung bestehender Strukturen ist unter dem Aspekt der Gesamtenergiebilanz immer sinnvoll.

Für die veränderte Graue Energie der Dämmung ergibt sich:



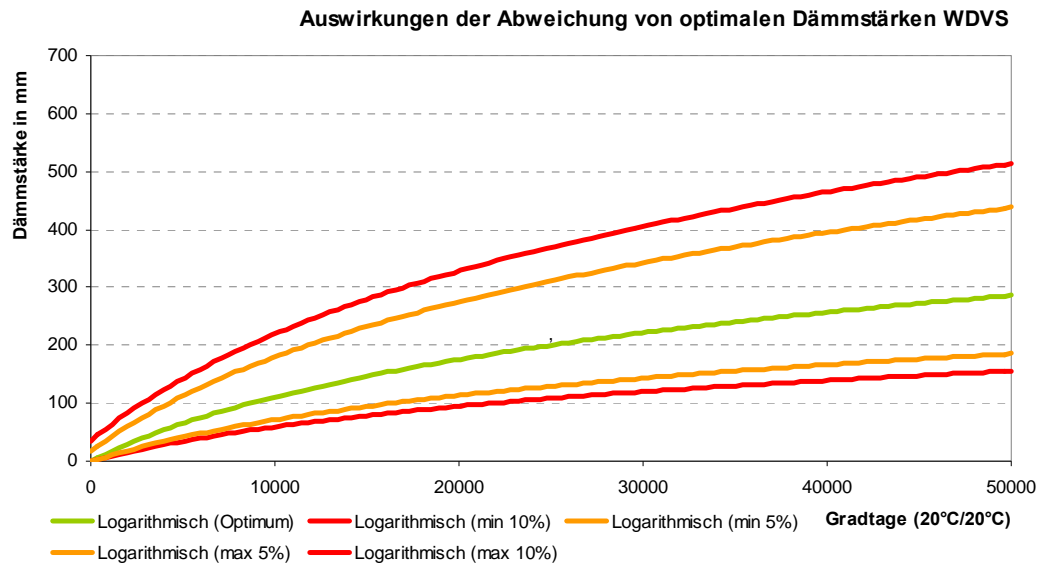
Grafik 7: Optimale Dämmstärke nach 3.1 Dämmverbund.xls + Dämmstoff +/- 50%

Ergebnis der Berechnungen bei veränderter Grauer Energie der Dämmung:

- Durch Änderung der Grauen Energie der Dämmung verändert sich auch die optimale Dämmstärke. Bei der Dimensionierung der Dämmstärke müssen also beispielsweise notwendige Transportwege für ein richtiges Ergebnis bekannt sein.
- Die Gesamtenergiebilanz verändert sich analog zu den veränderten Kennwerten der Dämmung

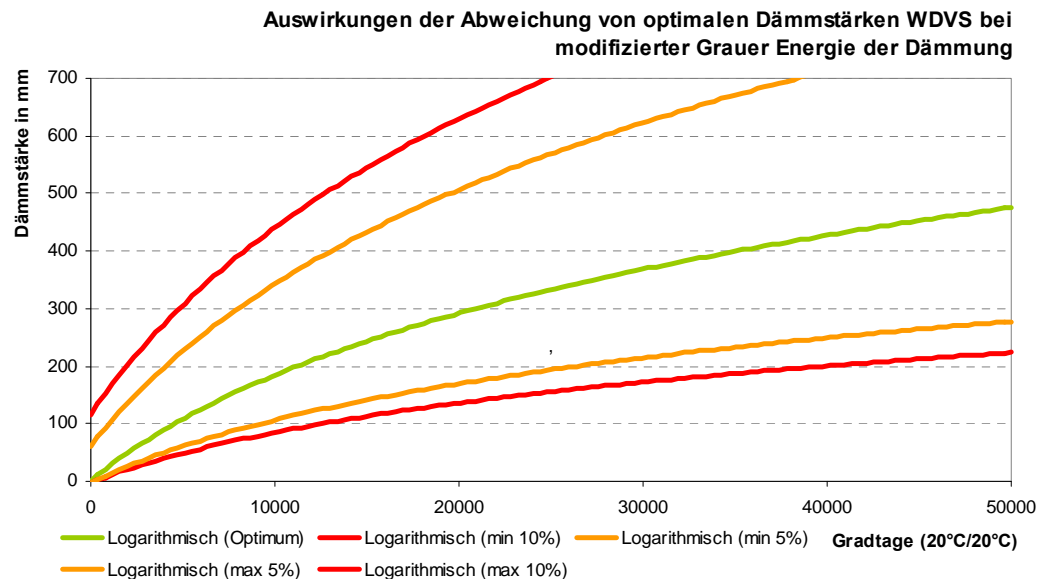
3.1.3.1.2 Auswirkung auf die Gesamtbilanz durch Abweichung von der optimalen Dämmstärke

Die Grafik zeigt die optimale Dämmstärke in Abhängigkeit der anliegenden Gradtage als grünen Graphen. Die orangen und roten Graphen markieren die Abweichung bei der sich die Gesamtbilanz um maximal 5% (orange) und 10% (rot) von der optimalen Bilanz unterscheidet:



Grafik 8: Gesamtbilanz bei Abweichung von der optimalen Dämmstärke nach 3.1 Dämmverbund.xls

Die gleiche Grafik bei veränderter Grauer Energie der Dämmung um – 50%:



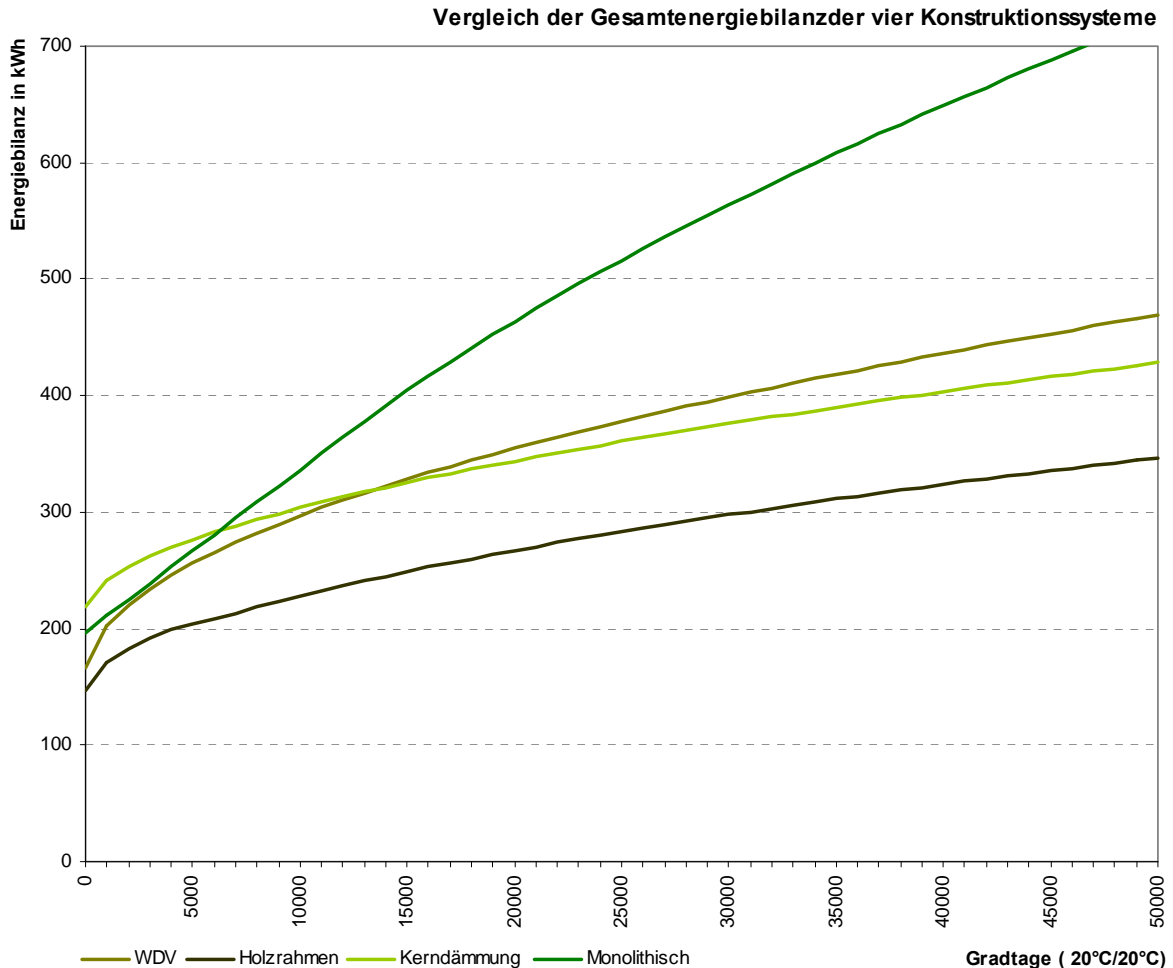
Grafik 9: Gesamtbilanz bei Abweichung von der optimalen Dämmstärke nach 3.1 Dämmverbund.xls + Graue Energie Dämmung -50%

Ergebnis der Berechnungen bei veränderter Grauer Energie der Dämmung:

- Bei der Dimensionierung der Dämmstärke durchaus Spielräume vorhanden ohne mehr als 5% bzw. 10% von einem gesamtenergetischen Optimum abzuweichen.
- Die Abweichungen resultieren bei zu stark gewählter Dämmung aus zusätzlicher Grauer Energie, bei zu gering dimensionierter Dämmung aus erhöhter Transmission.
- Die möglichen Abweichungen sind in Richtung einer zu stark dimensionierten Dämmung größer als in Richtung zu gering dimensionierter Dämmung.
- Bei verändertem Grauen Energiegehalt der Dämmung resultieren nicht nur veränderte optimale Dämmstärken (siehe auch 3.1.3.1.1) sondern auch ein veränderter Spielraum bei den möglichen Abweichungen.

3.1.3.3 Optimale Wandstärken und Energiebilanzen der vier Konstruktionssysteme im Vergleich

Auf der Basis der Methodik lassen sich für alle Systeme für alle anliegenden Temperaturdifferenzen optimale Dämmstärken ermitteln. Aus diesen optimalen Dämmstärken resultiert für jedes System eine optimale Gesamtenergiebilanz pro m², die in der folgenden Grafik abgebildet ist (aus Gründen der Übersichtlichkeit jeweils nur die Referenzaufbauten A):



Grafik 10: Vergleich der Gesamtenergiebilanz der vier Konstruktionssysteme

Ergebnisse des Vergleichs der optimalen Gesamtenergiebilanzen:

- Die Grafik zeigt deutlich ab welcher Temperaturdifferenz über die Lebensdauer der Parameter der Dämmstärke dominant wird.
- Der monolithische Aufbau mit Porenbeton ist in Bezug auf die Energiebilanz nur bei einer sehr geringen Anzahl von Gradtagen zu den anderen Aufbauten konkurrenzfähig.
- WDV und Kerndämmung weichen im dargestellten Bereich nicht deutlich voneinander ab. Bis 14.000 Gradtagen ist das Wärmedämmverbundsystem in der Gesamtbilanz besser, bei größerer Temperaturdifferenz ist es die Kerndämmung.
- Der Holzrahmenbau liegt in der Gesamtbilanz deutlich unter allen anderen Aufbauten.

3.1.3.4 Vergleich der konstruktiven Variationsmöglichkeiten der Systeme

Wie unter 3.1.1 beschrieben, ist bei der Übertragung von Konzepten nicht davon auszugehen, dass jede notwendige Form von Know-how oder Material vorliegt. Bei der Wahl eines Konstruktionssystems ist aus diesem Grund neben der Energiebilanz und der resultierenden Wanddicke ggf. die konstruktive Variationsmöglichkeit der einzelnen Systeme wichtig.

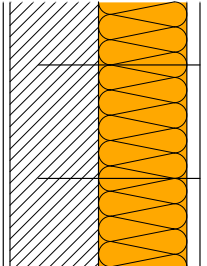
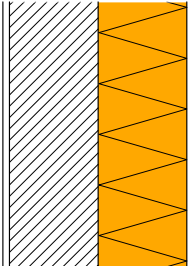
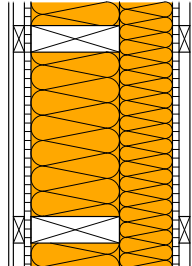
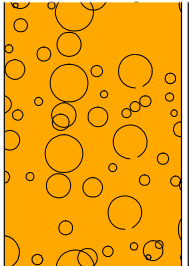
1 - Vorgehängte, hinterlüftete Konstruktion	2 - Dämmverbund	3 - Heterogener Wandaufbau	4 - Monolithische Konstruktion
			
Anpassung an improvisierte Baustoffe			
<ul style="list-style-type: none"> Materialalternativen als Dämmstoff denkbar. Bei leicht veränderter Konstruktion auch Schüttdämmstoffe möglich. Jedes Fassadenmaterial möglich. Varianten für das Hintermauerwerk möglich. 	<ul style="list-style-type: none"> Sämtliche flächigen Baustoffe können als Dämmstoff aufgeklebt werden. Alternativ zum Klebemörtel sind konstruktive Befestigungen denkbar. Varianten für das Hintermauerwerk sind möglich. 	<ul style="list-style-type: none"> Sämtliche dämmende Materialien können genutzt werden. Zerkleinerte Materialien können geschüttet oder eingeblasen werden Materialalternativen für die Pfosten möglich (Stahl etc.) Materialalternativen für die Beplankungen möglich aber ggf. bauphysikalisch problematisch. Jedes Fassadenmaterial möglich. 	<ul style="list-style-type: none"> Materialalternativen für das monolithische Material möglich, aber mit der Folge eines wahrscheinlich sehr schlechten U-Wertes oder sehr dicker Wandstärken. Deshalb nur in sehr mildem Klima denkbar.
Anpassung an veränderte Anforderungen			
<ul style="list-style-type: none"> Abhängig davon ob die Fassadenkonstruktion nur vorgehängt (z.B. Plattenwerkstoff) oder vorgemauert ist. Vorgehängte Konstruktionen erlauben eine einfache Anpassung und sind unter diesem Gesichtspunkt zu bevorzugen. Es sind in diesem Fall jedoch neue Aufhängungen notwendig, es entsteht also Abfall. 	<ul style="list-style-type: none"> Eine spätere Veränderung der Dämmstärke ist bedingt denkbar, erfordert aber die Entfernung des Außenputzes, wodurch Abfall resultiert. Der Arbeitsaufwand ist höher als bei einer vorgehängten Fassade. 	<ul style="list-style-type: none"> Alle Verbindungen können nachträglich ohne großen Aufwand wieder gelöst werden. Alle Materialien können wieder verwendet werden. Veränderung des Dämmstandards durch weitere Lattungsebenen möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Spätere Veränderung der Dämmstärke nach Entfernung des Putzes von beiden Seiten möglich. Durch das Entfernen des Putzes entsteht Abfall. Der Arbeitsaufwand ist höher als bei einer vorgehängten Fassade.
Anpassung an bauphysikalische Anforderungen			
<ul style="list-style-type: none"> Das System ist fast zwangsläufig innen dampfdichter als Außen. Alternativen machen hohen konstruktiven Aufwand oder dichte Dämmstoffe notwendig und mindern die Vorzüge des Systems (geschützte Dämmung mit wenig Anforderungen an den Dämmstoff und Anpassung durch abnehmbare Fassade) 	<ul style="list-style-type: none"> Dampfdichtigkeit über die beiden Putzschichten regulierbar. Alternativ kann ein dichter Dämmstoff gewählt werden, der aber die Gesamtenergiebilanz verschlechtert. 	<ul style="list-style-type: none"> Ein flexible Anpassung an alle Anforderungen ist durch beidseitige Beplankung und/ oder additive Komponenten möglich. Der Anspruch an die Ausführung ist aber aufgrund der geforderten Dichtigkeit sehr hoch und erfordert Facharbeiter. 	<ul style="list-style-type: none"> Anpassung der Dampfdichtigkeit durch beidseitige Putzschichten auch nachträglich möglich. Kondensation innerhalb monolithische Aufbauten nur bei extremen Klimaverhältnissen möglich.

Tabelle 7: Konstruktive Variationsmöglichkeiten nach System

3.1.4 Ergebnis

Die erfolgten Betrachtungen versuchen die vielfältigen Parameter der untersuchten Konstruktionssysteme zusammenzufassen und mögliche Anwendungsgebiete zu beschreiben. Es ist sicherlich nachvollziehbar, dass innerhalb dieser Arbeit aufgrund der Vielfalt der Rahmenbedingungen keine eindeutigen Ausschlusskriterien formuliert werden können. Ziel ist es aber die Abhängigkeiten der Systeme in Bezug auf diese Rahmenbedingungen einfach darzustellen und Spielräume der einzelnen Systeme zu benennen. Dies soll im Folgenden für die einzelnen Systeme geschehen. Die Bewertung orientiert sich hierbei an der Struktur dieses Kapitels und folgt dem Schema

- Konstruktionskriterien
- Standortkriterien
- Gesamtenergiebilanz
- Flexibilität

Da alle untersuchten Konstruktionssysteme sehr leistungsfähig sind und für eine Anwendung weltweit in Frage kommen wird bei dem folgenden Fazit vor allem auf Alleinstellungsmerkmale der Systeme und auf mögliche Anwendungsbereiche für die weitere Arbeit eingegangen.

Für die weiteren Schritte der Arbeit wird aus Gründen des Umfangs nur ein Wandaufbau für die Berechnungen herangezogen. Da für die beispielhafte Anwendung in Kapitel 6 – 8 Japan als Land feststeht, und dort 85% aller Häuser in Holzbauweise erstellt werden, wird der Holzrahmenbau als Referenzwandaufbau gewählt. Alle Recherchen und der eigene Aufenthalt in Japan haben belegt, dass weder die Bauindustrie, noch die Bewohner in Japan einen Wechsel zu anderen Bauformen wünschen oder in Erwägung ziehen. Die spätere Behandlung der japanischen Bedingungen mittels eines anderen Referenzaufbaus würde also der Arbeit den realistischen Bezug entziehen.

Mit dem Holzrahmenbau wurde ein Konstruktionssystem gewählt, das durch seine Baustoffe erst einmal kaum thermische Masse besitzt.

Drei Möglichkeiten bestehen um den die thermische Masse des Aufbaus zu erhöhen:

- Die Innenseitige Beplankung mit einem Baustoff der über thermische Masse verfügt (z.B. Lehmplatten oder ein dicker Lehmputz)
- Die Verwendung von Latenzspeichern
- Eine Kombination aus beiden Lösungen

Eine Verwendung einer dieser Möglichkeiten wird vorausgesetzt.

Im Folgenden werden die einzelnen Konstruktionssysteme bezüglich ihrer Anwendungsbereiche auf der Basis der Überlegungen dieses Kapitels zusammenfassend charakterisiert.

3.1.4.1 Hinterlüftete Fassade/ Kerndämmung

Das Konstruktionssystem hinterlüfteter Fassaden ist gekennzeichnet durch die mögliche Verwendung nicht-regensicherer Dämmstoffe, da die Dämmung durch die vorgesetzte Fassade witterungsgeschützt liegt. Dies ermöglicht die Verwendung vielfältiger, auch lokaler Dämmstoffe, z.B. Schüttdämmungen aus Abfallstoffen.

Die Hinterkonstruktion ist zwangsläufig die dampfdichtere Seite der Konstruktion, da durch die Aufhängungen der vorgestellten Fassade auf der Außenseite der Dämmung keine Dampfbremse realisiert werden kann. Das System ist also nicht anwendbar an Standorten, wo über weite Zeiten des Jahres der Dampfstrom von Außen nach innen verläuft und somit die höhere Dampfdichtigkeit Außen für eine Vermeidung von Kondensation erfordern würde.

In Bezug auf die Gesamtbilanz ist das System gekennzeichnet durch den hohen Anteil der Grauen Energie der Hinterkonstruktion. Als Neubau ist das System deshalb vor dem Hintergrund der Energiebilanzierung nicht konkurrenzfähig zum Holzrahmenbau. Dieser Aspekt kann durch die Verwendung bestehender Strukturen abgemindert werden. Das Konstruktionssystem der hinterlüfteten Fassade wird nach den Berechnungen innerhalb dieses Kapitels deshalb als Sanierungssystem betrachtet. Im direkten Vergleich zum Wärmdämmverbund ist es diesem für Sanierungen ab etwa 14.000 Gradtagen aufgrund der besseren Energiebilanz vorzuziehen. Da die beiden Systeme sich jedoch in ihren Konstruktions- und Standortfaktoren sowie der Flexibilität stark unterscheiden ist hier keine klare Grenze auszumachen, sondern ein fließender Übergang zu sehen.

3.1.4.2 Wärmedämmverbundsystem

Das Wärmedämmverbundsystem ist deutlich anspruchsvoller in Bezug auf den verwendeten Dämmstoff, da dieser druckfest sein muss. Die Anforderung an einen Dämmstoff in Plattenform schließt außerdem die Verwendung recycelter, zerkleinerter Abfälle als Schüttdämmung in einem low-tech Szenario aus.

Die Durchgehende Ebene des Außenputzes ermöglicht eine variable Ausführung des Dampfdruckgefälles, was das System unter allen Klimabedingungen einsetzbar macht. Die Außenebene ist jedoch anfällig für mechanische Beschädigungen (Vandalismus).

Der hohe Graue Energiegehalt der verwendeten Dämmung macht das System bei hohen Dämmstärken im Bereich der Gesamtenergiebilanz ineffizient. Wie bei der hinterlüfteten Fassade macht die Hinterkonstruktion einen bedeutenden Teil der Gesamtbilanz aus.

Wie auch das System der hinterlüfteten Fassade wird auch der Anwendungsbereich des Wärmedämmverbundsystems im Bereich der Sanierung gesehen, insbesondere bei niedrigen optimalen Dämmstärken. Hervorzuheben ist aber die schlechtere Möglichkeit der Trennung der verwendeten Materialien im Fall des Wärmedämmverbundes, da hier keine reversiblen Fügeverfahren Verwendung finden.

3.1.4.3 Heterogenes System / Holzrahmenbau

Im Gegensatz zu den anderen drei untersuchten Systemen ist der Holzrahmenbau brennbar, verfügt nur über geringe thermische Speichermasse und funktioniert nach dem Masse-Feder-Masse Prinzip des Schallschutzes. An manchen Standorten kann dies die Realisierbarkeit des Systems einschränken oder verhindern.

Unter dem Aspekt der Gesamtenergiebilanz schneidet der untersuchte Holzrahmenbau am besten ab. Bei allen Neubauten, wenn keine bestehenden Strukturen zur Sanierung vorhanden sind, ist er deshalb den anderen Systemen vorzuziehen wenn gleich zu Beginn auf einem hohen Standard gebaut werden soll.

Die reversiblen Fügeverfahren des Holzrahmenbaus ermöglichen zudem spätere Veränderungen bei nur geringen Abfallaufkommen.

3.1.4.4 Monolithische Wandaufbauten

Das Monolithische System ist gekennzeichnet durch die Zusammenfassung tragender und Dämmender Funktion in einem Bauteil. Das resultierende Problem ist die mögliche Überdimensionierung des Bauteils in Bezug auf Tragwirkung oder Dämmwirkung bei extremen Anforderungen des jeweils anderen Parameters. Durch Modifikation der Materialeigenschaften und die Wahl anderer Steine kann nur begrenzt eine Anpassung erfolgen. Reagiert werden kann aber durch Anpassung der Gebäudeform. Nach einer Dimensionierung der thermischen Anforderungen kann das Gebäude so hoch aufgestockt werden, wie es die Dämmstoffdicke ermöglicht. Auf diese Weise wäre immer ein Optimum gegeben.

Die Graue Energie des Porensteines spricht gegen eine Verwendung bei einer hohen Temperaturdifferenz. Der Aufbau ist in der Gesamtbilanz nur in milden Klimaregionen mit den anderen Aufbauten konkurrenzfähig. Neben der Verwendung solchen Regionen ist das System auch als erste low-tech Lösung denkbar, die später nachträglich z.B. mittels einer vorgehängten Fassade gedämmt wird denkbar.

3.1.5 Kernerkenntnisse

Die prägende Erkenntnis für die weitere Arbeit ist in der vorhandenen, berechenbaren optimalen Dämmstärke für eine optimale Gesamtenergiebilanz zu sehen.

Die optimale Dimensionierung der Dämmung weist in der Methodik in Abhängigkeit des verwendeten Konstruktionssystems spezifische leichte Unterschiede auf. Aus diesem Grund sind eine Anpassung der Baustoffkennwerte innerhalb des verwendeten Datenblatts und gegebenenfalls auch eine Modifizierung des Rechenwegs erforderlich.

Notwendig ist für die Berechnung dieses Optimums aber eine belastbare Datenlage der Kennwerte aller beteiligter Baustoffe, ihrer assoziierten Prozesse wie z.B. die notwendigen Transportwege, der Lebensdauer des Gebäudes und des anliegenden Klimas.

Für die weitere Arbeit wird die Ermittlung einer optimalen Dämmstärke als erster Schritt für ein standortoptimiertes Gebäude angenommen.

3.2 Gebäude und Nutzer

Aus dem ausgewählten Holzrahmenaufbau wird basierend auf den Definitionen und Einschränkungen in Kapitel 1 das Referenzgebäude geformt.

Im Folgenden wird der Einfluss einer oder mehrerer Bewohner auf das Gebäude untersucht. Hierzu wird wie folgt vorgegangen:

3.2.1 Auswirkungen des Nutzers

3.2.1.1 Nutzervarianten

3.2.1.2 Auswirkungen auf die Energiebilanz des Gebäudes

3.2.1.3 Grundsätzliche Zusammenhänge

3.2.2 Erweiterung des Rechenmodells

3.2.3 Berechnung der Kennwerte für die Beispielstädte

3.2.3.1 Standorte mit monatlichen Mitteltemperaturen < 20°C im Jahr

3.2.3.2 Standorte mit monatlichen Mitteltemperaturen > 20°C im Jahr

3.2.3.3 Standorte mit monatlichen Mitteltemperaturen < 20°C und > 20°C im Jahr

Abschließend folgen das Ergebnis der Betrachtungen aus Kapitel 3, die Beschreibung des für die weiteren Kapitel zugrunde gelegten Referenzbaukörpers in seinen Abhängigkeiten sowie der Vergleich der Bilanzen mit den Zielsetzungen der Vereinten Nationen.

3.2.1 Auswirkungen des Nutzers

Menschen haben eine Reihe relevanter unmittelbarer und mittelbarer Auswirkungen auf die Energiebilanz:

Unmittelbare Auswirkungen:

(Diese Auswirkungen sind nicht standortabhängig)

- Menschen geben im Durchschnitt etwa 60 Watt Wärme ab.
Das entspricht 0,06 kWh pro Stunde, 1,44kWh am Tag, ca. 43 kWh im Monat und ca. 525 kWh im Jahr.
Bei einer Lebenserwartung von 80 Jahren entspricht die Wärmeabgabe immerhin 42.048 kWh.
- Menschen brauchen etwa 20-30 m³ Luft pro Stunde
Wird davon ausgegangen das es sich um vorgewärmte Innenraumluft handelt werde pro Kelvin Temperaturdifferenz pro Stunde 0,0072 kWh – 0,0108 kWh verbraucht.
(Annahme: Spezifisches Gewicht der Luft 1,29 kg/m³ bei 0 ° Celsius)
Bei angenommenen 3693 Gradtagen₂₀ (Berlin) entspricht das etwa 638 kWh – 957kWh im Jahr.
- Menschen geben im Durchschnitt etwa 1 Liter Wasser in Form von Wasserdampf ab.
Die am Tag als Atemluftbedarf veranschlagten 480m³ - 720m³ könnten durch diesen einen Liter bei 20°C von 40% relativer Feuchte auf 48% (720m³) bis 52% (480m³) relativer Feuchte angehoben werden.

Mittelbare Auswirkungen:

(Diese Auswirkungen sind standortabhängig)

- Durch kochen, duschen, baden und die Haltung von Tieren und Pflanzen resultiert zusätzliche Feuchte und Wärme.
- Durch die Nutzung elektrischer Geräte (Fernseher, Leuchtmittel, Radio, Küchengeräte etc.) resultiert Stromverbrauch und durch die Abwärme der Geräte zusätzliche Wärme.

Die mittelbaren Auswirkungen unterliegen mutmaßlich einem großen Spielraum. In Deutschland als Beispiel für ein Industrieland mit hohen internen Wärmequellen werden in der DIN V 4108-6 die mittelbaren Wärmelasten definiert. Analog dazu der aktuelle technische Stand energieeffizienter Geräte [20].

Wärmequelle	mittlere interne Wärmelasten (nach 4108-6)	Aktueller Stand Energiespargeräte (Verbrauch)	Aktueller Stand Energiespargeräte (Wärmeabgabe)	Faktor (mittlere Last/ Gebäude)
Personen	65 Watt			
Warmwasser	25 Watt + 15 Watt/ Bewohner		5 Watt (Durchlauferhitzer)* 40 Watt (Speicher)**	1 5 Watt / 40 Watt
Kochen	110 Watt		40 Watt *	40 Watt *
Technische Geräte				
- Fernsehapparat	35 Watt	150 Watt (LCD) 280 Watt (Plasma/ Röhren) [22]	150 Watt / 280 Watt	0,1 (15 – 18 Watt)
- Kühlschrank	40 Watt	100 kWh/a – 170 kWh/a	angenommen mit 1/3 Ca. 35 kWh/a – 50 kWh/a	1 (4,0 Watt – 5,7Watt)
- Wasserkocher	20 Watt	--	--	s.u. ***
- Gefriertruhe	90 Watt	170 kWh/a – 250 kWh/a	angenommen mit 1/3 Ca. 50 kWh/a – 80 kWh/a	1 (5,7 Watt – 9,1 Watt)
- Waschmaschine	10 Watt	0,8 kWh/Waschgang - 1,2 kWh/Waschgang	angenommen mit 2/3 Ca. 0,53 kWh/Waschgang -	100 pro Person a (6,0 Watt – 9,1Watt pro Person)
- Geschirrspüler	20 Watt	0,8 kWh/Waschgang - 1,25 kWh/Waschgang	0,8 kWh/Waschgang angenommen mit 1/3 0,26 kWh/Waschgang -	50 pro Person a (3,0 Watt – 4,8 Watt pro Person)
- Wäschetrockner	20 Watt	4,0 kWh/Trocknung - 4,5 kWh/Trocknung	0,42 kWh/Waschgang angenommen mit 3/3 4,0 kWh/Trocknung -	100 pro Person a (45,6 Watt – 51,4 Watt pro Person)
- Computer + Bildschirm		60 Watt – 120 Watt	4,5 kWh/Trocknung angenommen mit 3/3 60 Watt – 120 Watt	0,1 6 Watt – 12 Watt
- Laptop		10 Watt – 40 Watt	angenommen mit 3/3 10 Watt – 40 Watt	0,1 1 Watt – 4 Watt
Beleuchtung bei Wohneinheiten				
Von 50 m ² Bis 100 m ²	30 Watt		Ca. 5 Watt - 10 Watt [21]	
Ab 100 m ²	45 Watt		Ca. 5 Watt - 10 Watt [21]	
Pauschal				
Wohngebäude	5 Watt/ m ² Nutzfläche			
Büro- und Verwaltungsgebäude	6 Watt/ m ² Nutzfläche (jetzt in der EN 18 559 differenzierter geregelt)			

Tabelle 8: interne Wärmequellen nach Ursache und Quelle

*Angenommener Wert; ** Berechnet für: 2 m² Oberfläche, U-Wert: 0,25 W/m²K und 70°C Wassertemperatur. *** Der Wasserkocher ist in seinen Werten nicht nachvollziehbar. Da er in vielen Haushalten fehlt wird er im Folgenden nicht berücksichtigt.

Aus der Gegenüberstellung ist erkennbar, dass die Annahmen der EnEV nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen. In allen Bereichen sind die aktuellen Geräte effizienter und liegen mit ihrer Wärmeabgabe um Faktor 5 bis 10 unter den Annahmen der EnEV. Einzige Ausnahme stellt der Wäschetrockner dar.

3.2.1.1 Nutzervarianten

Für das Referenzgebäude werden drei Nutzervarianten auf der Basis der ermittelten Werte untersucht:

- Zwei Singles, beides arbeitstätig und nur selten zuhause (Variante A)
- Eine Familie (vier Personen), ein Elternteil zuhause, ein Elternteil arbeitstätig (Variante B)
- Die gleiche Familie, der arbeitstätige Elternteil arbeitet jedoch zuhause (Variante C)

Wärmequelle	Faktor (mittlere Last/ Gebäude)	Variante A	Variante B	Variante C
Personen		40 Watt	120 Watt	140 Watt
Warmwasser		5 Watt	50 Watt	50 Watt
Kochen		10 Watt	40 Watt	40 Watt
Technische Geräte				
- Fernsehapparat	0,1 (15 – 18 Watt)	10 Watt	25 Watt	30 Watt
- Kühlschrank	1 (4,0 Watt – 5,7 Watt)	5 Watt	5 Watt	5 Watt
- Wasserkocher		---	---	---
- Gefriertruhe	1 (5,7 Watt – 9,1 Watt)	8 Watt	8 Watt	8 Watt
- Waschmaschine	100 pro Person a (6,0 Watt – 9,1 Watt pro Person)	16 Watt	32 Watt	32 Watt
- Geschirrspüler	50 pro Person a (3,0 Watt – 4,8 Watt pro Person)	8 Watt	16 Watt	16 Watt
- Wäschetrockner	100 pro Person a (45,6 Watt – 51,4 Watt pro Person)	---	180 Watt	180 Watt
- Computer + Bildschirm	0,1 6 Watt – 12 Watt	---	15 Watt	45 Watt
- Laptop	0,1 1 Watt – 4 Watt	2 Watt	---	---
Beleuchtung bei Wohneinheiten				
Von 50 m ² bis 100 m ²		---	---	---
Ab 100 m ²		5 Watt	10 Watt	10 Watt
Summe		109 Watt	501 Watt	562 Watt
Pauschal				
Wohngebäude (150 m ²)		0,73 Watt/ m ² Nutzfläche	3,34 Watt/ m ² Nutzfläche	3,75 Watt/ m ² Nutzfläche

Tabelle 9: Interne Wärmequellen nach Nutzerverhalten

Keine der Varianten erreicht den pauschalen Wert von 5 Watt/m²_{Nutzfläche} aus der EnEV. Selbst bei ausgeprägter Anwesenheit in der Wohnung kommt die vierköpfige Familie nur auf etwa 4 Watt/m²_{Nutzfläche}. Ebenfalls auffällig ist der enorme Anteil des Wäschetrockners. Entfällt er oder steht er außerhalb der thermischen Hülle, z.B. in einem Waschkeller, so kommt die betrachtete Familie nur auf ca. 2,7 Watt/m²_{Nutzfläche}.

Fazit

Die internen Gewinne werden, zumindest in Deutschland, häufig zu hoch angesetzt. Hieraus resultiert ein Heizenergiebedarf der über dem berechneten Bedarf liegt. Es ist deshalb, insbesondere für eine Optimierung von Energiebilanzen, notwendig die internen Wärmegewinne nicht pauschal sonder differenziert zu bestimmen. Das

gilt insbesondere wenn das Nutzerverhalten besondere Auffälligkeiten aufweist (z.B. intensive Nutzung elektronischer Geräte, häufige Abwesenheit, ausgeprägt Nutzung bei Dunkelheit/ hoher Bedarf an künstlichem Licht).

Im weltweiten Vergleich wird für die weiteren Rechnungen bei Bedarf von einem Spielraum von 20 Watt (keine oder kaum elektrische Geräte und nur zum schlafen zuhause) bis 300 Watt (ständige Anwesenheit, intensive Nutzung teilweise ineffizienter elektrischer Geräte) pro Person angenommen. Die Nutzerfaktoren unterliegen also einem mindestens ebenso großen Spielraum wie die Klimafaktoren.

Die Auswirkungen der internen Wärmelasten auf die Gebäudeenergiebilanz und die optimierte Hülle wird im Folgenden untersucht.

3.2.1.2 Auswirkungen auf die Energiebilanz des Gebäudes

Die oben beschriebenen Auswirkungen des Bewohners auf das Gebäude lassen sich zu drei Faktoren zusammenfassen. Aus der Anwesenheit von Personen resultieren:

1. Feuchtigkeit
2. Wärmebedarf durch Luftbedarf
3. Wärme

Zu 1

Die aus den internen Feuchtequellen resultierende Problematik eines eventuell den Schimmelwachstum ermöglichenden Innenraumklimas ist nicht Teil der Betrachtungen der Energiebilanzierungen dieser Arbeit und wird nur am konkreten Beispiel Japan in Kapitel 5 behandelt.

Zu 2

Der Wärmebedarf durch die notwendige Erwärmung oder Abkühlung der Luft auf Innentemperaturniveau erhöht den Gesamtenergiebedarf des Gebäudes in Abhängigkeit zur Anzahl der Bewohner. Die Hülle ist hiervon nicht direkt betroffen, da bereits im Vorfeld von einer dichten Hülle ausgegangen wurde und somit Luftwechsel durch Fugen ausgeschlossen wurde. Der Energiebedarf zur Temperierung der Luft wird in den Bilanzen gesondert ausgewiesen.

Zu 3

Die internen Wärmequellen modifizieren die unter 3.1 erarbeiteten Werte für eine optimale Dimensionierung der Hülle, was im Folgenden untersucht und bewertet werden soll.

3.2.1.3 Grundsätzliche Zusammenhänge

Der grundsätzliche Zusammenhang von internen Wärmequellen und Gebäudehülle besteht in der Verringerung des Energieaufwands für Transmissionswärmeverluste, da ein Teil dieses benötigten Energieaufwands für das notwendige nachführen von Wärme ja durch interne Lasten gratis vorhanden ist. Diese internen Quellen werden für eine Bewertung der Hülle auf die Hüllfläche umgerechnet.

An dieser Stelle taucht zum ersten Mal innerhalb dieser Arbeit die Notwendigkeit von Wertungen auf. „*Gratis vorhanden*“ impliziert, dass interne Gewinne weder bezahlt werden müssen, noch ökologisch einen Effekt haben. Beides ist aber selbstverständlich der Fall. Es ist eine Frage wo die Systemgrenze für das Gebäude gezogen wird. In der Dimensionierung der Hülle führt jede kWh interner Wärme jedoch zu einer geringeren Bedeutung der Transmissionswärmeverluste und folglich zu einer geringeren optimalen Dämmstärke.

Zuerst ist zu ermitteln wie viel Watt interner Wärmegewinne pro Quadratmeter Hüllfläche vorhanden sind. Ausgegangen wird hierbei von der Wärme abgebenden Fläche, also der Außenfläche der Hülle.

Beispiel

Es sind 500 Watt interner Gewinne vorhanden, bei einer Außenhüllfläche von 432 m² (Referenzgebäude). Pro m² Außenhüllfläche resultiert also eine interne Wärmequelle von 1,16 Watt. Zusätzlich werden für die Bewohner im Jahr 500.000 m³ Atemluft benötigt.

Es sind zwei Formen des Wärmebedarfs vorhanden (Luftwärmebedarf und Transmissionswärmebedarf), aber nur eine Wärmequelle. Da diese Quelle zudem teilweise gratis vorhanden ist (Körperwärme) wird die Form des Wärmebedarfs bevorzugt, der die Quelle zugeschlagen wird.

Das Problem ist nicht lösbar und wird innerhalb dieser Arbeit an vielen Stellen wieder auftreten, nämlich immer dann wenn mehrere unterschiedlich zu bewertende Angebote und/ oder Formen des Bedarfs einander zugeordnet werden müssen. Ziel muss aber sein, innerhalb der Berechnungsform klar auf die rechnerische Benachteiligung des betroffenen Parameters hinzuweisen.

Es wird die folgende Festlegung getroffen:

- Die intern generierte Wärme wird zu 100% dem Transmissionswärmebedarf zugeordnet.

Beispiel

Steht das Beispielgebäude in Berlin, so ergibt sich nach 3.1 bei 3692.9 Gradtagen₂₀ im Jahr und einer angenommenen Lebensdauer von 20 Jahren eine Gesamtmenge von 73858 Gradtagen₂₀ und folglich eine optimale Dämmstärke von 68,4 cm (Referenzaufbau heterogen A / Holzrahmenbauweise) und ein U-Wert von 0,063 W/m²K.

Bei anliegenden 1,16 Watt/m²_{Hülle} ergibt sich bei dem ermittelten U-Wert von 0,063 W/m²K erst ein Heizbedarf wenn die Außentemperatur um 24,5 Kelvin unter der Innenraumtemperatur liegt. Bei angenommenen 20°C Innenraumtemperatur also folglich erst bei -4,5°C. In Berlin wäre das im Monatsmittel nie (kältester Monat ist Januar mit 0,3°C).

Diese Temperatur wird als Heizgrenze bezeichnet und markiert die Außentemperatur ab der mittels einer Heizleistung dem Absinken der Innenraumtemperatur entgegengewirkt werden muss.

Das verwendete Rechenmodell kann die internen Wärmequellen bisher nicht mit den auftretenden Transmissionen verrechnen, es wird deshalb im Folgenden erweitert.

3.2.2 Erweiterung der Beschreibung der Temperaturdifferenz

Für die Anpassung und Erweiterung des Rechenmodells ist zuerst die Unterteilung der anliegenden Temperaturdifferenzen in Fälle die durch die internen Wärmequellen abgemindert (Der Heizfall/ Temperatur Innen > Temperatur Außen) und Fälle die durch die internen Wärmequellen verstärkt werden (der Kühlfall/ Temperatur Innen < Temperatur Außen).

Aus den bisher verwendeten Gradtagen ergeben sich so die Heizgradtage und die Kühlgradtage.

Definition Heizgradtage

Die Heizgradtage (HGT) werden nach VDI 3807 nach folgender Formel ermittelt:

$$G_{15} = \sum_1^z (t_{hg} - t_a)$$

Dabei entspricht:

G_{15} - Heizgradtage für einen Monat

z : - Anzahl der Heiztage eines Monats

t_{hg} : - Heizgrenze, hier 15 °C

t_a : - mittlere Außentemperatur eines Heiztages

Gradtage und Heizgradtage können ineinander überführt werden, z. B. entspricht GTZ15/15 HGT15.

Die resultierende Heizgrenze ergibt sich in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz einer frei wählbaren Innenraumtemperatur (angenommen sind 20°C) und der Außentemperatur sowie der internen Wärmequellen. Sie ist als die Außentemperatur definiert, ab der ein Heizsystem zusätzlich zu den internen Wärmequellen

aktiviert werden muss um einen Temperaturabfall im Gebäude zu verhindern. Da in diesem Zusammenhang lediglich die Temperaturdifferenz relevant ist, steigt bei einer Anhebung der gewünschten Innenraumtemperatur um 1°C die Heizgrenze analog um 1°C.

Die Heizgrenze wird in Klammern hinter der Anzahl der Heizgradtage vermerkt (z.B. 1000 Heizgradtage (15°C))

Definition Kühlgradtage

Die Kühlgradtage (KGT) werden nach VDI 3807 nach folgender Formel ermittelt

$$G_{25} = \sum_1^z (t_{hg} - t_a)$$

Dabei entspricht:

G_{15} - Kühlgradtage für einen Monat

z : - Anzahl der Kühltage eines Monats

t_{hg} : - Kühlgrenze, hier 25 °C

t_a : - mittlere Außentemperatur eines Kühltages

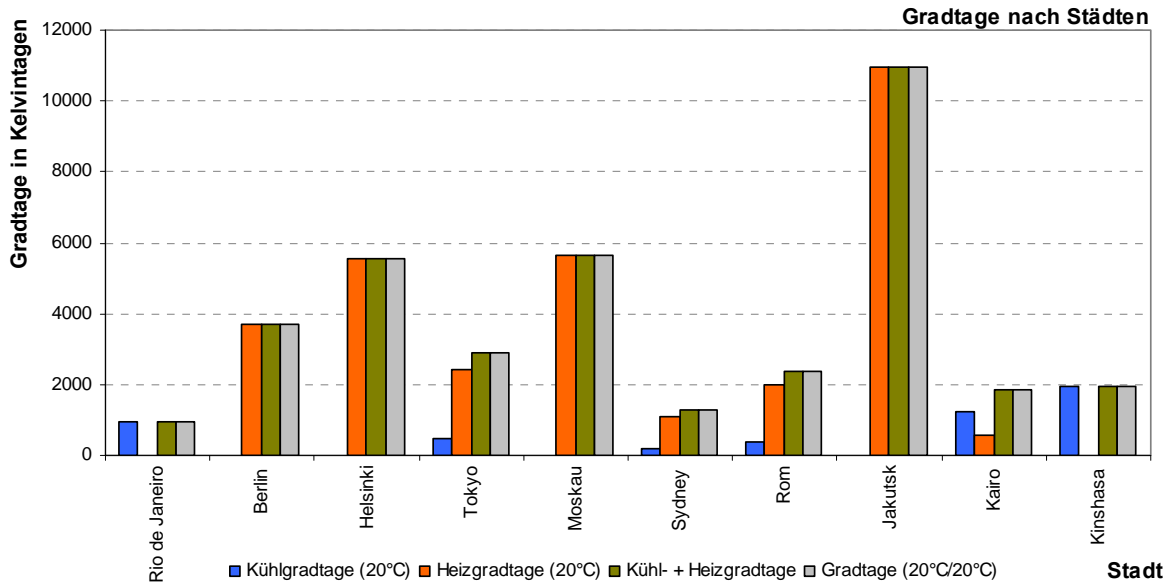
Gradtage und Kühlgradtage können ineinander überführt werden, z. B. entspricht GTZ25/25 KGT25.

Die Kühlgrenze ist die Temperatur ab der der Nutzer ein haustechnisches Kühlsystem aktiviert um einen weiteren Anstieg der Temperatur zu verhindern. Die Kühlgrenze wird in Klammern hinter der Anzahl der Kühlgradtage vermerkt (z.B. 1000 Kühlgradtage (22°C))

3.2.2.1 Bereiche ohne Heiz- und Kühlbedarf

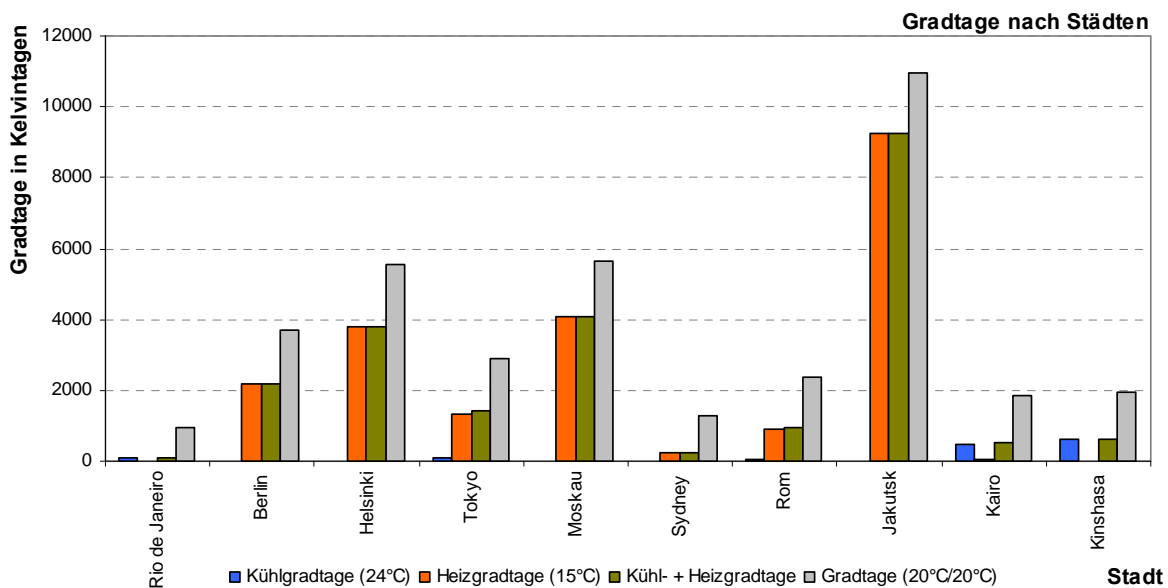
Aus der Unterteilung der Gradtage in Heizgradtage und Kühlgradtage ergibt sich ein Bereich zwischen Heizgrenze und Kühlgrenze. In diesem Bereich ist weder Kühlung noch Heizung notwendig.

Das Arbeitsblatt 3.1 Gradtage nach Städten erlaubt die Ermittlung von Heiz-, Kühl- und Gradtagen in Abhängigkeit von Heiz- und Kühlgrenze. Für eine Heiz- und Kühlgrenze von jeweils 20°C (der bisher angenommene Fall) ergibt sich:



Grafik 12: Heizgradtage (20°C), Kühlgradtage(20°C) und Gradtage (20°C/20°C) nach Städten

Für eine Heizgrenze von 15°C und eine Kühlgrenze von 24°C ergibt sich:



Grafik 13: Heizgradtage (15°C), Kühlgradtage(24°C) und Gradtage (20°C/20°C) nach Städten

Es ist erkennbar, dass durch Veränderung der Grenzen die Summe der Gradtage deutlich variiert. Analog variiert die Transmission und die optimale Dämmstärke.

Neben den internen Wärmequellen sind vor allem Nutzeraspekte für Heiz- und Kühlgrenze relevant. Hierzu zählen vor allem Anwesenheit (bei Abwesenheit kann sich die Innenraumtemperatur außerhalb des Komfortbereiches bewegen) und Temperaturtoleranz (z.B. die Bereitschaft statt zu heizen einen Pullover anzuziehen). Das Datenblatt erlaubt die Auswirkungen solcher Entscheidungen auf die Energiebilanz abzuschätzen.

3.2.3 Erweiterung des Rechenmodells

Nach der Anpassung der Gradtage wird im Folgenden das Rechenmodell erweitert

3.2.3.1 Die Ermittlung der Heizgrenze

Aktuell entspricht die ermittelte Heizgrenze nicht der Grenze, die für die Berechnung der Gradtage herangezogen wurde. Die rechnerische Auflösung dieses Problems wird im Folgenden erläutert.

Das Problem des Zusammenhanges ist Wechselwirkung von U-Wert/ Dämmstärke, Heizgrenze und Heizgradzahl. Ein guter U-Wert durch dicke Dämmung resultiert in einer niedrigen Heizgrenze und folglich einer geringen Anzahl an Heizgradtagen. Diese macht die dicke Dämmung unnötig, da ja nach Anzahl der Heizgradtage kaum Transmission stattfindet.

Diese Wechselwirkung kann nicht direkt aufgelöst werden sondern erfordert ein Herantasten an den letzten Endes optimalen Wert.

Die Vorgehensweise hierbei ist:

- Schritt 1: Berechnung der optimalen Dämmstärke nach Gradtagen
(Berechnungsblätter nach Konstruktionssystem, z.B. 3.1 Bauteiloptimierung Holzrahmen.xls)
- Schritt 2: Berechnung der Heizgrenze
(Berechnungsblätter nach Konstruktionssystem, z.B. 3.1 Bauteiloptimierung Holzrahmen.xls)
- Schritt 3: Berechnung aus der Heizgrenze resultierender Heizgradtage
(nach 3.1 Gradtage nach Städten)
- Schritt 4: Berechnung der optimalen Dämmstärke nach den ermittelten Heizgradtagen
(Berechnungsblätter nach Konstruktionssystem, z.B. 3.1 Bauteiloptimierung Holzrahmen.xls)

Wiederholung der Schritte 2 bis 4 bis keine Veränderung mehr eintritt.

Da der geschilderte Prozess sehr langwierig sein kann ist es sinnvoll gegebenenfalls nicht über die eine erste Berechnung nach Gradtagen, sondern über eine erste Schätzung einer sinnvollen Dämmstärke zu beginnen und diese anschließend rechnerisch zu überprüfen.

Beispiel

Für das Referenzgebäude mit $1,16 \text{ Watt/m}^2_{\text{Hülle}}$ ergibt sich nach dem beschriebenen Rechenprozess eine optimale Heizgrenze bei $10,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Diese resultiert in 25.500 Heizgradtagen und einer optimalen Dämmstärke von 319 mm.

Da die internen Wärmequellen die optimale Dämmstärke senken liegt die erste Vermutung nahe, soviel interne Wärme zu generieren wie möglich. Dies ist nicht sinnvoll, da die internen Wärmequellen aus der Abwärme meist elektrisch betriebener Geräte resultiert, deren eigentlicher Zweck nicht die Wärmeerzeugung ist.

3.2.3.2 Die Ermittlung der Kühlgrenze

Die Ermittlung der Kühlgrenze ist deutlich einfacher als die Ermittlung der Heizgrenze, da keine direkte Interaktion von Dämmstärke und internen Wärmequellen vorliegt. Die Kühlgrenze leitet sich ausschließlich als gewünschte Innenraumtemperatur aus den Nutzerbedürfnissen ab.

Über die entstehende Temperaturdifferenz ergibt sich eine optimale Dämmstärke für den Wandaufbau. Die internen Wärmequellen müssen bei Überschreiten der Kühlgrenze ebenfalls haustechnisch gekühlt werden. Auch oberhalb der Kühlgrenze existiert jedoch ein Bereich, in dem es energiesparender wäre die internen Wärmequellen durch Lüften abzuführen und die Außenluft anschließend auf die Kühlgrenze abzukühlen. Die für die Veränderung der Temperatur der Luft benötigte Energie entspricht $0,36 \text{ Wh/m}^3_{\text{Luft}}$. Pro Watt interner Wärmequelle ergibt sich 1 Wh pro Stunde.

Die Vereinfachung wird zu diesem Zeitpunkt aus folgendem Grund getroffen:

Das Konzept der Lüftung ist in seiner Leistung abhängig vom gewählten haustechnischen System. Das Gebäude besitzt zu diesem Zeitpunkt kein haustechnisches System. Erst in Kapitel 4 und 5 werden entsprechende Systeme auf ihre Auswirkungen untersucht. Die gesonderte Auflistung des durch interne Wärmequellen

anfallenden Kühlbedarfs ermöglicht eine übersichtlichere Bilanzierung des Gesamtsystems. Die resultierende Ungenauigkeit wird zugunsten des vereinfachten Verfahrens in Kauf genommen.

3.2.4 Berechnung der Kennwerte für die Beispielstädte

Basierend auf dem erweiterten Rechenmodell werden im Folgenden die optimalen Dämmstärken für den Holzrahmenbau für die Beispielstädte entwickelt. Für die internen Wärmequellen werden $1 \text{ Watt/m}^2_{\text{Hülle}}$ bzw. $2 \text{ Watt/m}^2_{\text{Hülle}}$ beispielhaft angenommen.

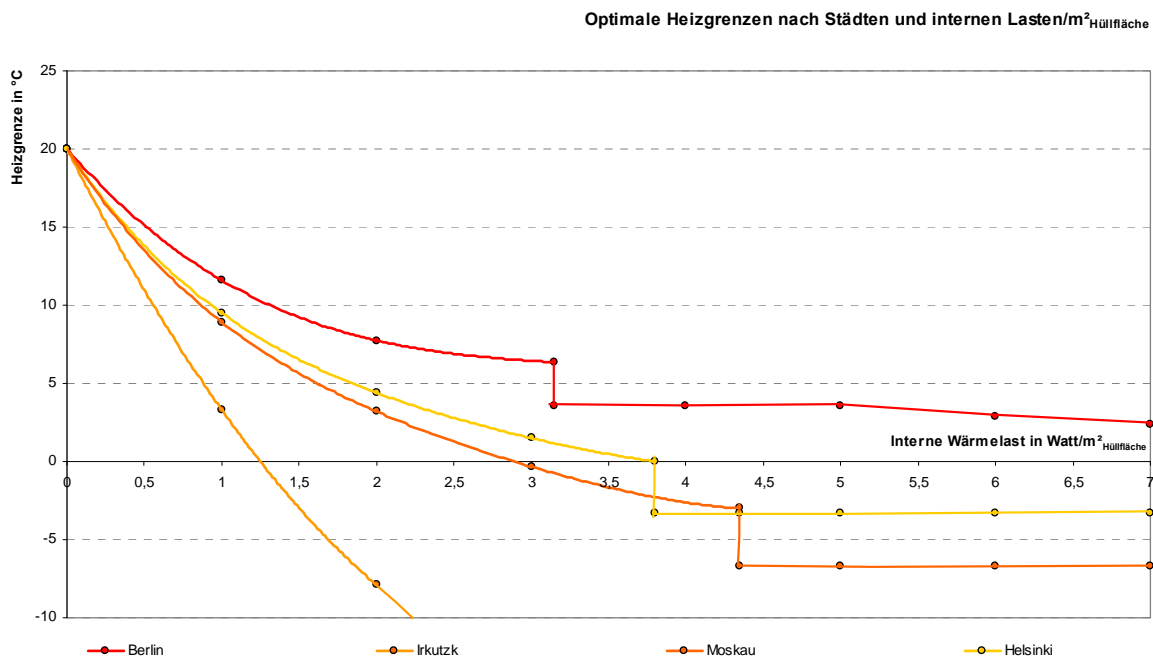
3.3.4.1 Standorte mit monatlichen Mitteltemperaturen $< 20^\circ\text{C}$ im Jahr

Alle Gebäude in den aufgeführten Städten haben ausschließlich Wärmebedarf, da die monatliche Mitteltemperatur immer unterhalb der Kühlgrenze (angenommen 20°C) liegt.

	Gradtage ₂₀ (pro Jahr)	Heizgrenze (1 Watt/ $\text{m}^2_{\text{Hülle}}$)	Heizgradtage (1 Watt/ $\text{m}^2_{\text{Hülle}}$)	Heizgrenze (2 Watt/ $\text{m}^2_{\text{Hülle}}$)	Heizgradtage (2 Watt/ $\text{m}^2_{\text{Hülle}}$)	Optimale Dämmstärke 20 Jahre (ohne interne Wärme)	Optimale Dämmstärke 20 Jahre (1 Watt/ $\text{m}^2_{\text{Hülle}}$)	Optimale Dämmstärke 20 Jahre (2 Watt/ $\text{m}^2_{\text{Hülle}}$)
Berlin	3.692,9	11,6	1454,6	7,74	759,5	555 mm	342 mm	242 mm
Helsinki	5.529,5	9,5	2179,3	4,39	1246,5	648 mm	422 mm	315 mm
Moskau	5.662,4	8,92	2704,4	3,19	1452,6	692 mm	473 mm	342 mm
Jakutsk	10.967,8	3,3	6230,6	-7,9	3874,3	971 mm	727 mm	569 mm

Tabelle 10: Kennwerte für Beispielstädte mit Heizbedarf

Sind auf diesem Weg drei Werte für die Heizgrenze ermittelt, lassen sich über diese auf dem Arbeitsblatt 3.3 *Logarithmische Bestimmung von Heizgrenzen.xls* weitere Werte zumindest in erster Annäherung ermitteln. Die folgende Grafik bildet die Werte für die vier Beispielstädte ab.



Grafik 14 : Kennwerte für Beispielstädte mit Heizbedarf grafisch

Der grundsätzliche Zusammenhang kann vereinfacht wie folgt formuliert werden:

Bei zunehmenden internen Wärmegewinnen ergibt sich bei einer geringeren Dämmstärke die optimale Gesamtenergiebilanz des Wandaufbaus. Trotz der abnehmenden Dämmstärke sorgen die internen Gewinne bei Zunahme für einen Heizbedarf erst ab einer kälteren Temperatur und somit für eine sinkende Heizgrenze.

Anders formuliert:

Die internen Gewinne wachsen in ihrer Bedeutung bei optimierter Gesamtbilanz schneller als die Transmissionsverluste durch abnehmende Dämmstärke.

Zum Verlauf der Graphen:

Auffällig ist der Abfall des Graphen bei einer standortabhängigen internen Wärmelast. Begründet liegt der Verlauf hier in der systemspezifischen Konstruktion des verwendeten Referenzaufbaus (heterogen A). Da ab 20 cm Dämmstärke die Wärmebrücke minimiert wird existiert an dieser Schwelle ein Sprung in der Abnahme der Transmissionsverluste über die stufenlose Verbesserung des U-Wertes hinaus. Aus diesem Grund der auch in Grafik 9 für den Sprung verantwortlich ist, resultiert auch der Verlauf der hier dargestellten Graphen. An dieser Stelle findet der Wechsel auf 20 cm Dämmung statt, die anschließend für einen gewissen Bereich als optimale Dämmstärke (mit analog konstanter Heizgrenze) konstant bleibt.

Der minimale Wert ist an allen Standorten erreicht wenn die Heizgrenze im monatsmittel nicht mehr unterschritten wird und der gesamte Transmissionsverlust über interne Wärmequellen gedeckt werden kann.

Beispiel

Über die erläuterten Zusammenhänge lässt sich auch ermitteln, wie viel mehr interne Gewinne in Jakutsk notwendig sind um auf die gleiche optimale Wanddicke zu kommen wie in Berlin bei $1 \text{ Watt/m}^2_{\text{Hülle}}$.

Die optimale Dämmstärke beträgt in Berlin 341 mm, basierend auf 29.000 Heizgradtagen. Diese 29.000 Heizgradtage ergeben sich in Jakutsk, wenn die Heizgrenze bei $-23,3^\circ\text{C}$ liegt. Diese Heizgrenze ist in Jakutsk optimal bei internen Wärmegewinnen von $5,15 \text{ Watt/m}^2_{\text{Hülle}}$.

Aus den unter 3.3.2 beschriebenen internen Lasten wird es bei der Verwendung energieeffizienter Haushaltsgeräte in diesem Fall ziemlich voll in dem Referenzgebäude in Jakutsk (etwa 5 vierköpfige Familien auf 150 m^2).

Im Kontext zu den Zusammenhängen aus 3.2 muss die Außenhülle bei gleicher Nutzung ($1 \text{ Watt/m}^2_{\text{Hülle}}$) um Faktor 5,15 reduziert werden. Dies ist durch Reihung und Stapelung durchaus möglich.

Die Beispielrechnung ist keine Personen- sondern eine Gebäudebilanz. Durch die Bewohnung durch mehr Personen hat das Gebäude in Jakutsk zwar dieselbe Gebäudebilanz wie das Gebäude in Berlin, diese wird für eine Personenbilanz jedoch noch durch 5,15-mal mehr Bewohner geteilt.

Da sich die Bewohner rechnerisch exakt zweimal als Faktor in dieser Rechnung vorfinden, lässt sich über eine einfache Quadratwurzel die notwendige Mehrbelegung für Jakutsk ermitteln um eine mit Berlin identische Personenbilanz zu erhalten. Ergebnis: Faktor 2,27.

3.2.4.2 Standorte mit monatlichen Mitteltemperaturen > 20°C im Jahr

Alle Gebäude in den aufgeführten Städten haben ausschließlich Kühlbedarf, da die monatliche Mitteltemperatur immer oberhalb der Heizgrenze (angenommen 20°C) liegt. Es werden zwei Kühlgrenzen (20°C und 24°C) angenommen.

	Gradtage ₂₀ (pro Jahr)	Kühlgradtage (Kühlgrenze 20 °C)	Optimale Dämmstärke (Kühlgrenze 20 °C)	Kühlmonate (Kühlgrenze 20 °C)	Kühlgradtage (Kühlgrenze 24 °C)	Optimale Dämmstärke (Kühlgrenze 24 °C)	Kühlmonate (Kühlgrenze 24 °C)
Rio de Janeiro	944,9	944,9	279 mm	12	92,7	89 mm	2
Kinshasa	1952,7	1952,7	399 mm	12	595,7	212 mm	9

Tabelle 11 : Kennwerte für Beispielstädte mit Kühlbedarf

Zusätzliche Kühllast durch interne Wärmequellen:

Jeder Watt konstante interne Last summiert sich in einem Jahr auf: 8760 Wh oder 8,76 kWh. Bei angenommenen 20 Jahren ergeben sich 175,2 kWh pro Watt interner Wärme der konstant 12 Monate im Jahr bei einer Außentemperatur > Kühlgrenze anliegt.

Die internen Wärmequellen fallen nur an, wenn die Außentemperatur über der Kühlgrenze liegt, was in Abhängigkeit der Kühlgrenze den Kühlbedarf für interne Wärmequellen deutlich reduzieren kann (Beispiel Rio de Janeiro).

3.2.4.3 Standorte mit monatlichen Mitteltemperaturen < 20°C und > 20°C im Jahr

Die folgenden Standorte weisen über den Jahresverlauf sowohl Heiz- als auch Kühlbedarf auf. Untersucht werden zwei Kühlgrenzen (20°C und 24°C) sowie zwei anliegende interne Wärmemengen (1 Watt/ m²_{Hülle} und 2 Watt/ m²_{Hülle}).

	Kühlgrenze	Kühlmonate	Gradtage ₂₀ (pro Jahr)	Heizgrenze (1 Watt/ m ² _{Hülle})	Heizgradtage + Kühlgradtage pro Jahr (1 Watt/ m ² _{Hülle})	Heizgrenze (2 Watt/ m ² _{Hülle})	Heizgradtage + Kühlgradtage pro Jahr (2 Watt/ m ² _{Hülle})	Optimale Dämmstärke (1 Watt/ m ² _{Hülle})	Optimale Dämmstärke (2 Watt/ m ² _{Hülle})
Kairo	20 °C	7	1826,3	12,2 °C	1237,7	4,4 °C	1237,7	314 mm	314 mm
	24 °C	6		14,8 °C	516,8	9,6 °C	568,7	201 mm	201 mm
Tokyo	20 °C	4	2878,4	12,1 °C	1301,8	7,7 °C	745,4	379 mm	242 mm
	24 °C	2		14,3 °C	1045,5	9,3 °C	570,4	223 mm	207 mm
Sydney	20 °C	4	1287,3	14,8 °C	387,1	9,6 °C	177,9	201 mm	201 mm
	24 °C	0		17,4 °C	203,6	14,3 °C	158,6	106 mm	123 mm
Rom	20 °C	4	2375,9	13,1 °C	980,5	9,6 °C	548,6	277 mm	201 mm
	24 °C	2		14,8 °C	757,3	9,6 °C	208,2	201 mm	201 mm

Tabelle 12 : Kennwerte für Beispielstädte mit Kühlbedarf und Heizbedarf

Die rot markierten Heizgrenzen werden ausschließlich durch den optimalen Dämmstandard für den Kühlfall definiert. Durch die anliegenden internen Wärmequellen ergibt sich kein Heizbedarf, da die entsprechende Heizgrenze nie unterschritten wird. Auf eine Heizung könnte also bei diesem Dämmstandard verzichtet werden.

3.3 Gesamtgebäudebilanzierung für die Beispielstandorte

Aus dem erweiterten Rechenmodell und den getroffenen Definitionen lässt sich nun die Gesamtenergiebilanz des Referenzgebäudes für die Beispielstädte ermitteln. Der Klimatisierungsbedarf für die Atemluft wird in der Grafik nicht ausgewiesen.

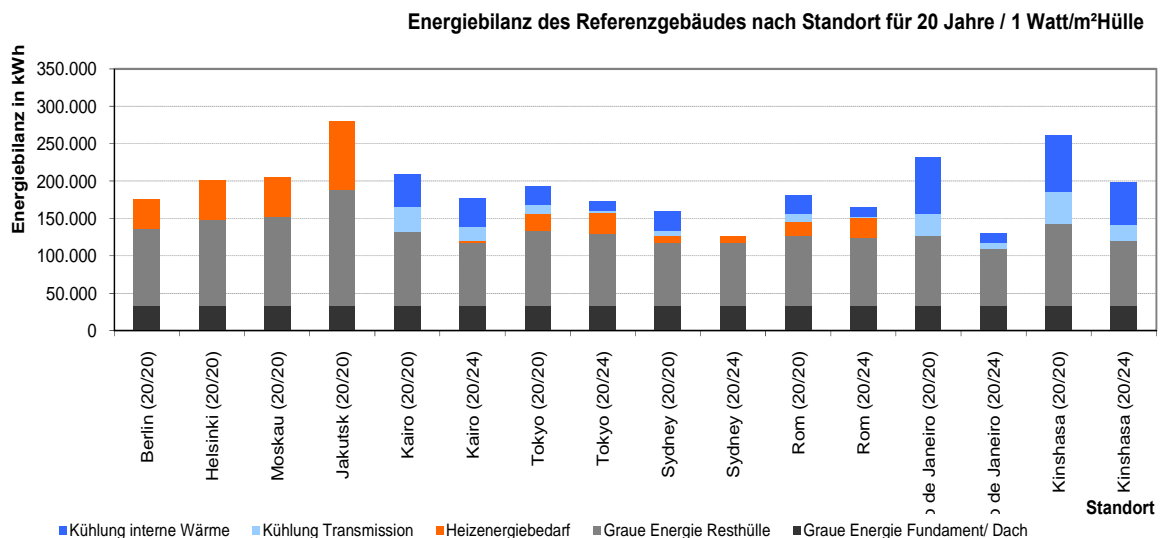
Fall A)

Für 1 Watt interne Wärmequellen/m² Hüllfläche (432 Watt gesamt) ergibt sich:

1 Watt interne Wärme / m ² Hüllfläche	Kühlgrenze	Gesamtenergiebilanz (bei 20 Jahren Lebensdauer)	Graue Energie (in kWh)	Heizenergiebedarf (in kWh)	Kühlenergiebedarf durch Transmission (in kWh)	Kühlung interne Lasten (in kWh)	Lüftungsheizbedarf pro dauerhaft anwesender Person über 20 Jahre (in kWh)	Lüftungskühlbedarf pro dauerhaft anwesender Person über 20 Jahre (in kWh)
Berlin	---	131.988	96.240	39.060	0	0	15.953	0
Helsinki	---	151.278	105.620	52.860	0	0	23.887	0
Moskau	---	156.018	107.915	53.320	0	0	24.461	0
Jakutsk	---	212.273	134.760	91.000	0	0	47.380	0
Kairo	20 24	169.956 82.269	93.545 1.980	0 1.980	32.866 18.582	44.150 37.843	2.542 2.542	5346 2024
Tokyo	20 24	153.017 133.326	94.346 90.754	21.504 29.040	12.284 3.123	25.228 12.614	10.389 10.389	2045 468
Sydney	20 24	122.159 90.212	82.271 82.271	8.480 8.480	7.064 0	25.228 0	4.792 4.792	768 0
Rom	20 24	143.938 124.251	89.856 86.263	17.859 25.580	11.340 1.249	25.228 12.614	8.617 8.617	1646 160
Rio de Janeiro	20 24	192.598 94.678	89.357 73.607	0 0	28.595 8.630	75.686 12.614	0 0	4081 400
Kinshasa	20 24	218.363 161.975	102.030 83.369	0 0	41.687 22.622	75.686 56.764	0 0	8.435 2573

Tabelle 13: Gesamtbilanzen für 1 Watt interne Wärmequellen/m² Hüllfläche

Die gleichen Daten grafisch:



Grafik 15: Gesamtbilanzen für 1 Watt interne Wärmequellen/m² Hüllfläche grafisch

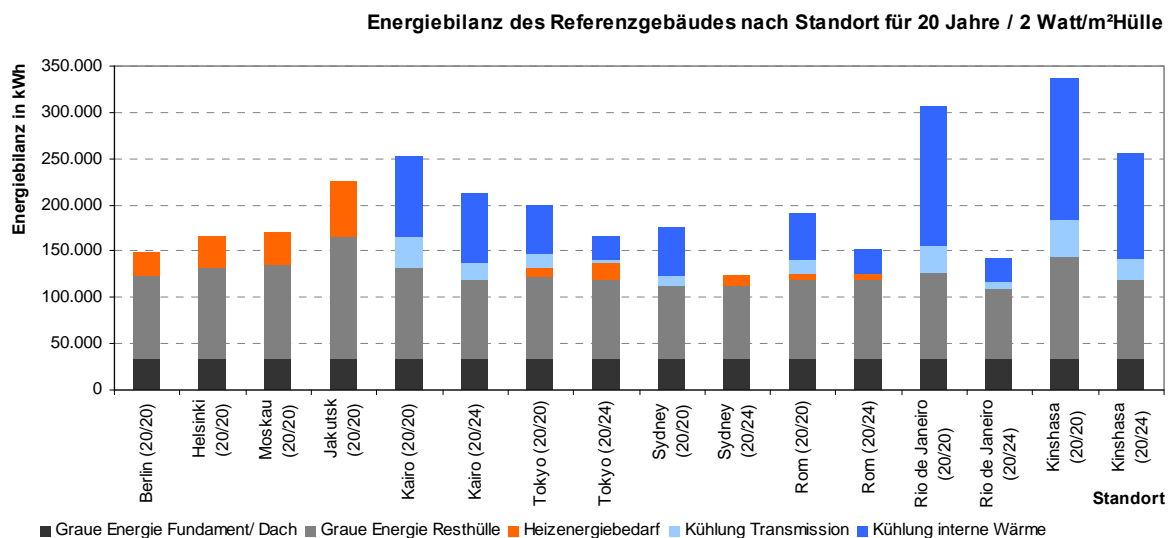
Fall B)

Für 2 Watt interne Wärmequellen/m² Hüllfläche (864 Watt gesamt) ergibt sich:

2 Watt interne Wärme / m ² Hüllfläche	Kühlgrenze	Gesamtenergiebilanz (bei 20 Jahren Lebensdauer)	Graue Energie (in kWh)	Heizenergiebedarf (in kWh)	Kühlenergiebedarf (in kWh)	Kühlung interne Lasten (in kWh)	Lüftungsheizbedarf pro dauerhaft anwesender Person über 20 Jahre (in kWh)	Lüftungskühlbedarf pro dauerhaft anwesender Person über 20 Jahre (in kWh)
Berlin	---	111.916	86.363	25.553	0	0	15.953	0
Helsinki	---	126.766	93.648	33.118	0	0	23.887	0
Moskau	---	131.992	96.242	35.750	0	0	24.461	0
Jakutsk	---	179.046	118.995	60.051	0	0	47.380	0
Kairo	20 24	214.739 176.540	93.548 82.271	0 0	32.891 18.583	88.300 75.686	2.542 2.542	5346 2024
Tokyo	20 24	161.869 130.265	86.064 82.970	9.248 17.908	16.100 4.159	50.457 25.228	10.389 10.389	2045 468
Sydney	20 24	139.483 87.800	76.848 76.231	0 11.569	12.178 0	50.457 0	4.792 4.792	768 0
Rom	20 24	154.659 115.758	82.571 82.271	6.701 6.790	14.930 1.469	50.457 25.228	8.617 8.617	1646 160
Rio de Janeiro	20 24	269.324 107.465	89.357 73.607	0 0	28.595 8.630	151.372 25.228	0 0	4081 400
Kinshasa	20 24	295.089 219.520	102.030 83.369	0 0	41.687 22.622	151.372 113.529	0 0	8.435 2573

Tabelle 14: Gesamtbilanzen für 2 Watt interne Wärmequellen/m² Hüllfläche

Die gleichen Daten grafisch:



Grafik 16: Gesamtbilanzen für 2 Watt interne Wärmequellen/m² Hüllfläche grafisch

Deutlich werden in den Bilanzierungen die Dominanz der Grauen Energie bei optimaler Dämmstärke und die Problematik interner Wärmequellen an Standorten mit hohen Außentemperaturen.

3.4 Ergebnis

Am Ende dieses Kapitels liegt ein bewohntes Referenzgebäude vor. Diese opake, bewohnte Hülle würde auf der Basis von Grauem Energiegehalt und Transmission über die Lebensdauer in ihrer Dämmwirkung optimiert. Anschließend wurde das Verhalten dieses optimierten Gebäudes auf unterschiedliche Rahmenbedingungen untersucht.

Das entwickelte Gebäude weist je nach Standort Heiz- und Kühlenergiebedarf auf. Zusätzlich resultiert durch den Nutzer ein Energiebedarf für Warmwasser, die Temperierung der Atemluft und Strom für Gebrauchsgegenstände, die stark vom Standort abhängig sind und deshalb nicht in der Gesamtbilanz aufgeführt sind.

Die Größe dieses Bedarfs ist innerhalb dieses Kapitels beziffert worden, wie sie bereitgestellt wird ist noch nicht geklärt. Aus diesem Grund kann die jeweils benötigte Energie zu diesem Zeitpunkt auch nur als Betrag beziffert werden. Auch sind in den Werten noch keine Primärenergiefaktoren enthalten, der der Energieträger noch nicht gewählt wurde.

Belegt ist, wie die Hülle auf Nutzung (interne Wärmequellen) und Standort (Außentemperatur) angepasst werden muss um das optimale Ergebnis in der Gesamtbilanz zu erhalten.

Die Gesamtbilanzen bilden zudem ab, welche Maßnahmen bei der weiteren Verbesserung der Bilanz Priorität haben sollten. Als Beispiel kann vereinfacht formuliert werden, dass in Kinshasa der Schwerpunkt auf einer Abführung der intern generierten Wärme nach Außen liegen sollte, während in Sydney Strategien zu Reduzierung der Grauen Energie gesucht werden müssen. Ebenso kann über die Bilanzierung bereits abgebildet werden welcher Effekt sich über ein verändertes Nutzerverhalten, zum Beispiel über eine veränderte Temperaturtoleranz erzielen lässt.

3.4.1 Auswirkung eines Mindestanteils von Fensterflächen

Das Gebäude hat zum aktuellen Zeitpunkt keine Fensterflächen, was auch vor dem Hintergrund global sehr unterschiedlicher Konzepte als unrealistisch gelten muss. Ein Mindestfensteranteil ist in einigen Ländern sogar gesetzlich vorgeschrieben.

Moderne Häuser tendieren in Mitteleuropäischem Klima zu etwa 20% Fensterflächen. Global betrachtet kann ein Anteil von 10% bis 30% angenommen werden. Die Flächen lassen sich über die in Kapitel 4 entwickelten Berechnungsmodelle in Bezug auf ihre Auswirkungen frei wählbar eingeben und untersuchen. In Bezug auf die aus den Fensterflächen resultierenden Transmissionsverluste und die folgende Veränderung der Bilanzen am Ende des Kapitels können jedoch in erster Näherung aussagen getroffen werden.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Qualität der Fenster in Relation zur Qualität der opaken Wandflächen gewählt wird. Realistisch ist bei Fenstern ein U-Wert, der etwa um Faktor 5 schlechter ist als bei den opaken Wandflächen. Dieses Verhältnis entspricht ziemlich genau üblichen Kombinationen im Fall von:

Passivhäusern ($U\text{-Wert}_{\text{opak}}=0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U\text{-Wert}_{\text{Fenster}}=0,6 - 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Niedrigenergiehäusern (KFW60) ($U\text{-Wert}_{\text{opak}}=0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U\text{-Wert}_{\text{Fenster}}=0,8 - 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Neubauten nach EnEV ($U\text{-Wert}_{\text{opak}}=0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U\text{-Wert}_{\text{Fenster}}=1,2 - 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Altbauten ($U\text{-Wert}_{\text{opak}}=0,4 - 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U\text{-Wert}_{\text{Fenster}}= \text{etwa } 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Auf Basis dieser Annahmen führt ein Fensteranteil von 10% zu einer Erhöhung der Transmissionsverluste um 40% und ein Fensteranteil von 20% zu einer Erhöhung der Transmissionsverluste um 80%.

3.4.2 Vergleich der benötigten Grauen Energie mit den internationalen Zielsetzungen

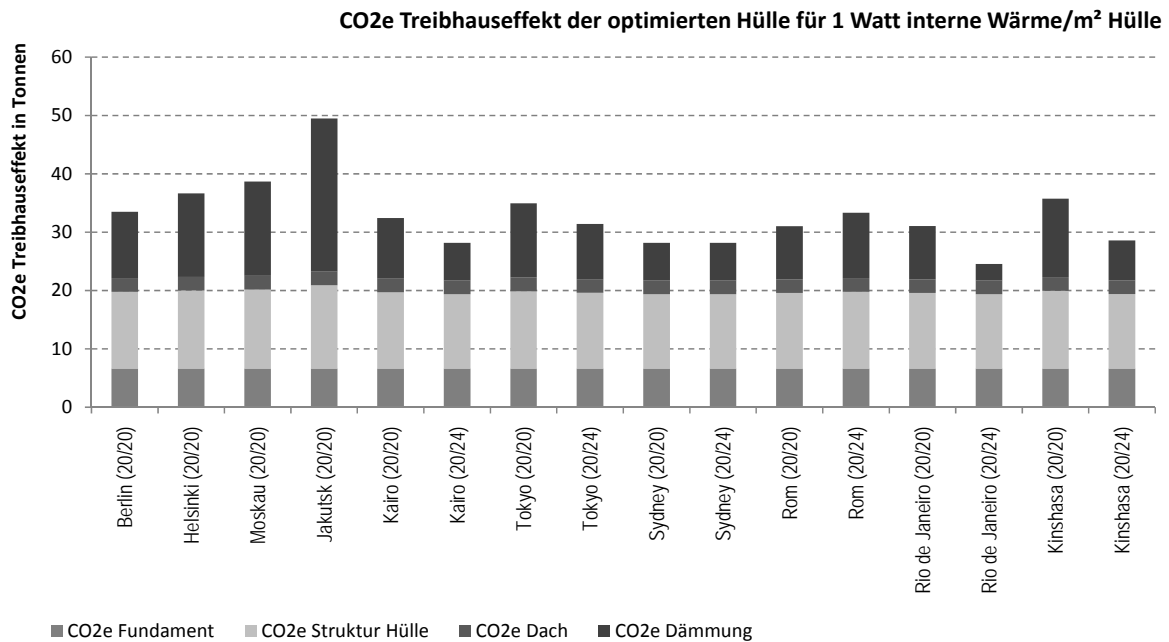
Da das Referenzgebäude zum aktuellen Zeitpunkt über kein haustechnisches System verfügt kann nur die Graue Energie der Gebäudehülle für eine erste Beurteilung in einen Zusammenhang mit den Zielsetzungen der Vereinten Nationen gesetzt werden.

Hierzu wird die Graue Energie der Gebäudehülle auf der Basis der Datenbank Ecolnvent in CO₂ äquivalente Treibhauseffekte umgerechnet. Da die Graue Energie innerhalb der verwendeten Datenblätter bereits entsprechend gewichtet wurde resultiert aus der Umrechnung keine Veränderung der Verhältnisse innerhalb der Bilanzen.

Die Umrechnung unterliegt den in Kapitel 1 beschriebenen Einschränkungen. Insbesondere basieren alle Umrechnungen auf den Ecolnvent Annahmen, die für weniger entwickelte Infrastrukturen stark abweichen können. Standorte wie Kairo und Kinshasa sind also in erster Linie als Rechenbeispiele für die Klimabedingungen zu verstehen und nicht als differenzierte Beispiele.

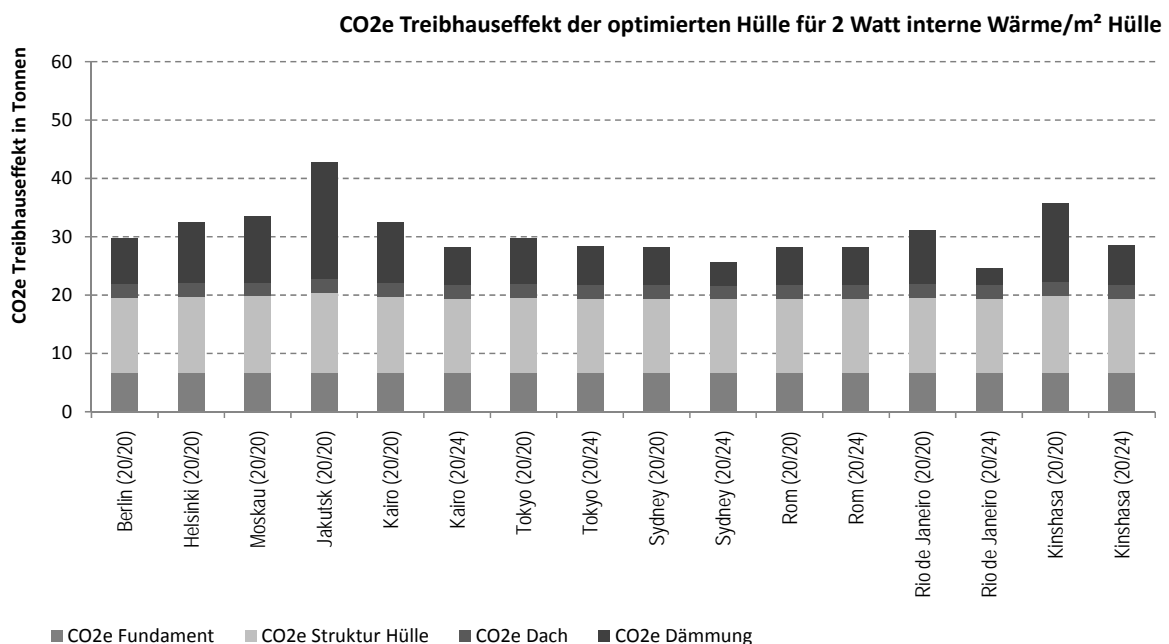
Die folgenden Grafiken stellen die aus der Struktur resultierenden CO₂-equivalenten Treibhauseffekte dar:

Fall A:



Grafik 17: Treibhauseffekt der Hülle für 1 Watt/ m² Hülle

Fall B:



Grafik 18: Treibhauseffekt der Hülle für 2 Watt/ m² Hülle

Es ist klar ablesbar, dass die Zielsetzungen der Vereinten Nationen hohe Anforderungen an Gebäude stellen. Bereits die Graue Energie der Hülle ist über das in Kapitel 2 veranschlagte Emissionsguthaben eines einzelnen Menschen in 20 Jahren (20 Tonnen CO₂e) nicht zu erbringen.

Es bieten sich mehrere Lösungen an, von denen im Rahmen dieser Arbeit nur die Nutzung durch mehrere Bewohner als Indikator für die Energie- und Emissionsintensität von Standorten bezüglich von Wohngebäuden herangezogen wird.

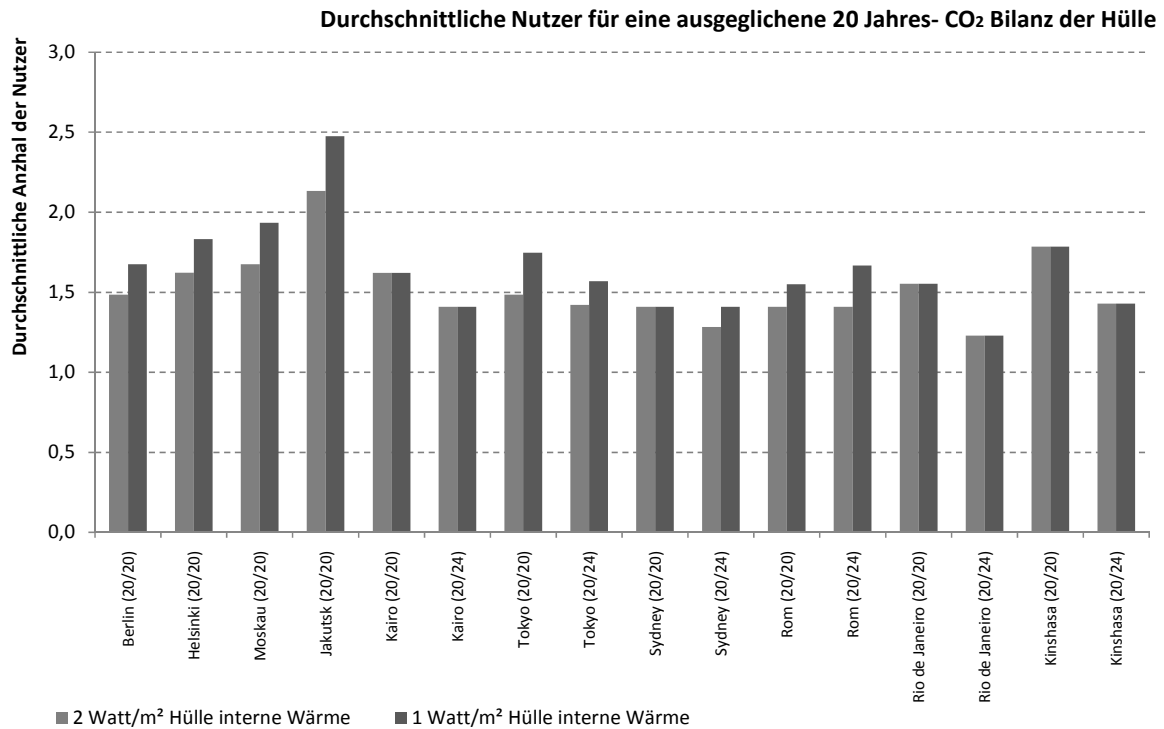
Eine kurze Zusammenfassung möglicher Lösungsansätze im Folgenden:

- Das Gebäude wird von mehreren Bewohnern genutzt.
Dieser Ansatz ist aufgrund der Größe des Referenzgebäudes sehr realistisch. Je nach Wohnform (2 bis 4 Singlehaushalte oder 1-2 Familien) kann zudem der Strombedarf pro Kopf durch Doppelnutzung von Haushaltsgeräten deutlich reduziert werden. Je größer die Anzahl der Bewohner umso realistischer wird Fall B (2 Watt/m² Hülle). Dies verbessert die Bilanz der Hülle an Standorten mit Wärmebedarf noch einmal deutlich. Es ist absehbar, dass an Standorten mit Kühlbedarf die höheren internen Wärmequellen die Verbesserung der Bilanz durch gemeinsames wohnen deutlich abschwächen werden (vgl. Grafik 15 und 16)
- Der oder die Bewohner nutzen ihr Emissionsguthaben fast ausschließlich für das Gebäude (die 0,5 Tonnen CO₂e für Transport lassen sich theoretisch auf Null reduzieren und dem Wohnbereich zuordnen).
Da die Zielsetzungen aus Kapitel 2 für die Bereiche Konsum, Strom und Transport ebenfalls sehr ambitioniert sind, muss diese Lösung als wenig realistisch bezeichnet werden. Auch wenn einzelne Personen Strecken ausschließlich zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurücklegen ist ein solcher Ansatz mutmaßlich eher als Ausnahme zu bezeichnen.
- Die Lebensdauer des Gebäudes verlängert sich.
Die Nutzung des Gebäudes über 20 Jahre hinaus muss bei hochwertiger Bausubstanz als Regelfall angenommen werden. Zu berücksichtigen ist aber, dass nach einer derartigen Nutzungsdauer Sanierungsmaßnahmen wahrscheinlich sind. Dies gilt insbesondere für die (nicht in der Bilanzierung enthaltene) Sanitäranlagen. Die Verlängerung der Lebensdauer fließt also nicht linear in die Bilanz ein, ergibt aber eine klare Verbesserung und sollte deshalb angestrebt werden. Eine Veränderung der Nutzungsdauer hätte auch eine veränderte optimale Dämmstärke zur Folge. Die Nutzungsdauer von 20 Jahren ist jedoch aus den in Kapitel 1 beschriebenen Gründen (ökonomische Rahmenbedingungen/ Abschreibung, schwierige Prognostizierbarkeit) die Basis der Bilanzierung.
- Durch nachhaltigere oder effizientere Energiegewinnung wird die aus der Energiegewinnung resultierende Emissionsmenge reduziert.
Von einer Entwicklung klimaverträglicherer Methoden der Energiegewinnung kann mittelfristig ausgegangen werden. Unter diese Entwicklung fallen die Nutzung regenerativer Energiequellen, die verbesserte Aufbereitung der Energieträger und die Verbesserung der Effizienz der Umwandlung von Energieträgern in Energie.
Aus dieser Annahme folgt eine Veränderung der für den (noch nicht in den Emissionen enthaltenen) laufenden Verbrauch benötigten Energie. Die Emissionen durch Graue Energie bestehender Gebäude wird durch eine zukünftige Veränderung jedoch nicht mehr beeinflusst.
- Das Emissionsguthaben pro Kopf erhöht sich.
Das Emissionsguthaben pro Mensch verändert sich durch die in Kapitel 2 geschilderten Rahmenbedingungen (Weltbevölkerung) oder die erfolgreiche Entwicklung von Methoden zur Rückspeicherung von CO₂e. Werden die verursachten Emissionen als Kredit begriffen, können über größere jährliche Budgets höhere jährliche Tilgungen erfolgen. Eine Abnahme der Weltbevölkerung muss jedoch als unrealistisch gelten (vgl. Kapitel 2) und eine realistische zeitliche Einschätzung einer marktreifen CO₂-Rückspeicherung ist derzeit noch nicht möglich.
- Durch Emissionshandel werden die überschüssigen Emissionen von anderen Menschen übernommen.
Diese Variante ist mittelfristig eine sehr wahrscheinliche Lösung (vgl. Kapitel 2). Der aktuelle Preis von etwa 22 Euro pro Tonne CO₂e stellt für Menschen in Industrienationen kein ökonomisches Hindernis dar. Das Referenzgebäude in Irkutsk würde so etwa Marktkosten von 750 Euro bei einer Einzelnutzung verursachen (über 20 Jahre). Es ist absehbar, dass die in Kapitel 2 angestrebten Emissionsgrenzen erst

wirksame Begrenzungen darstellen, wenn der Preis pro Tonne CO₂ deutlich steigt und eine Überschreitung des Emissionsbudgets folglich deutlich kostspieliger wird.

Der plakativste Indikator für die Emissionsintensität von Wohnungen ist die für eine Deckung des Emissionsaufkommens notwendige Anzahl der Bewohner. Unter den in Kapitel 2 angenommenen Zielsetzungen und Verteilung des persönlichen Emissionsbudgets können die in Grafik 17 und 18 aufgeführten Tonnen CO_{2e} direkt in Personenjahre oder eine durchschnittliche Anzahl von Bewohnern umgerechnet werden.

Als Abschluss des Kapitels kann das Zwischenergebnis für die Gebäudehülle wie folgt abgebildet werden:



Grafik 19: Durchschnittliche Nutzer für eine 20-Jahresbilanz analog zu den Zielsetzungen aus Kapitel 2

In der ermittelten, optimierten Hülle lassen sich die in Kapitel zwei definierten Ansprüche also mit einer realistischen Anzahl an Bewohnern problemlos erreichen.

3.5 Der Aufbau der weiteren Arbeit

Das Referenzgebäude verfügt zu diesem Zeitpunkt über kein haustechnisches System, das die benötigte Wärme- und Kühlenergie bereitstellen könnte.

In Verbindung mit einem solchen System wird eine Gewichtung der Energieformen erfolgen. Innerhalb der haustechnischen Systeme gibt es Unterschiede in der Effizienz der Bereitstellung. Die effizient (oder auch umsonst) zu erzeugende Energie wird folglich anders zu bewerten sein als sehr aufwendig bereitgestellte Energie.

Die vorhandenen Rechenmodelle und Datenblätter erlauben dies über die Anwendung von Faktoren auf den Energiebetrag, so dass die Konsequenzen für das Gebäude abgebildet werden können. Das folgende vierte Kapitel beschäftigt sich mit einzelnen haustechnischen Systemen und ihren Auswirkungen auf das Referenzgebäude.

Verglichen werden sollen die Auswirkungen anhand eines Vergleichs mit den vorliegenden Gesamtbilanzen. Ziel ist es mittels haustechnischer Systeme die benötigte Energie möglichst effizient bereitzustellen und die Gesamtbilanz weiter zu verbessern. Hierzu wird im folgenden Kapitel auch die mögliche regenerative Bereitstellung von Energieträgern untersucht.

Quellen Kapitel 3

- [1] James B. Davies, Susanna Sandström, Anthony Shorrocks and Edward N. Wolff; The World Distribution of Household Wealth, United Nations- University, Discussion Paper No. 2008/03 Seiten 4-5
- [2] Eigene Umfrage im Rahmen des Kobunaki Projektes <http://www.chikyunome.co.jp/en/>
- [3] Förderprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau unter:
http://www.kfw-foerderbank.de/DE_Home/Klimaschutzfonds/index.jsp
- [4] Studie der Unternehmensberatung Roland Berger für das Bundeswirtschaftsministerium, Auszüge im Handelsblatt vom 29.05.2007, <http://www.terminmarktwelt.de/cgi-bin/djnews.pl?ST=32855&F=82#newmsg>
- [5] Eigene Umfrage im Rahmen der Arbeit am Kobunaki Projekt in Kyoto, <http://www.chikyunome.co.jp/en/>
- [6] Ministry of Economy, Trade and Industry Japan (METI)
- [7] Statistics Bureau Japan: Land and Housing Survey 2003
- [8] Mizoue, Tetsuya, Kyushu University (Japan), Sick Building Syndrome in Relation to Environmental Tobacco Smoke and Overtime (2006)
- [9] <http://www.hapag-lloyd.de/de/index.html>
- [10] Internationale Energieagentur (IEA) <http://www.iea.org/>
- [11] James B. Davies, Susanna Sandström, Anthony Shorrocks and Edward N. Wolff; The World Distribution of Household Wealth, United Nations- University, Discussion Paper No. 2008/03 Seite 7
- [12] www.welt-auf-einen-blick.de
- [13] Bundesbaugesetz (BBauG) Deutschland
- [14] DIN 4102 und ENV 1992-1-2
- [15] 建築基準法 *kenchiku kijunhō*, japanisches Baugesetz, Japanisches Bauministerium (Kensetsushō) (1999)
- [16] Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie: *Energie verwenden statt verschwenden* (1997), S. 21
- [17] Praktischer Umweltschutz Schweiz (PUSCH), S. 10
- [18] <http://www.spiegel.de/netzwelt/tech/0,1518,538102,00.html>
- [19] *Volkswagen Umweltbericht 2001-2002*, S. 27
- [20] <http://www.energiesparende-geraete.de/>

Verwendete Literatur

Adriaanse, Albert, Stefan Bringezu, Allan Hammond, Youichi Moriguchi, Eric Rodenberg, Rogisch und Helmutz Schütz: Ressource Flows: The Material Basis of Industrial Economies, Washington/ USA, World Resource Institute (1997)

BMVBW Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Bundesministerium für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen (2001)

Born, M Indikatoren zur nachhaltigen Entwicklung. Konzepte, Prinzipien, Kriterien. Bremen (1997)

Brohmann, Bettina, Martin Cames und Anke Herold: Klimaschutz durch Minderung von Treibhausgasemissionen im Bereich Haushalte und Kleinverbrauch durch klimagerechtes Verhalten. Band 1: Private Haushalte. Öko Institut. 204 01 120. Forschungsbericht im Rahmen des Umweltforschungsplans des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Darmstadt, Berlin, Freiburg

Enquete-Kommission (Hrsg.) Konzept Nachhaltigkeit – Fundamente für die Gesellschaft von morgen, Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages (1998)

Frischknecht, Rolf, Peter Gresch, und Georg Hörning: Methoden zur Bewertung von Umwelttechnik. ETH Zürich. Studiengang Umweltnaturwissenschaften, Vorlesungsmanuskript Sommersemester 2001, Zürich

Frische, Uwe, F.C. Matthes, L. Rauch und K.H. Simon: Umweltwirkungsanalyse von Energiesystemen: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 2.1, Aktualisierter und erweiterter Endbericht. Öko Institut, Darmstadt, Freiburg, Berlin (1994)

INFRAS, ECONCEPT und PROGNOSE: Die vergessenen Milliarden. Externe Kosten im Energie und Verkehrsbereich, Bern, Stuttgart, Wien (1996)

Kohler, Nikolaus, K. Altmann und W. Baumgartner: Energie und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer. Schlussbericht. Bundesamt für Energiewirtschaft, Ecole Polytechnique Federale. Lausanne, Institut für Industrielle Bauproduktion, Karlsruhe, Bern (1994)

Lintz, Gerd, Clemens Deilmann und Ruth Böhm: Energiebedingte externe Kosten des Bauens und Wohnens. Institut für ökologische Raumentwicklung. IÖR Texte 122, Dresden (1999)

Weibel, Th. und A Stritz: Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baustoffe. ETH-Zürich. ESU-Reihe Nr. 1/95, Zürich, Schweiz (1995)

Verwendete Normen

Din 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Wohngebäuden

EN 18599 - Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Nichtwohngebäuden

Verwendete Datenbanken

Graue Energie und Ökobilanzen

Baubiologischer Bauteilkatalog" vom IBO

SIA Studie D 0123 für Hochbaukonstruktionen

Bauteilkatalog der Schweiz – Bilanzierungen auf für Bauteile basierend auf den Datensätzen der Eco-Invent Datenbank. Beurteilung nach Grauer Energie und Umweltbelastungspunkten

Eco-invent Datenbank – Datenbank

Klimadaten

Meteonorm 6.1 – Meteorologische Datenbank für Klimadaten (Solare Strahlung, Tagesmitteltemperaturen, Luftfeuchtigkeit)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Konstruktionsprinzipien für Regelwandaufbauten	61
Tabelle 2: Konstruktionsfaktoren für die Auswahl von Konstruktionssystemen	62
Tabelle 3: Standortkriterien für die Auswahl von Konstruktionssystemen.....	65
Tabelle 4: Referenzaufbauten für die Konstruktionssysteme	68
Tabelle 5: Bauphysikalische Daten der verwendeten Baustoffe	69
Tabelle 6: Gradtage nach Städten	71
Tabelle 7: Konstruktive Variationsmöglichkeiten nach System	77
Tabelle 8: interne Wärmequellen nach Ursache und Quelle	81
Tabelle 9: Interne Wärmequellen nach Nutzerverhalten	82
Tabelle 10: Kennwerte für Beispielstädte mit Heizbedarf	88
Tabelle 11 : Kennwerte für Beispielstädte mit Kühlbedarf	90
Tabelle 12 : Kennwerte für Beispielstädte mit Kühlbedarf und Heizbedarf	90
Tabelle 13: Gesamtbilanzen für 1 Watt interne Wärmequellen/m ² Hüllfläche	91
Tabelle 14: Gesamtbilanzen für 2 Watt interne Wärmequellen/m ² Hüllfläche	92

Grafikverzeichnis

Grafik 1: Energieintensität nach Transportmittel und Ländern	64
Grafik 2: Wohlstand und Einwohner nach Ländern.....	66
Grafik 3: Vergleich Graue Energie der Referenzaufbauten.....	70
Grafik 4: Optimale Dämmstärke nach 3.1 Dämmverbund.xls	72
Grafik 5: Optimale Dämmstärke nach 3.1 Dämmverbund.xls + Wärmebrückenzuschlag.....	73
Grafik 6: Optimale Dämmstärke nach 3.1 Dämmverbund.xls + Hintermauerwerk +/-50%	74
Grafik 7: Optimale Dämmstärke nach 3.1 Dämmverbund.xls + Dämmstoff +/- 50%	74
Grafik 8: Gesamtbilanz bei Abweichung von der optimalen Dämmstärke nach 3.1 Dämmverbund.xls.....	75
Grafik 9: Gesamtbilanz bei Abweichung von der optimalen Dämmstärke nach 3.1 Dämmverbund.xls + Graue Energie Dämmung -50%	75
Grafik 10: Vergleich der Gesamtenergiebilanz der vier Konstruktionssysteme	76
Grafik 12: Heizgradtage (20°C), Kühlgradtage(20°C) und Gradtage (20°C/20°C) nach Städten	86
Grafik 13: Heizgradtage (15°C), Kühlgradtage(24°C) und Gradtage (20°C/20°C) nach Städten	86
Grafik 14 : Kennwerte für Beispielstädte mit Heizbedarf grafisch	88
Grafik 15: Gesamtbilanzen für 1 Watt interne Wärmequellen/m ² Hüllfläche grafisch	91
Grafik 16: Gesamtbilanzen für 2 Watt interne Wärmequellen/m ² Hüllfläche grafisch	92
Grafik 17: Treibhauseffekt der Hülle für 1 Watt/ m ² Hülle.....	94
Grafik 18: Treibhauseffekt der Hülle für 2 Watt/ m ² Hülle.....	94
Grafik 19: Durchschnittliche Nutzer für eine 20-Jahresbilanz analog zu den Zielsetzungen aus Kapitel 2.....	96

Inhaltsverzeichnis Kapitel 4

4. Einleitung.....	103
4.1 Ausgangslage bei optimaler Hülle	105
4.1.1 Wärmebedarf in der Monatsbilanz	105
4.1.2 Kältebedarf in der Monatsbilanz.....	106
4.2 Technologien zur Reduzierung des laufenden Verbrauchs.....	107
4.2.1 Berechnungsmodelle für Fenster	107
4.2.1.1 Standortfaktoren.....	107
4.2.1.2 Technologiefaktoren.....	108
4.2.1.2.1 Beeinflussung der Glaseigenschaften durch reale Rahmenbedingungen	108
4.2.1.2.2 Technische Daten.....	109
4.2.1.2.3 Steuerungsmöglichkeiten von Fenstern	110
4.2.1.3 Rechenmodell für Fenster zur Energiegewinnung	111
4.2.1.4 Rechenmodell für einen Mindeststandard von Fenstern für eine ausgeglichene Bilanz	112
4.2.2 Berechnungsmodelle für Wärmetauscher	113
4.2.2.1 Standortfaktoren.....	113
4.2.2.2 Technologiefaktoren.....	113
4.2.2.3 Rechenmodelle zur Bilanzierung von Wärmetauschern.....	114
4.2.3 Berechnung für das Referenzgebäude	115
4.2.3.1 Lüftungsbasierter Ansatz.....	115
4.2.3.2 Fensterbasierter Ansatz	117
4.2.4 Zwischenfazit	121
4.2.4.1 Restklimatisierungsbedarf.....	121
4.2.4.2 Graue Energie.....	121
4.2.4.3 Fenster- oder lüftungsbasierter Ansatz	121
4.3 Technologien zur Erzeugung der notwendigen thermischen Restenergie	122
4.3.1 Einführung und Definition.....	122
4.3.2 Strombasierte Systeme.....	122
4.3.2.1 Direktheizungen	122
4.3.2.1.1 Standortfaktoren	122
4.3.2.1.2 Technologiefaktoren	122
4.3.2.1.3 Rechenmodelle zur Bilanzierung von Direktheizungen	123
4.3.2.2 Wärmepumpen.....	124

4.3.2.2.1 Standortfaktoren	124
4.3.2.2.2 Technologiefaktoren	124
4.3.2.2.3 Rechenmodelle zur Bilanzierung von Wärmepumpen	125
4.3.3 Verbrennungsbasierte Systeme	127
4.3.3.1 Brennwertgeräte	127
4.3.3.1.1 Standortfaktoren	127
4.3.3.1.2 Technologiefaktoren	127
4.3.3.2 Rechenmodelle zur Bilanzierung von Brennwerttechnik	128
4.3.4 Berechnungen für das Referenzgebäude	129
4.3.5 Zwischenfazit	130
4.3.5.1 Berlin	130
4.3.5.2 Helsinki	131
4.3.5.3 Moskau	132
4.3.5.4 Jakutsk	133
4.3.5.5 Kairo	134
4.3.5.6 Tokyo	135
4.3.5.7 Sydney	136
4.3.5.8 Rom	137
4.3.5.9 Rio de Janeiro	138
4.3.5.10 Kinshasa	139
4.4 Technologien zur Gewinnung von Energieträgern	140
4.4.1 Einführung und Definition	140
4.4.2 Berechnungsmodell für Photovoltaik	140
4.4.2.1 Standortfaktoren	140
4.4.3 Nachhaltige Gewinnung von Biomasse	144
4.4.3.1 Standortfaktoren	145
4.4.3.2 Technologiefaktoren	145
4.4.3.3 Rechenmodelle	147
4.4.3.4 Berechnung für das Referenzgebäude	148
4.4.3.4.1 Die zukünftige Rolle von Verbrennungsprozessen	149
4.5 Der weitere Verlauf der Arbeit	151

4. Einleitung

Das folgende Kapitel betrachtet die Rolle einer Auswahl haustechnischer Systeme bei der Entwicklung standortangepasster Gebäude. Den Berechnungen und Beispielergebnissen liegen die Bedarfsdaten aus dem dritten Kapitel, also der Bedarf des Referenzgebäudes bei optimal dimensionierter Hülle, zugrunde. Die innerhalb dieses Kapitels entwickelten und verwendeten Rechenmodelle lassen sich jedoch auf beliebige Ausgangslagen anwenden.

Bei der Betrachtung geeigneter Haustechnischer Systeme für das Referenzgebäude wird wie folgt vorgegangen:

- 4.1 Betrachtung der Bilanz von Systemen zur weiteren Verringerung des Klimatisierungsbedarfs des Referenzgebäudes. Betrachtet werden Fenster und Wärmetauscher.
Ergebnis: Daten des verringerten Klimatisierungsbedarfs des Referenzgebäudes bei optimaler Auswahl von Fenstern und Wärmetauscher.
- 4.2 Ermitteln des für den Restklimatisierungsbedarf in Bezug auf die Energiebilanz am besten geeigneten haustechnischen Systems. Betrachtet werden Wärmepumpen und elektrische und verbrennungsbasierte Direktsysteme.
Ergebnis: Das für das Referenzgebäude an den Beispielstandorten optimale haustechnische Klimatisierungssystem. Ermittelt werden das beste strombasierte und das beste Verbrennungsbasierte System.
- 4.3 Ermitteln des aus den ermittelten haustechnischen Systemen (strombasiert und auf der Basis regenerativer Energieträger) resultierenden Flächenbedarfs. Betrachtet werden Photovoltaiksysteme und die Erzeugung von Biogas/ -öl und Holzpellets über nachhaltigen Mais- und Holzanbau.
Ergebnis: Flächenbedarf an den Beispielstandorten für die Erzeugung von Strom und Biomasse

In der Struktur und im Ansatz orientiert sich Kapitel 4 an der Entwicklung der Hülle in Kapitel 3. Es wird unterschieden zwischen Standortfaktoren (Nutzerverhalten und Klima) sowie Technologiefaktoren (den Anpassungsmöglichkeiten des Systems). Der Kern der Betrachtung besteht jeweils in der Beschreibung in welchem Rahmen die Technologie auf einen Standort angepasst werden kann und wie die Verwendung der Technologie das Gebäude beeinflusst.

Die untersuchten Technologien werden in drei übergeordnete Gruppen unterteilt:

- 4.2 Technologien zur weiteren Reduzierung des thermischen Energiebedarfs des Referenzgebäudes

In dieser Gruppe werden Systeme betrachtet, die richtig eingesetzt, den thermischen Bedarf des Gebäudes weiter reduzieren können. Diese Systeme benötigen in der Regel zu ihrer Herstellung einen Initialaufwand an Energie, gewinnen jedoch unter günstigen Umständen über die betrachtete Lebensdauer mehr Energie als zur ihrer Herstellung benötigt wurde.

Im Rahmen dieser Arbeit werden behandelt:

- Fenster
- Wärmetauscher

Die Systeme werden in Bezug auf ihre Abhängigkeiten untersucht und die optimale Komposition für den jeweiligen Standort ermittelt. Weisen diese Systeme optimal angepasst an den einzelnen Standorten eine positive Bilanz auf werden sie angewendet und am Ende von 4.1 resultiert ein ggf. reduzierter thermischer Restenergiebedarf.

- 4.3 Technologien zur Erzeugung der notwendigen thermischen Restenergie

In dieser Gruppe werden Systeme betrachtet, die durch Zufuhr von Energieträgern den thermischen Bedarf des Referenzgebäudes decken können.

Im Rahmen dieser Arbeit werden behandelt:

- Strombasierte Systeme
 - Elektrische Direktheizung (Strahlung/ Durchlauferhitzer)
 - Wärmepumpe (Luft/Luft; Erde/ Wasser)
- Verbrennungsbasierte Systeme
 - Brennwertgeräte (Erdgas, Heizöl und Pellet)

Alle Systeme werden bezüglich ihrer Anpassungsmöglichkeiten betrachtet und für den jeweiligen Standort optimal angepasst. Ermittelt werden für alle Systeme der zu ihrer Herstellung notwendige Initialaufwand und die für das System aus dem Standort resultierende COP.

Am Ende von 4.3 kann aus Initialaufwand und COP in Kombination mit dem thermischen Bedarf des Gebäudes eine sinnvolle Anlage gewählt werden.

- 4.4 Technologien zur Gewinnung von Energie

In diese Gruppe fallen Technologien, die die unter 4.3 notwendigen Energieträger gewinnen und dem Gebäude zur Verfügung stellen können.

Im Rahmen dieser Arbeit werden behandelt:

- Photovoltaik
- Nachhaltige Gewinnung von Brennstoffen

Die Abhängigkeiten der Effizienz einer Energiegewinnung durch Photovoltaik und durch nachhaltige Erwirtschaftung von Brennstoffen werden in Abhängigkeit der Beispielstandorte untersucht.

Auf der Basis der Ergebnisse von 4.3 und 4.4 kann abschließend für das Referenzgebäude an den verschiedenen Beispielstandorten die optimale Ausstattung ermittelt werden. Abschließend kann ermittelt werden ob die globalen Zielsetzungen an den verschiedenen Standorten erreicht werden könne und welcher Aufwand hierfür notwendig wird.

Neben der Zielsetzung die Erreichbarkeit der globalen Zielsetzungen an den Beispielstandorten zu überprüfen, ermöglichen die entwickelten Datenblätter die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der verschiedenen haustechnischen Systeme in Abhängigkeit der Standortparameter und einen direkten Vergleich mit alternativen Systemen.

Der modulare Aufbau des Rechenkonzeptes ermöglicht jederzeit die Erweiterung um weitere Systeme (beispielsweise die Energiegewinnung über Wind- oder Wasserkraft) oder die Entscheidung für ein Nicht optimales System. Wird ein nicht optimiertes System (beispielsweise eine nicht optimal dimensionierte Hülle) gewählt, so wird in den folgenden Rechenschritten das Modell versuchen auf den Veränderten Bedarf optimal zu reagieren. Im Fall einer nicht optimal dimensionierten Hülle ändern sich beispielsweise ggf. der vorgeschlagene Verglasungstyp und die vorgeschlagene Fensterfläche.

4.1 Ausgangslage bei optimaler Hülle

Vor dem Versuch über haustechnische Systeme den thermischen Energiebedarf des Referenzgebäudes weiter zu reduzieren ist es sinnvoll die Gesamtbilanzen des Referenzgebäudes auf eine monatliche Bilanzierung zu übertragen. Betrachtet wird aus Platzgründen im vierten Kapitel nur der Fall von 1 Watt interner Wärme pro m² Hüllfläche. Dieser muss angesichts der Daten über den Stand energiesparender Haushaltsgeräte hoffnungsvoll als zukünftig realistisch angenommen werden.

4.1.1 Wärmebedarf in der Monatsbilanz

Der zu deckende Wärmebedarf in der Monatsbilanz stellt sich aktuell wie folgt dar (alle Angaben in kWh/a):

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Ges.
Berlin													
(Transmission)	436	359	266	93	-112	-220	-293	-278	-127	46	231	378	
(Luft)	1120	954	841	545	221	30	0	0	183	480	771	1025	6170
(Gesamt)	1555	1312	1107	638	109	0	0	0	56	527	1002	1403	7711
Helsinki													
(Transmission)	501	467	415	215	22	-140	-247	-209	-50	132	264	389	
(Luft)	1524	1405	1354	943	582	245	51	127	422	797	1041	1303	9794
(Gesamt)	2025	1872	1768	1157	604	105	0	0	373	929	1305	1692	11831
Moskau													
(Transmission)	544	481	380	118	-86	-221	-292	-237	-64	128	303	455	
(Luft)	1764	1571	1404	814	386	73	0	0	230	854	1218	1568	9882
(Gesamt)	2309	2052	1783	932	299	0	0	0	166	981	1521	2023	12067
Jakutsk													
(Transmission)	897	681	488	200	-44	-226	-299	-222	-54	214	569	827	
(Luft)	3870	3073	2530	1554	784	159	0	202	722	1632	2766	3643	20935
(Gesamt)	4767	3754	3018	1754	740	0	0	0	668	1846	3335	4470	24352
Kairo													
(Transmission)	92	6	-165	-372	-623	-751	-824	-824	-668	-568	-307	-12	
(Luft)	297	188	32	0	0	0	0	0	0	0	0	190	707
(Gesamt)	389	194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178	760
Tokyo													
(Transmission)	409	345	234	-13	-216	-361	-553	-612	-435	-175	65	301	
(Luft)	904	783	658	300	25	0	0	0	0	82	410	753	3915
(Gesamt)	1314	1128	892	287	0	0	0	0	0	0	475	1054	5151
Sydney													
(Transmission)	183	99	-24	-165	-287	-372	-440	-434	-355	-214	-18	122	
(Luft)	392	286	177	25	0	0	0	0	0	0	178	329	1387
(Gesamt)	575	385	152	0	0	0	0	0	0	0	160	451	1723
Rom													
(Transmission)	270	216	120	0	-162	-306	-417	-409	-269	-96	82	208	
(Luft)	702	588	455	251	0	0	0	0	0	101	386	601	3084
(Gesamt)	972	804	575	251	0	0	0	0	0	5	468	809	3884
Rio de Janeiro													
(Transmission)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(Luft)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Gesamt)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kinshasa													
(Transmission)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(Luft)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Gesamt)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Kapitel 4 Tabelle 1: Heizlast nach Beispielstädten für 1 Watt/m² Hülle

Wie in Kapitel drei beschrieben, wird die interne Wärmelast vollständig auf den Transmissionsbedarf angerechnet. Aus diesem Grund ergibt sich an manchen Standorten ein Lüftungswärmebedarf in Monaten, in denen kein Transmissionswärmebedarf besteht. Aus diesem Grund wird bei der Umrechnung zu

Monatsmittelwerten die Transmission auch negativ ausgewiesen. Negative Gesamtwerte werden auf Null gesetzt.

4.1.2 Kältebedarf in der Monatsbilanz

Der zu deckende Kältebedarf in der Monatsbilanz stellt sich aktuell wie folgt dar (alle Angaben in kWh/a):

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Ges.
Kairo													
(Transmission)	0	0	0	0	61	207	263	263	124	6	0	0	924
(Luft)	0	0	0	0	63	214	272	272	128	7	0	0	956
(intern)	0	0	0	0	316	316	316	316	316	316	0	0	1896
(Gesamt)	0	0	0	0	440	737	851	851	568	329	0	0	3776
Tokyo													
(Transmission)	0	0	0	0	0	0	49	108	0	0	0	0	157
(Luft)	0	0	0	0	0	0	70	151	0	0	0	0	221
(intern)	0	0	0	0	0	0	316	316	0	0	0	0	632
(Gesamt)	0	0	0	0	0	0	435	575	0	0	0	0	1010
Rom													
(Transmission)	0	0	0	0	0	0	27	19	0	0	0	0	46
(Luft)	0	0	0	0	0	0	44	32	0	0	0	0	76
(intern)	0	0	0	0	0	0	316	316	0	0	0	0	632
(Gesamt)	0	0	0	0	0	0	387	367	0	0	0	0	754
Rio de Janeiro													
(Transmission)	159	231	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	432
(Luft)	70	101	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189
(intern)	316	316	316	0	0	0	0	0	0	0	0	0	948
(Gesamt)	545	648	376	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1569
Kinshasa													
(Transmission)	249	249	118	0	0	0	0	0	6	58	196	876	
(Luft)	127	139	165	177	122	0	0	0	101	135	133	116	1215
(intern)	316	316	316	316	316	0	0	0	316	316	316	316	2844
(Gesamt)	417	451	507	628	692	0	0	0	704	599	499	438	4935

Kapitel 4 Tabelle 2: Kältelast nach Beispielstädten für 1 Watt/m² Hülle

4.2 Technologien zur Reduzierung des laufenden Verbrauchs

Die folgenden Technologien können Verwendung finden um den Klimatisierungsbedarf des Referenzgebäudes weiter zu reduzieren. Innerhalb dieser Arbeit werden in diesem Zusammenhang Fenster und Wärmetauscher betrachtet.

4.2.1 Berechnungsmodelle für Fenster

Durch Fenster wird Wärme durch die physikalische Besonderheit von Glas gewonnen. Die kristalline Struktur lässt Wellenlängen im kurzwelligen Bereich (Licht) ungehinderter passieren als langwellige Wärmestrahlung. Da das einfallende Licht auf Oberflächen in Wärme umgewandelt wird, resultiert für den Austritt von Energie durch das Fenster ein höherer Widerstand als für den Eintritt. Ein Fenster kann so eine positive Energiebilanz (bezogen auf das Gebäude) erzielen. Bei der Betrachtung von Fenstern konkurrieren folglich zwei Prozesse miteinander – der Verlust von Wärme durch Transmission und der Gewinn von Wärme durch einfallende Strahlung.

Für die Beurteilung der Anwendbarkeit von Fenstern zur Wärmegewinnung ist also zu klären ob eine (bezogen auf das Gebäude) positive oder eine negative Bilanz erzielt wird.

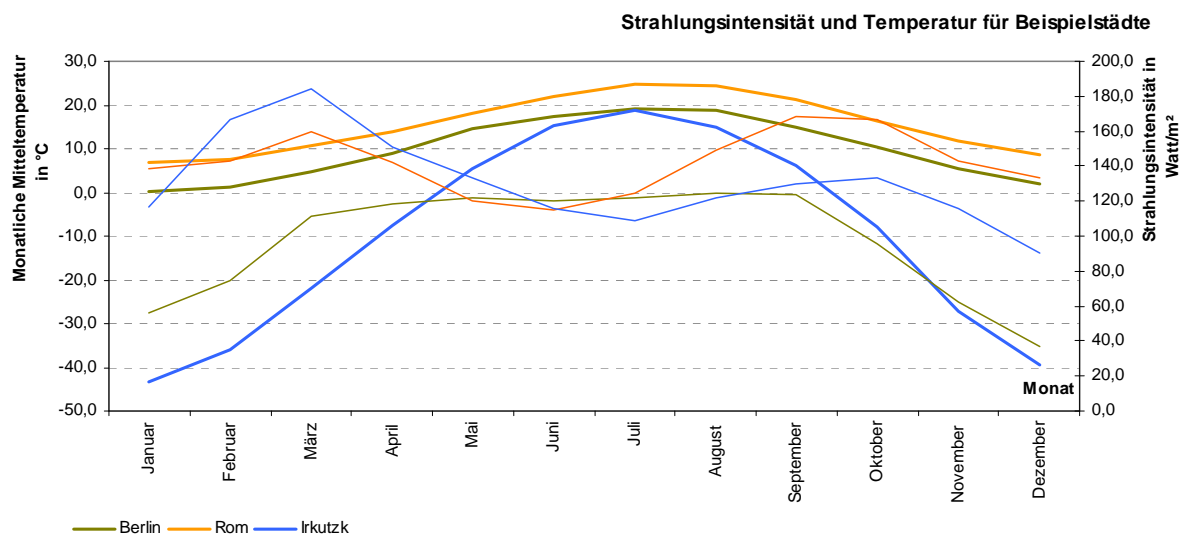
Aufgrund der Bedeutung von Fenstern auch als architektonisches Gestaltungselement, kann nicht davon ausgegangen werden, dass Fenster ausschließlich unter dem Aspekt der Energiegewinnung betrachtet werden, auch wenn diese Funktion innerhalb der vorliegenden Arbeit im Vordergrund steht. Innerhalb der vorliegenden Arbeit wurden deshalb zwei Rechenmodelle entwickelt:

- Ein Rechenmodell zur Optimierung der Energiebilanz. Das Modell berechnet die optimale Ausrichtung, Fläche und den optimalen Verglasungstyp in Abhängigkeit des Standortes für das Referenzgebäude. Jedes weitere Fenster verschlechtert die Gesamtbilanz des Referenzgebäudes.
- Ein Rechenmodell zur Berechnung des notwendigen Verglasungstyps um mit einem Fenster eine mindestens ausgeglichene Bilanz zu erreichen. Dieses Rechenmodell kann verwendet werden um Fensterflächen über die optimale Dimensionierung hinaus zu erweitern und die resultierende Verschlechterung der Bilanz auf die Graue Energie zu beschränken.

4.2.1.1 Standortfaktoren

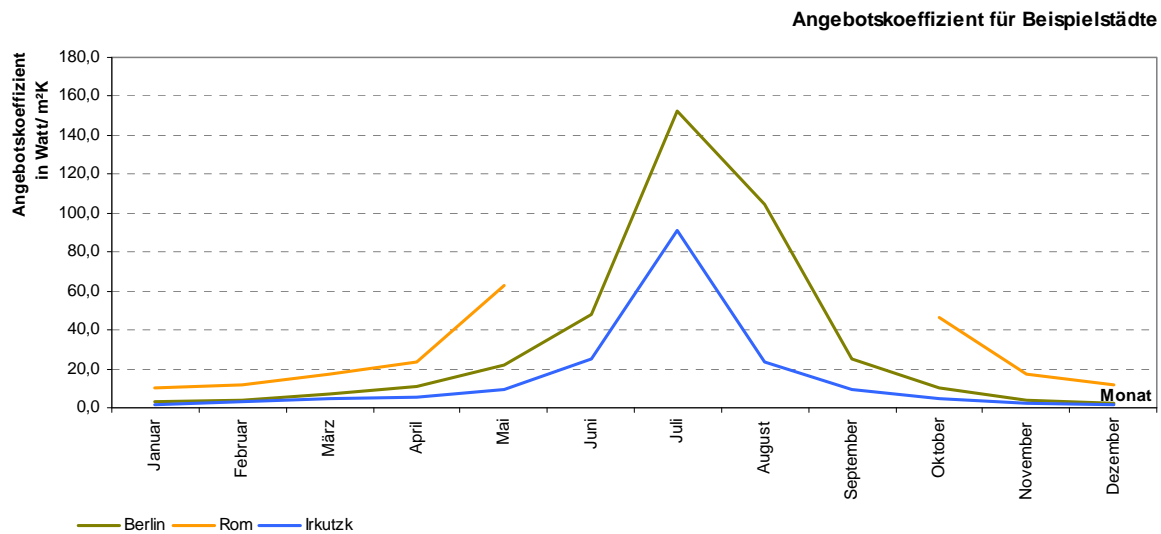
Für die Deckung eines Wärmebedarfs durch Fensterflächen verläuft die Strahlungsintensität in Relation zur Temperaturdifferenz ungünstig. Vereinfacht kann formuliert werden, dass solare Strahlung vor allem dann vorhanden ist wenn kein Wärmebedarf besteht da hohe Außentemperatur und starke einfallende Strahlung unmittelbar verbunden sind.

Die folgende Grafik zeigt für drei Beispielstandorte (Berlin, Rom und Irkutsk) die solare Strahlungsintensität (jeweils die dünne Linie) auf eine Südfassade und die Außentemperatur (die dicke Linie):



Kapitel 4 Grafik 1: Strahlungsintensität und Temperatur für die Beispielstandorte

Das Verhältnis der beiden Faktoren ist zur besseren Lesbarkeit in der folgenden Grafik als Quotient (ebenfalls für eine Südfassade) abgebildet:



Kapitel 4 Grafik 2: Angebotskoeffizienten für die Beispielstandorte

Die Line des Standortes Rom ist unterbrochen, da zwischen Mai und Oktober kein Wärmebedarf existiert. Die Außentemperatur ist während dieser Zeit höher als die Innentemperatur. Rechnerisch wäre der Quotient in diesem Bereich negativ.

Über den Jahresverlauf resultiert wie gezeigt ein sich stark wandelnder Anspruch an das Fenster. Je gleichmäßiger der Quotient aus Strahlung und Temperaturdifferenz an einem Standort ist, umso statischer kann das Fenster als System ausgebildet werden. Schwankt der Quotient stark, so muss das Fenster sich flexibel anpassen können.

Der Quotient aus solarer Strahlung und Temperaturdifferenz wird im Folgenden als Angebotsquotient bezeichnet und beschreibt das Standortbezogene Potential einer Nutzung solarer Strahlung zur Gewinnung von Wärme durch Fensterflächen.

4.2.1.2 Technologiefaktoren

Für die folgenden Berechnungen sind die Widerstände der verschiedenen Glastypeen für Transmission und Licht von zentraler Bedeutung. Der Widerstand für Transmission ist durch den U-Wert (in $\text{Watt/m}^2\text{K}$), der Widerstand für den Lichteinfall durch den g-Wert (Faktor) gegeben.

Verschiedene Rahmenbedingungen beeinflussen die beiden Kennwerte. Diese Parameter werden im Folgenden betrachtet bevor die zur Berechnung herangezogenen Daten beschrieben werden.

4.2.1.2.1 Beeinflussung der Glaseigenschaften durch reale Rahmenbedingungen

Die in der Tabelle aufgelisteten Daten sind die unter Laborbedingungen erreichbaren Maximalwerte. Unter realen Nutzungsbedingungen ergibt sich eine Reihe von Faktoren die die aufgeführten Werte verändern:

- Durch die konstruktive Fügung des Fensters ergibt sich am Randverbund eine Wärmebrücke
- Durch die konstruktive Einbindung des Fensters in die Wand ergibt sich in der Öffnung neben der Glasfläche ein Rahmenanteil, der nicht lichtdurchlässig ist und einen abweichenden U-Wert als das Glas aufweist.
- Durch Verschattung und durch Schmutz auf der Scheibe ergibt sich eine Abminderung des einfallenden Lichtes durch Reflektion und Absorption.

Diese Faktoren werden wie folgt berücksichtigt:

- Die Wärmebrücke am Randverbund wird für einen thermisch verbesserten Randverbund in der aktuellen Norm mit $0,1 \text{ Watt/m}^2\text{K}$ angenommen. Bei sehr großen Scheiben ist dieser Wert eher zu groß, bei sehr kleinen Scheiben zu gering. Da über die verwendeten Fensterformate keine Angabe getroffen werden kann wird der Zuschlag von $0,1 \text{ Watt/m}^2\text{K}$ übernommen.
- Die in Europa verwendete EN 18599 berechnet in Abhängigkeit von den anliegenden Verschattungswinkeln einen Abminderungsfaktor für den Lichteinfall. Da dieser stark vom Jahressonnenverlauf abhängt kann das Rechenmodell nicht übernommen werden. Die Verschattung wird aus Gründen der Vereinfachung zusammen mit potentieller Verschmutzung mit einem Faktor von 0,9 auf den g-Wert angenommen.
- Die folgende Tabelle listet den Einfluss des Rahmens nach Rahmenart und nach Verglasung für ein großes ($2\text{m} \times 2\text{m}$) und ein kleines ($1\text{m} \times 1\text{m}$) Fenster auf. Der Rahmen wird umlaufend mit 10cm Breite angenommen. Aufgeführt sind die rechnerisch korrekten Wärmebrückenzuschläge durch den Rahmen:

	Holzrahmen ($1,4 \text{ Watt/m}^2\text{K}$)	Passivhausrahmen ($0,7 \text{ Watt/m}^2\text{K}$)
2-fach Verglasung ($3 \text{ Watt/m}^2\text{K}$)	Groß: $-0,3\text{W/m}^2\text{K}$ / Klein: $-0,58\text{W/m}^2\text{K}$	Groß: $-0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$ / Klein: $-0,83 \text{ W/m}^2\text{K}$
2-fach WSV ($1,1 \text{ Watt/m}^2\text{K}$)	Groß: $+0,05\text{W/m}^2\text{K}$ / Klein: $+0,1\text{W/m}^2\text{K}$	Groß: $+0,025\text{W/m}^2\text{K}$ / Klein: $+0,05\text{W/m}^2\text{K}$
3-fach WSV ($0,5 \text{ Watt/m}^2\text{K}$)	Groß: $+0,17\text{W/m}^2\text{K}$ / Klein: $+0,32\text{W/m}^2\text{K}$	Groß: $+0,08\text{W/m}^2\text{K}$ / Klein: $+0,16\text{W/m}^2\text{K}$

Der Einfluss des Rahmens ist deutlich abhängig von der Qualität der Verglasung. Die Größe des Fensters ergibt einen zusätzlichen Spielraum. In Abhängigkeit von der Verglasung werden folgende Zuschläge auf den U-Wert angesetzt:

	Holzrahmen ($1,4 \text{ Watt/m}^2\text{K}$)	Passivhausrahmen ($0,7 \text{ Watt/m}^2\text{K}$)
2-fach Verglasung ($3 \text{ Watt/m}^2\text{K}$)	$-0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	unverhältnismäßig
2-fach WSV ($1,1 \text{ Watt/m}^2\text{K}$)	$+0,1\text{W/m}^2\text{K}$	unverhältnismäßig
3-fach WSV ($0,5 \text{ Watt/m}^2\text{K}$)	unverhältnismäßig	$+0,1\text{W/m}^2\text{K}$

Die Kombination von 2-fach Verglasungen mit Passivhausrahmen erscheint unter dem Aspekt der energetischen Optimierung unverhältnismäßig, ebenso die Kombination von 3-fach WSV oder Vakuumverglasung mit einfachem Holzrahmen. Bei sehr guten Verglasungen erscheint es angebracht eher große Fensterformate zu wählen, weshalb die angenommenen Werte sich auch eher an denen des großen Fensters orientieren.

Die Reduktion der solaren Gewinne durch Rahmenanteile wird über den Spielraum von 19% bis 36% mit dem g-Wert der Glasscheibe verrechnet (Faktor 0,64 bis 0,81).

4.2.1.2.2 Technische Daten

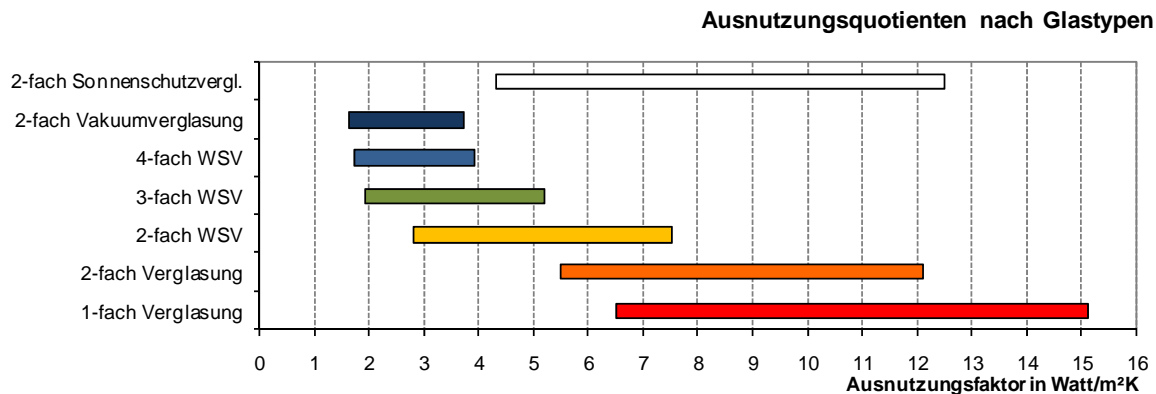
Aus den getroffenen Annahmen ergeben sich für handelsübliche Verglasungen die folgenden technischen Daten. Wie bei der Betrachtung der Standortfaktoren kann die Qualität einer Verglasung bezüglich der solaren Ausnutzung zur Gewinnung von Wärme durch einen Koeffizienten abgebildet werden. Der Quotient von U-Wert und g-Wert wird im Folgenden als Ausnutzungsquotient bezeichnet.

Glastyp	U-Wert In $\text{Watt/m}^2\text{K}$ (Labor/ abgemindert)	g-Wert (Labor/ abgemindert)	Ausnutzungsquotient (U-Wert / g -Wert) In $\text{Watt/m}^2\text{K}$ (Labor/ abgemindert)	Graue Energie in kWh (25% Rahmen)
1-Scheiben	5,0 / 3,9	0,78–0,82 / 0,45–0,6	6,1 - 6,4 / 6,5 – 8,6	4 + 185 (189)
2-Scheiben	3,0 / 2,6	0,67–0,72 / 0,39–0,52	4,2 - 4,4 / 5,5 - 6,6	68 + 185 (253)
2-Scheiben WSV	1,1–1,3 / 1,3–1,5	0,55–0,65 / 0,32–0,47	1,7 – 2,3 / 2,8 – 4,7	135 + 185 (320)
3-Scheiben WSV	0,5–0,7 / 0,65–0,8	0,42–0,46 / 0,24–0,34	1,1 - 1,6 / 1,9 – 3,3	233 + 225 (458)
4-Scheiben WSV	0,35 / 0,5	0,4 / 0,23–0,29	0,9 / 1,7 – 2,2	---
2-Scheiben Vakuumglas	0,5 / 0,65	0,54 / 0,31–0,39	0,9 / 1,6 – 2,1	---
Sonnenschutzglas	1,2 / 1,4	0,3–0,45 / 0,17–0,32	2,6–4 / 4,3–8,2	---

Kapitel 4 Tabelle 3: Technische Daten nach Verglasungstyp

Der Spielraum des Ausnutzungsquotienten beinhaltet die Unterschiede verschiedener Verglasungen und verschiedener Rahmenanteile. Gute Werte innerhalb des Spielraums erfordern eine Verglasung mit gutem Quotienten und geringem Rahmenanteil.

Die Ausnutzungsquotienten nach Glastypen grafisch:



Kapitel 4 Grafik 3: Ausnutzungsquoten nach Glastypen

Mit den aufgeführten Verglasungen wird unter den angenommen Bedingungen der gesamte Bereich von 1,6 Watt/m²K bis 15 Watt/m²K abgedeckt.

4.2.1.2.3 Steuerungsmöglichkeiten von Fenstern

Der Lichteinfall durch Fenster kann durch eine Vielzahl unterschiedlicher Verschattungstechnologien gemindert werden. Die aktuellen Normen zur Energiebilanzierung weisen die folgenden Faktoren nach Verschattungstyp aus:

Art des Sonnenschutzes	Abminderungsfaktor F_c	Anmerkungen
Kein Sonnenschutz	1	
Innen liegender Rollo	0,75 – 0,6	Strahlt Wärme im Innenraum ab
Innen liegende Jalousie	0,6 – 0,5	Strahlt Wärme im Innenraum ab
Spiegellamelle im Scheibenzwischenraum	0,2 – 0,15	Zweifach Verglasung
Außen liegender Vorbau	0,5	Der Ausrichtung angepasst
Außen liegender Rollo	0,4 – 0,5	Abstand zur Scheibe > 20 cm
Außen liegende Markise	0,35 – 0,45	Abstand zur Scheibe > 20 cm
Außen liegende Jalousie	0,1 – 0,2	

Kapitel 4 Tabelle 4: Abminderungsfaktoren für Solare Einstrahlung nach Verschattungstyp

Konstruktiv betrachtet stellt die außen liegende Lamelle jedoch nicht die maximale Abminderung des Licht- und Energieeintrages durch Glasflächen dar. Ein Fensterladen kann den Eintrag auf Null reduzieren. Ist er zudem noch dämmend und dicht (konstruktiv aufwendig aber möglich) ausgeführt kann er auch den gegenüber der opaken Wand schlechteren U-Wert kompensieren.

Es ist eigentlich kein Grund denkbar, weshalb bei angepasstem Nutzerverhalten ein Gebäude durch solare Einstrahlung durch Fenster überhitzen sollte, sofern auch auf den Sichtkontakt nach Außen verzichtet werden kann. Ein derartiges Nutzerverhalten, geschlossene Fensterläden in der Mittaghitze, ist in den südlichen Ländern Europas (Süditalien, Griechenland) durchaus üblich.

Vor diesem Hintergrund konzentrieren sich die folgenden Berechnungen auf die Nutzung von Fenstern zur Wärmegewinnung und geht von einer baukonstruktiven Lösung der Überhitzungsproblematik aus.

4.2.1.3 Rechenmodell für Fenster zur Energiegewinnung

Zur Berechnung der optimalen Fenstergrößen- und Ausrichtung wird innerhalb des Rechenmodells wie folgt vorgegangen:

1. Eingabe der benötigten Fenster-, Wand- und Klimadaten
2. Ermittlung des aus der Heizgrenze resultierenden Wärmebedarfes nach Monaten
3. Bestimmung der Ausrichtung über die mittels eines Quadratmeters Fenster die meiste Wärme gewonnen werden kann
4. Subtraktion der monatlichen verwertbaren Gewinne aus der gewählten Ausrichtung vom Wärmebedarf
5. Aufteilung der Grauen Energie für den definierten Quadratmeter Fensterfläche auf die Monate während der über das Fenster Wärme gewonnen wurde
6. Prüfung ob die Bilanz des definierten Quadratmeters Fensterfläche schlechter ist als die der opaken Wandalternative

Wenn ja, dann Ende der Rechnung

Wenn nein, dann Wiederholung der Schritte 3 bis 6 bis einer der folgenden Fälle eintritt:

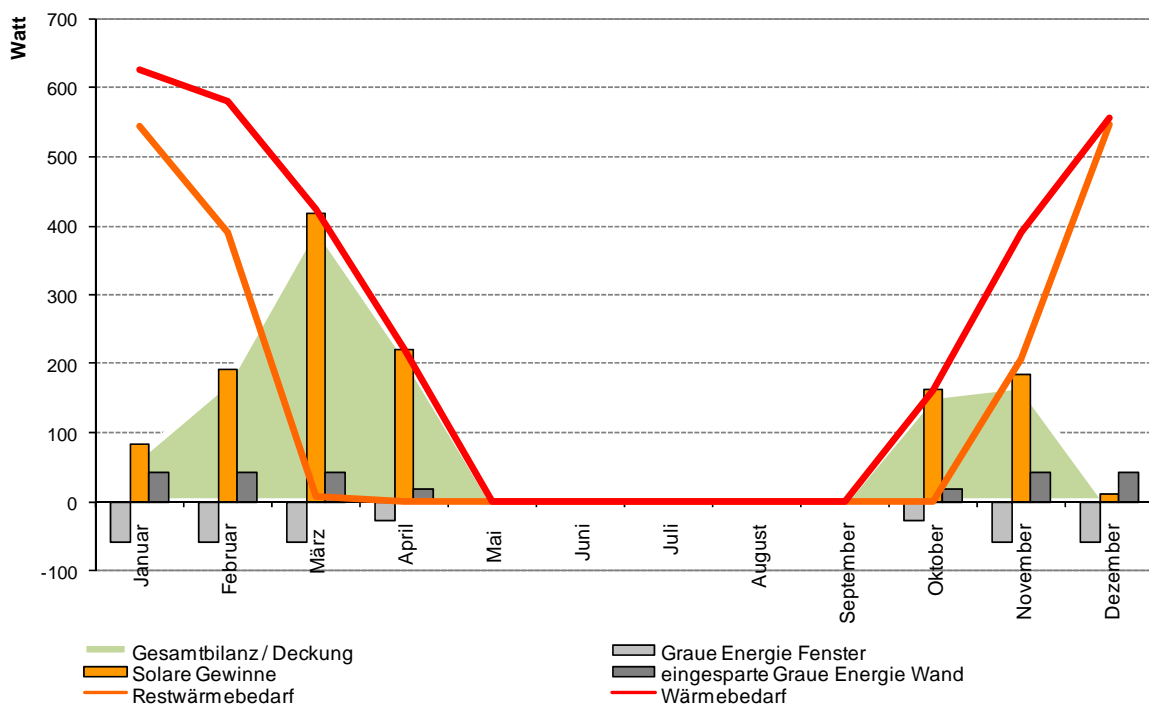
- Fensterbilanz eines weiteren Quadratmeters Fensterfläche wäre schlechter als ein Quadratmeter Wand
- Wärmebedarf des Gebäudes durch die Fenster zu 100% gedeckt
- Fensterfläche von 60 m² erreicht anschließend Überprüfung anderer Ausrichtungen

Das Ergebnis der Berechnung liegt anschließend in Form der Fläche der Fenster (nach Ausrichtung) und der Veränderung der Grauen Energie, des Heizbedarfs und der Gesamtgebäudebilanz vor.

Die Bilanz des Fensters kann innerhalb dieses Berechnungsmodells für jeden Quadratmeter Fenster einzeln abgebildet werden.

Ebenfalls möglich ist eine Bilanzierung der optimalen Fensterfläche nach Monaten, im Folgenden dargestellt für die optimale Fensterfläche für Berlin:

Bilanz optimale Fensternutzung (Graue Energie gewichtet)



Kapitel 4 Grafik 4: Monatsbilanzierung der optimalen Fensterflächen für Berlin

In der abgebildeten Grafik beschreiben die orange und die rote Linie einen Bedarf, die restlichen Elemente ein Angebot.

Der rot abgebildete Graph stellt den Wärmebedarf des Referenzgebäudes ohne Fenster dar. Der orange Graph den Wärmebedarf mit optimal dimensionierten Fenstern und optimalem Ausnutzungsquotienten. Es ist klar ablesbar, dass die Fenster die Heizperiode (den Bereich mit Restwärmebedarf) reduzieren (in diesem Fall um etwa 3 Monate).

Die Grüne Fläche beschreibt die Bilanz der gesamten Verglasung (inklusive Rahmen) für die einzelnen Monate. Es ist erkennbar, dass Fenster insbesondere in den Übergangsmonaten eine gute Bilanz aufweisen. In den Sommermonaten existiert kein Bedarf, in den Wintermonaten dominiert der gegenüber der opaken Wand schlechtere U-Wert.

Die Balken beschreiben die Summanden der Gesamtbilanz.

4.2.1.4 Rechenmodell für einen Mindeststandard von Fenstern für eine ausgeglichene Bilanz

Es muss davon ausgegangen werden, dass neben den Aspekten der Energiebilanz auch weitere, architektonische Faktoren für die Wahl der Fensterflächen relevant sind.

Für die folgende Berechnung wird eine bereits vorhandene optimale Fensterausrichtung angenommen. Für weitere Fenster ist also nur gefordert den Wärmebedarf nicht wieder zu erhöhen. In diesem Fall ist die Berechnung der zur Deckung des Wärmebedarfs benötigten Fensterfläche erneut notwendig.

Für den Fall einer zu Beginn bekannten und gewünschten Fensterausrichtung ist die umgekehrte Verfahrensweise (1. Platzierung der gestalterisch gewünschten Fenster; 2. Berechnung des resultierenden Wärmebedarfs, 3. Berechnung der zur Deckung benötigten optimalen Fensterflächen) jedoch ebenfalls möglich.

Damit zumindest eine ausgeglichene Bilanz erzielt wird muss gelten:

$$\text{Temperaturdifferenz} \cdot \text{U - Wert} = \text{Solare Strahlung} \cdot \text{g - Wert}$$

Werden die beiden klimaabhängigen Werte den materialabhängigen Werten gegenübergestellt ergibt sich:

$$\text{U - Wert} / \text{g - Wert} = \text{Solare Strahlung} / \text{Temperaturdifferenz}$$

Es gilt also für eine ausgeglichene Bilanz:

$$\text{Ausnutzungsquotient} = \text{Angebotsquotient}$$

Durch die Ermittlung der standortspezifischen Angebotsquotienten kann also einfach geklärt werden welcher Ausnutzungsquotient und folglich welcher Glastyp benötigt wird um den Wärmebedarf nicht zu erhöhen.

Da die Glastypen mit gutem Ausnutzungsquotienten sowohl teurer als auch aufwendiger herzustellen sind und den höhere Grauen Energiegehalt aufweisen als Glastypen mit schlechtem Ausnutzungsquotienten kann so ein Mindeststandard ermittelt werden. Für die Wahl des Glastypen nach Grafik 6 muss folglich bei Überschneidungen zur Wahl des Glastypen mit dem geringeren Grauen Energiegehalt geraten werden.

Aufgrund des über den Jahresverlauf schwankenden Wärmeenergiebedarfs setzt die Ermittlung der Angebotsfaktoren zumindest eine monatliche Berechnung voraus. Hierbei wird das Hauptaugenmerk auf die Monate gelegt, in denen ein Wärmebedarf auch besteht.

Das entwickelte Arbeitsblatt berechnet in Abhängigkeit der Heizgrenze die Angebotsfaktoren für verschiedene Ausrichtungen und bildet die Ergebnisse farblich ab. Es wird für eine einfache Orientierung derselbe Farbcode verwendet wie in Grafik 6.

Monate ohne Wärmebedarf werden nicht farblich markiert. Monate mit zwingend negativer Bilanz werden hellblau abgebildet.

		Ausrichtung	Neigung	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
Berlin															
	Norden	90	0,8	1,7	4,5	19,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,3	1,6	0,8
	Osten	90	1,5	3,6	9,3	38,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,2	3,2	1,3
	Westen	90	1,9	3,3	9,3	38,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,8	3,9	1,3
	Süden	0	2,2	4,9	13,8	59,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,7	4,8	1,8
		30	4,1	7,2	18,4	68,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	81,7	8,5	3,2
		60	5,0	8,1	19,3	64,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,8	10,5	3,9
Heizgrenze	11,6°C	90	5,0	7,3	16,1	47,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,0	10,0	3,8

Kapitel 4 Grafik 5: Angebotsfaktoren für Berlin (20/11,6)

Das entwickelte Modell kann zur Ermittlung eines geeigneten Verglasungstyps in Abhängigkeit von Ausrichtung und Klima genutzt werden. Da innerhalb der Energiebilanzierungen dieser Arbeit nur der optimale Fall weiter betrachtet wird orientieren sich der weitere Verlauf und die in 4.2.4 erfolgenden Berechnungen an dem ersten Rechenmodell.

4.2.2 Berechnungsmodelle für Wärmetauscher

Wärmetauscher in Verbindung mit einer geregelten Lüftung können die Lüftungswärme- und Lüftungskälteverluste des Gebäudes reduzieren. Zu- und Fortluft strömen aneinander vorbei und tauschen über eine möglichst große Oberfläche Wärmeenergie und bei Verwendung einer entsprechenden Trennschicht auch Feuchtigkeit. Die benötigte Luftbewegung wird über Ventilatoren gewährleistet.

4.2.2.1 Standortfaktoren

Für die Effizienz von Wärmetauschern ist die Differenz von Außen- und Innenraumtemperatur ausschlaggebend. Je größer die Temperaturdifferenz, desto größer der Betrag der rückgeführten Energie. Innerhalb von realistischen Strömungsgeschwindigkeiten und Luftmengen, sowie eines angepassten Systems ist der Wirkungsgrad von Wärmetauschern annähernd konstant.

Die über den Einsatz von Wärmetauschern rückgeführte Energie ist folglich annähernd proportional zur Temperaturdifferenz.

4.2.2.2 Technologiefaktoren

Eine kontrollierte Lüftungsanlage und ein integrierter Wärmetauscher muss in vielen Komponenten auf das betreffende Gebäude angepasst werden. Die für diese Arbeit relevanten Anpassungen beziehen sich jedoch im Kern auf die zu bewegende Luftmenge. Für definierte Luftmengen existierend optimierte Produktkombinationen die bereits sehr gut aufeinander abgestimmt sind. Die Arbeit bedient sich deshalb eines etablierten Systems für die bekannte zu bewegende Luftmenge.

Aktuelle Wärmetauscher erreichen Rückgewinnungsraten von bis zu 90%. Diese Werte können belastbar in Referenzobjekten in mitteleuropäischem Klima belegt werden. Für die folgenden Berechnungen wird nur ein Wirkungsgrad von 80% angenommen, um Ungenauigkeiten durch Phänomene wie Kondensatbildung und Vereisung vorzubeugen.

Die Auslegung des Systems erfolgt in direkter Abhängigkeit zum bewegten Luftvolumen. In Relation zu den aus Wärmetauscher und Rohrleitungen resultierenden Strömungswiderständen ist insbesondere ein geeigneter Ventilator zu wählen. Dieser muss das Luftvolumen effizient bewegen können und zu Stoßzeiten auch eine Erhöhung des Luftstromes ermöglichen.

Die Arbeit orientiert sich für den resultierenden Stromverbrauch an Produktinformationen der Firma Helios. Da für die Berechnungen innerhalb dieser Arbeit ein pauschaler Luftwechsel von 0,6/h angenommen wird, resultiert ein einheitliches System für alle Standorte. Die Wahl eines Veränderten Luftwechsels innerhalb der beiliegenden

Rechenblätter hat zwingen ein anderes System zur Folge, dessen Stromverbrauch gesondert recherchiert werden muss.

Die technischen Daten des gewählten Systems der Firma Helios [1]:

KWL EC 450 Eco					
Förderleistung auf Stufe	1	2	3	4	5
	450 m³/h	355 m³/h	300 m³/h	240m³/h	120m³/h
Leistungsaufnahme pro Ventilator (2 pro System)	130 Watt	71Watt	52 Watt	26 Watt	17 Watt
Sommer Bypass	manuell	100 %			
Arbeitsbereich	- 20 °C	Bis	+ 40 °C		

Kapitel 4 Tabelle 5: Technische Daten mechanische Lüftung + Wärmetauscher

Das gewählte System ermöglicht den gewünschten Luftwechsel bei etwa 50 Watt (2 mal 26 Watt), verfügt über einen Bypass und ist an fast allen Standorten ohne Zusatzelemente einsetzbar. Nur in Jakutsk muss die Zuluft in einigen Wintermonaten vorgewärmt werden.

Sekundäre Faktoren (z.B. Vereisung und Kondensat innerhalb des Wärmetauschers und resultierende Veränderungen im Temperaturniveau) bleiben unberücksichtigt. Die aus den Produktinformationen entnommenen Werte entsprechen einer Durchschnittsauslastung und können belastbar mit realisierten Objekten belegt werden.

Für die innerhalb der Arbeit veranschlagte Graue Energie werden folgende Daten verwendet:

	Zubringung	kWh	Anlage	kWh	Wärmeverteilung	kWh
Kontrollierte Lüftung + Wärmetauscher		---	Ventilator (2 mal)	500	50 lfm Lüftungsrohre (d=100mm)	250
Gesamt: ca. 1000 kWh			Wärmetauscher	250		
Erdwärmetauscher	50 lfm Rohr (d=150mm)	700				
Gesamt: ca. 1000 kWh	50 m³ Erdaushub	150 - 400				

Kapitel 4 Tabelle 6: Daten Graue Energie mechanische Lüftung + Wärmetauscher

Die Angaben zur Grauen Energie basieren auf den in den in den Systemen verwendeten Rohstoffmengen. Angaben von Firmenseite liegen nicht vor.

4.2.2.3 Rechenmodelle zur Bilanzierung von Wärmetauschern

Die verwendeten Rechenmodelle zur Bilanzierung von Wärmetauschern sind deutlich einfacher als die Modelle für Fenster.

Für die Berechnungen wird ein einheitlicher Wirkungsgrad von 80% angenommen. Innerhalb des beiliegenden Rechenblattes lässt sich der Wirkungsgrad allerdings frei bestimmen. Der angenommen Wirkungsgrad entspricht wie unter 4.2.3.2 nicht dem maximal aktuell erhältlichen Werten.

Das Rechenmodell überprüft innerhalb einer monatlichen Bilanzierung ob der aus dem Einsatz der Ventilatoren resultierende Energiebedarf der Lüftung in dem betreffenden Monat die rückgewonnene Energie übertrifft. Auf der Basis dieser Berechnung überprüft das Rechenmodell für jeden Monat ob der Einsatz des Systems die Bilanz des Gebäudes verbessert. Ist dies der Fall findet der Wärmetauscher für den betreffenden Monat Verwendung, ansonsten wird von einer unkontrollierten Lüftung ausgegangen.

Am Ende der Berechnung wird überprüft, ob der Einsatz der Grauen Energie innerhalb eines Zeitraumes von 20 Jahren übertroffen werden kann. Ist dies der Fall empfiehlt das Modell den Einsatz des Systems.

Neben den rein energetischen Gründen für den Einsatz eines Wärmetauschers, sind natürlich noch weitere Aspekte zu berücksichtigen. Zentral ist insbesondere die aus der geregelten Lüftung resultierende gegenüber der unkontrollierten Lüftung bessere Luftqualität. Innerhalb des Rechenmodells lässt sich deshalb die Verwendung der Ventilatoren auch in Monaten mit negativer Gesamtbilanz aktivieren. Diese Daten fließen nicht in die weiteren Berechnungen ein, sondern dienen ausschließlich der möglichen Abschätzung welche Gesamtbilanz das Gebäude bei nicht optimaler Nutzung aufweisen würde.

4.2.3 Berechnung für das Referenzgebäude

Bei den Berechnungen für das Referenzgebäude muss zwischen einem dominanten Lüftungssystem und Wärmetauscher einem dominanten Fenstersystem differenziert werden. Ausschlaggebend ist die Reihenfolge in der die Systeme auf den Klimatisierungsbedarf des Referenzgebäudes angewendet werden.

4.2.3.1 Lüftungsbasierter Ansatz

Die Werte ohne und mit geregelter Lüftungssystem und Wärmetauscher (80% Wirkungsgrad) in kWh/a:

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Ges.
Berlin													
Lüftungsverlust	1120	954	841	545	221	30	0	0	183	480	771	1025	6170
Rückgewonnen	896	763	673	436	177	0	0	0	146	384	617	820	4912
Stromverbrauch	37	37	37	37	37	0	0	0	37	37	37	37	329
Bilanz	261	227	205	146	81	30	0	0	73	133	191	242	1587
Helsinki													
Lüftungsverlust	1524	1405	1354	943	582	245	51	127	422	797	1041	1303	9794
Rückgewonnen	1219	1124	1083	754	466	196	41	102	338	638	833	1042	7835
Stromverbrauch	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	439
Bilanz	341	318	307	225	153	86	47	62	121	196	245	297	2398
Moskau													
Lüftungsverlust	1764	1571	1404	814	386	73	0	0	230	854	1218	1568	9882
Rückgewonnen	1411	1257	1123	651	309	58	0	0	184	683	974	1254	7906
Stromverbrauch	37	37	37	37	37	37	0	0	37	37	37	37	366
Bilanz	389	351	317	199	114	51	0	0	83	207	280	350	2342
Jakutsk													
Lüftungsverlust	3870	3073	2530	1554	784	159	0	202	722	1632	2766	3643	20935
Rückgewonnen	3096	2458	2024	1243	627	127	0	162	578	1306	2213	2914	16748
Stromverbrauch	37	37	37	37	37	37	0	37	37	37	37	37	403
Bilanz	811	651	543	347	193	68	0	77	181	363	590	765	4590
Kairo													
Lüftungsverlust	297	188	32	0	63	214	272	272	128	7	0	190	1663
Rückgewonnen	238	150	0	0	50	171	218	218	102	0	0	152	1299
Stromverbrauch	37	37	0	0	37	37	37	37	37	0	0	37	293
Bilanz	96	74	32	0	49	79	91	91	62	7	0	75	657
Tokyo													
Lüftungsverlust	904	783	658	300	25	0	70	151	0	82	410	753	4136
Rückgewonnen	723	626	526	240	0	0	56	121	0	66	328	602	3289
Stromverbrauch	37	37	37	37	0	0	37	37	0	37	37	37	329
Bilanz	217	193	168	97	25	0	51	67	0	53	119	187	1177
Sydney													
Lüftungsverlust	0	0	0	0	178	329	392	286	177	25	0	0	1387
Rückgewonnen	0	0	0	0	142	263	314	229	142	0	0	0	1090
Stromverbrauch	0	0	0	0	37	37	37	37	37	0	0	0	183
Bilanz	0	0	0	0	72	102	115	94	72	25	0	0	480
Rom													
Lüftungsverlust	702	588	455	251	0	0	44	32	0	101	386	601	3160
Rückgewonnen	562	470	364	201	0	0	0	0	0	81	309	481	2467
Stromverbrauch	37	37	37	37	0	0	0	0	0	37	37	37	256
Bilanz	177	154	128	87	0	0	44	32	0	57	114	157	949
Rio													
Lüftungsverlust	70	101	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189
Rückgewonnen	56	81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137
Stromverbrauch	37	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74
Bilanz	51	58	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126
Kinshasa													
Lüftungsverlust	127	139	165	177	122	0	0	0	101	135	133	116	1215
Rückgewonnen	102	111	132	142	98	0	0	0	81	108	106	93	972
Stromverbrauch	37	37	37	37	37	0	0	0	37	37	37	37	329
Bilanz	62	64	70	72	61	0	0	0	57	64	63	60	572

Kapitel 4 Tabelle 7: Lüftungsbasierter Ansatz – Rückgewonnene Energie Wärmetauscher

Für eine lüftungsbasierte Strategie ergeben sich die folgenden Werte für die Fensterdimensionierung:

	Heizbedarf bei optimaler Hülle	Optimaler Glastyp	Bilanz Wärmebed. in kWh/a	Gesamt- Bilanz in kWh/a	Nord	West	Ost	Süd	Restbedarf
Berlin	3396 kWh/a	2-fach WSV	- 2225	- 2189	---	---	---	32m ²	1165 kWh/a
Helsinki	4803 kWh/a	3-fach WSV	- 2324	- 2160	---	---	---	26m ²	2473 kWh/a
Moskau	4751 kWh/a	3-fach WSV	- 2326	- 2204	---	---	---	24m ²	2419 kWh/a
Jakutsk	8466 kWh/a	3-fach WSV	- 5404	- 5456	---	---	---	55m ²	3047 kWh/a
Kairo	375 kWh/a	1-fach Vergl.*	- 375	- 380	---	---	---	3m ²	0 kWh/a
Tokyo	2360 kWh/a	2-fach Vergl.	- 2360	- 2366	---	---	---	17m ²	0 kWh/a
Sydney	404 kWh/a	1-fach Vergl.*	-404	- 420	4m ²	---	---	---	0 kWh/a
Rom	1796 kWh/a	2-fach Vergl.	-1796	-1762	---	---	---	14m ²	0 kWh/a
Rio de Janeiro	0	---	---	---	---	---	---	---	---
Kinshasa	0	---	---	---	---	---	---	---	---

Kapitel 4 Tabelle 8: Lüftungsbasierter Ansatz - Fensterdimensionierung

* 2-fach Verglasung ist nur unwesentlich (<5%) schlechter

Die Werte einer lüftungsbasierten Lösung in der Monatsbilanz (alle Werte in kWh/a):

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Ges.
Berlin													
(Heizbedarf)	473	154	0	0	0	0	0	0	0	0	1	537	1165
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Helsinki													
(Heizbedarf)	856	418	23	0	0	0	0	0	0	0	447	729	2473
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Moskau													
(Heizbedarf)	822	360	0	0	0	0	0	0	0	0	461	776	2419
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jakutsk													
(Heizbedarf)	1276	2	0	0	0	0	0	0	0	0	322	1447	3047
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kairo													
(Heizbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	49	79	91	91	62	7	0	0	379
Tokyo													
(Heizbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	51	67	0	0	0	0	118
Sydney													
(Heizbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rom													
(Heizbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	44	32	0	0	0	0	76
Rio de Janeiro													
(Heizbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Kühlbedarf)	51	58	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127
Kinshasa													
(Heizbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Kühlbedarf)	62	64	70	72	61	0	0	0	57	64	63	60	572

Kapitel 4 Tabelle 9: Lüftungsbasierter Ansatz - Restklimatisierungsbedarf

4.2.3.2 Fensterbasierter Ansatz

Für eine Fensterbasierte Strategie ergeben sich die folgenden Werte für die Fensterdimensionierung:

	Heizbedarf (Luft+Trans) in kWh/a bei optimaler Hülle	Optimaler Glastyp	Bilanz Wärmebed in kWh/a	Gesamt- Bilanz in kWh/a	Nord	West	Ost	Süd	Restbedarf in kWh/a
Berlin	7711 kWh/a	2-fach WSV	- 4824	- 4749	---	---	---	60m²	2.926
Helsinki	11.831 kWh/a	3-fach WSV	- 5646	- 5268	---	---	---	60m²	6.563
Moskau	12.067 kWh/a	2-fach WSV	-7313	-7425	---	---	---	60m²	4.642
Jakutsk	24.352 kWh/a	3-fach WSV	-9962	-10010	---	---	---	60m²	14.390
Kairo	760 kWh/a	1-fach Vergl.	- 166,7	- 171	---	---	---	8m²	589
Tokyo	5151 kWh/a	2-fach Vergl.	-5133	-5279	---	---	---	36m²	0
Sydney	1723 kWh/a	1-fach Vergl.	-1718	-1763	10m²	1m²	---	---	0
Rom	3884 kWh/a	2-fach Vergl.	-3884	-3921	---	---	---	16m²	0
Rio de Janeiro	0	---	---	---	---	---	---	---	0
Kinshasa	0	---	---	---	---	---	---	---	0

Kapitel 4 Tabelle 10: Fensterbasierter Ansatz - Fensterdimensionierung

Für Rio de Janeiro und Kinshasa ergibt sich aufgrund des nicht vorhandenen Wärmebedarfs auch keine Fensterfläche. Die Werte für den Wärmebedarf in der Monatsbilanz:

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Ges.
Berlin													
(Transmission)	1098	417	0	0	0	0	0	0	0	0	129	1236	2879
(davon Luft)	1098	417	0	0	0	0	0	0	0	0	129	1025	2668
Helsinki													
(Transmission)	2068	1031	143	0	0	0	0	0	0	0	1168	1801	6211
(davon Luft)	1524	1031	143	0	0	0	0	0	0	0	1041	1303	5042
Moskau													
(Transmission)	1757	287	0	0	0	0	0	0	0	0	929	1761	4733
(davon Luft)	1757	287	0	0	0	0	0	0	0	0	929	1568	4541
Jakutsk													
(Transmission)	4296	2303	911	0	0	0	0	0	0	118	2423	4311	14363
(davon Luft)	3870	2303	911	0	0	0	0	0	0	118	2423	3643	13268
Kairo													
(Transmission)	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
(davon Luft)	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
Tokyo													
(Transmission)	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(davon Luft)	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sydney													
(Transmission)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(davon Luft)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rom													
(Transmission)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(davon Luft)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rio de Janeiro													
(Transmission)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(davon Luft)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kinshasa													
(Transmission)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(davon Luft)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Kapitel 4 Tabelle 11: Fensterbasierter Ansatz – Differenzierung Transmission und Lüftung

Die monatsbilanzierten Werte nach Verwendung eines Wärmetauschers (80% Wirkungsgrad) im Heizfall (alle Angaben in kWh):

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Ges.
Berlin													
(Transmission)	1098	417	0	0	0	0	0	0	0	0	129	1236	2.879
(davon Luft)	1098	417	0	0	0	0	0	0	0	0	129	1025	2.669
Rückgewonnen	878,4	333,6	0	0	0	0	0	0	0	0	103,2	820	2.135
Stromverbr.	36,6	36,6	0	0	0	0	0	0	0	0	36,6	36,6	146
Bilanz	256,2	120	0	0	0	0	0	0	0	0	62,4	452,6	890
Helsinki													
(Transmission)	2068	1031	143	0	0	0	0	0	0	0	1168	1801	6.211
(davon Luft)	1524	1031	143	0	0	0	0	0	0	0	1041	1303	5.042
Rückgewonnen	1219,2	824,8	114,4	0	0	0	0	0	0	0	832,8	1042,4	4.034
Stromverbr.	36,6	36,6	36,6	0	0	0	0	0	0	0	36,6	36,6	183
Bilanz	885,4	242,8	65,2	0	0	0	0	0	0	0	371,8	795,2	2.360
Moskau													
(Transmission)	1757	287	0	0	0	0	0	0	0	0	929	1761	4.733
(davon Luft)	1757	287	0	0	0	0	0	0	0	0	929	1568	4.541
Rückgewonnen	1405,6	229,6	0	0	0	0	0	0	0	0	743,2	1254,4	3.632
Stromverbr.	36,6	36,6	0	0	0	0	0	0	0	0	36,6	36,6	146
Bilanz	388	94	0	0	0	0	0	0	0	0	222,4	543,2	1.247
Jakutsk													
(Transmission)	4296	2303	911	0	0	0	0	0	0	118	2423	4311	14.363
(davon Luft)	3870	2303	911	0	0	0	0	0	0	118	2766	3643	13.611
Rückgewonnen	3096	1842,4	728,8	0	0	0	0	0	0	94,4	2212,8	2914,4	10.888
Stromverbr.	36,6	36,6	36,6	0	0	0	0	0	0	36,6	36,6	36,6	219
Bilanz	1236,6	497,2	218,8	0	0	0	0	0	0	60,2	246,8	1433,2	3.692

Kapitel 4 Tabelle 12: Fensterbasierter Ansatz – Rückgewonnene Energie Heizfall

Die monatsbilanzierten Werte nach Verwendung eines Wärmetauschers im Kühlfall (alle Angaben in kWh):

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Ges.
Kairo (Luft)	0	0	0	0	63	214	272	272	128	7	0	0	956
Rückgewonnen	0	0	0	0	50,4	171,2	217,6	217,6	102,4	0	0	0	759
Stromverbr.	0	0	0	0	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	0	0	0	183
Bilanz	0	0	0	0	49,2	79,4	91	91	62,2	7	0	0	380
Tokyo													
(Luft)	0	0	0	0	0	0	49	108	0	0	0	0	157
Rückgewonnen	0	0	0	0	0	0	39,2	86,4	0	0	0	0	126
Stromverbr.	0	0	0	0	0	0	36,6	36,6	0	0	0	0	73
Bilanz	0	0	0	0	0	0	46,4	58,2	0	0	0	0	105
Rom (Luft)	0	0	0	0	0	0	44	32	0	0	0	0	76
Rückgewonnen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stromverbr.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilanz	0	0	0	0	0	0	44	32	0	0	0	0	76
Rio (Luft)	0	0	0	0	0	0	159	231	42	0	0	0	432
Rückgewonnen	0	0	0	0	0	0	127,2	184,8	33,6	0	0	0	346
Stromverbr.	0	0	0	0	0	0	36,6	36,6	36,6	0	0	0	110
Bilanz	0	0	0	0	0	0	68,4	82,8	45	0	0	0	196
Kinshasa													876
(Luft)	0	0	0	0	58	196	249	249	118	6	0	0	
Rückgewonnen	0	0	0	0	46,4	156,8	199,2	199,2	94,4	4,8	0	0	701
Stromverbr.	0	0	0	0	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	0	0	221
Bilanz	0	0	0	0	48,2	75,8	86,4	86,4	60,2	37,8	0	0	396

Kapitel 4 Tabelle 13: Fensterbasierter Ansatz – Rückgewonnene Energie Kühlfall

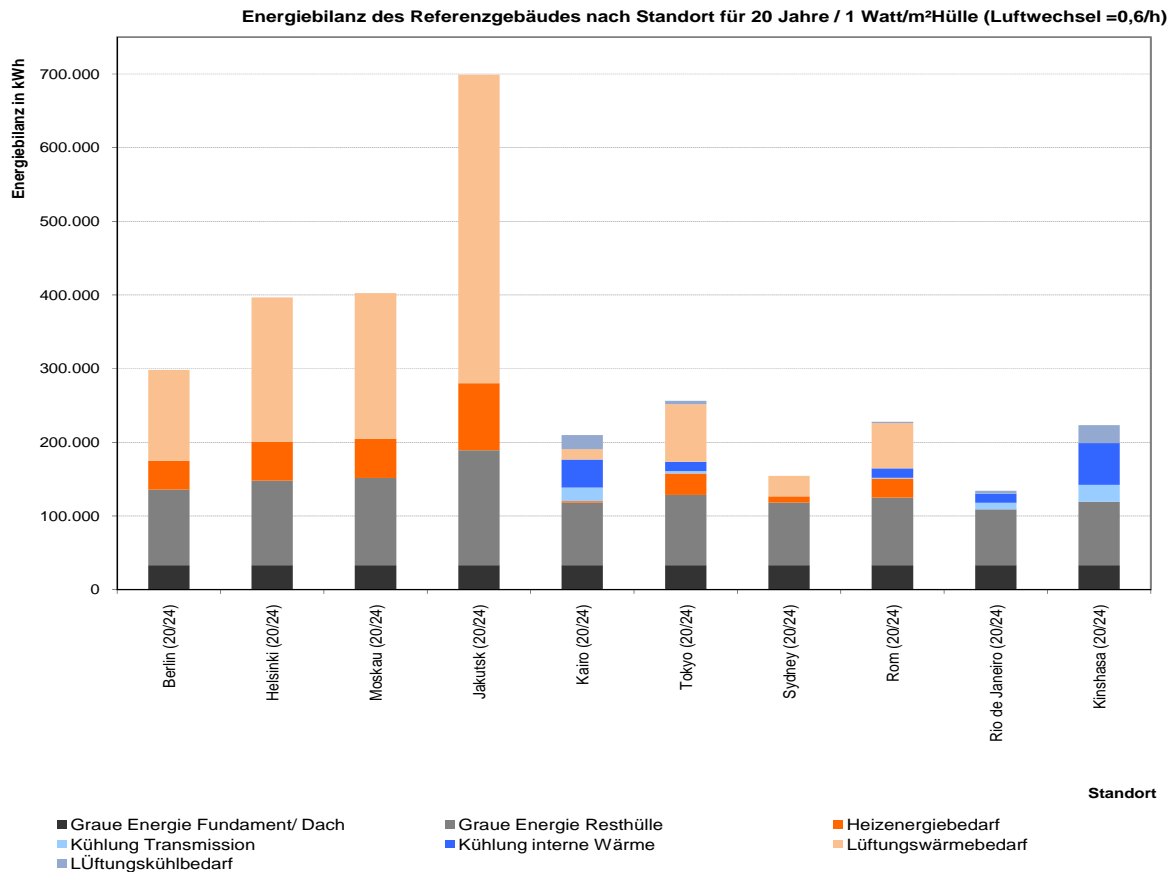
Die Werte einer fensterbasierten Lösung in der Monatsbilanz (alle Werte in kWh/a):

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Ges.
Berlin													
(Heizbedarf)	256,2	120	0	0	0	0	0	0	0	0	62,4	452,6	890
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Helsinki													
(Heizbedarf)	885,4	242,8	65,2	0	0	0	0	0	0	0	371,8	795,2	2.360
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Moskau													
(Heizbedarf)	388	94	0	0	0	0	0	0	0	0	222,4	543,2	1.247
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jakutsk													
(Heizbedarf)	1236,6	497,2	218,8	0	0	0	0	0	0	60,2	246,8	1433,2	3.692
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kairo													
(Heizbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	49,2	79,4	91	91	62,2	7	0	0	380
Tokyo													
(Heizbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	46,4	58,2	0	0	0	0	105
Sydney													
(Heizbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rom													
(Heizbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	44	32	0	0	0	0	76
Rio de Janeiro													
(Heizbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	0	0	68,4	82,8	45	0	0	0	196
Kinshasa													
(Heizbedarf)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(Kühlbedarf)	0	0	0	0	48,2	75,8	86,4	86,4	60,2	37,8	0	0	396

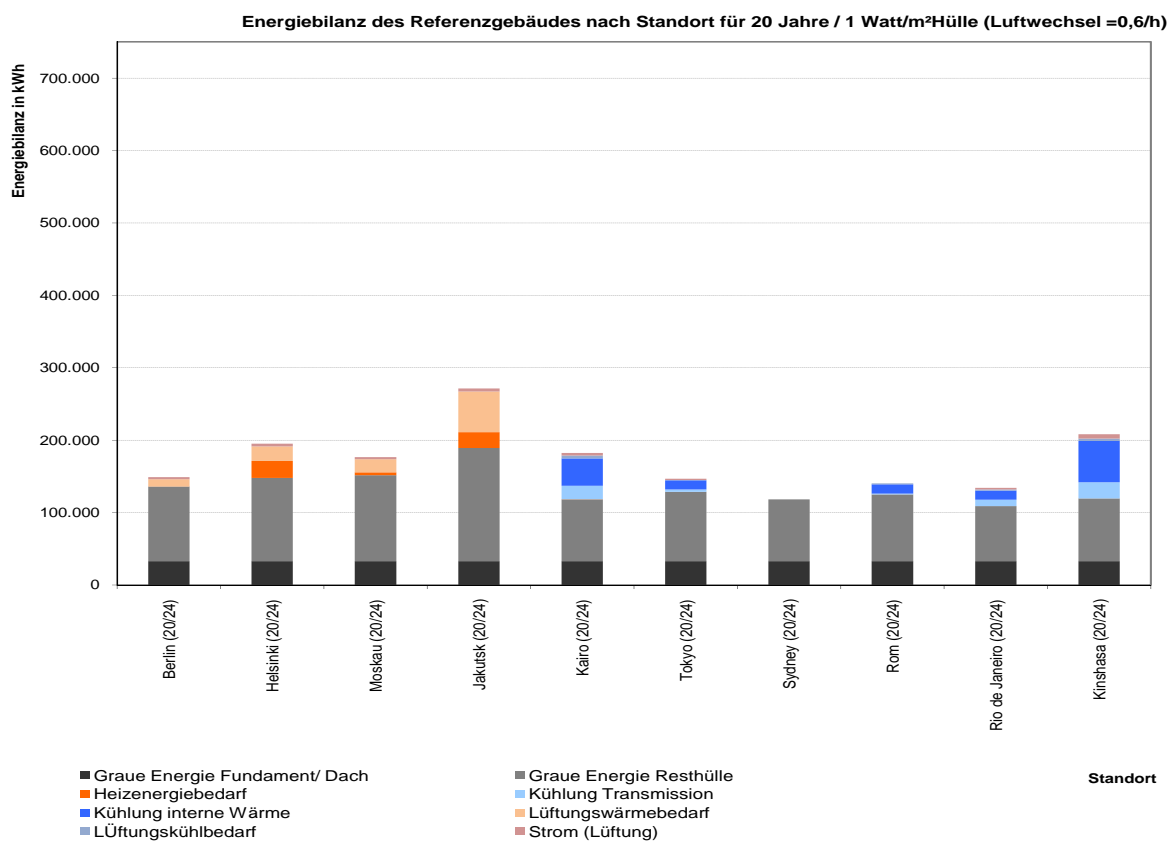
Kapitel 4 Tabelle 14: Fensterbasierter Ansatz – Restklimatisierungsbedarf

Da der lüftungsbasierte Ansatz sehr kleine, und die Architektur und das Raumgefühl stark beeinträchtigende Fenstergrößen aufweist, wird im Folgenden nur der fensterbasierte Ansatz weiter betrachtet. Die Bilanzen des lüftungsbasierten Ansatzes können den beiliegenden Rechenblättern entnommen werden.

Die Bilanzen vor und nach dem Einsatz von Fenstern und Wärmetauscher sind auf der folgenden Seite grafisch abgebildet.



Kapitel 4 Grafik 6: Gesamtbilanz nach Beispielstädten für 1 Watt/m² Hülle ohne Wärmetauscher und Fenster



Kapitel 4 Grafik 7: Gesamtbilanz nach Beispielstädten für 1 Watt/m² Hülle mit Wärmetauscher und optimalen Fenstern (Fensterbasierter Ansatz)

4.2.4 Zwischenfazit

Nach der Berechnung der Zwischenbilanzen für die Beispielstandorte kann ein kurzes Zwischenfazit gezogen werden.

4.2.4.1 Restklimatisierungsbedarf

Der Klimatisierungsbedarf kann durch eine optimal dimensionierte Hülle und eine flexible Nutzung von Fensterelementen und geregelter Lüftung mit Wärmetauscher auf sehr geringe Werte reduziert werden. Bezogen auf eine für das Referenzgebäude realistische Nutzfläche von 150 m² beträgt der Restklimatisierungsbedarf (Heizung + Kühlung) zwischen 0 kWh (Sydney) bei entsprechendem Nutzerverhalten) und 24 kWh/a (Jakutsk). Nicht enthalten ist allerdings das Benötigte erwärmte Trinkwasser. Bei der Betrachtung geeigneter haustechnischer Systeme werden folglich Lösungen gesucht, die diesen geringen Bedarf sinnvoll decken können.

Differenziert man zwischen Wärme und Kühlbedarf, so verfügen nur noch 4 Standorte (Berlin, Helsinki, Moskau und Jakutsk) über Wärmebedarf. An allen anderen Standorten kann der Wärmebedarf bei optimaler Hülle über die internen Gewinne und eine sinnvolle Nutzung von optimal gewählten Fenstern und mechanischer Lüftung gedeckt werden. Fünf Standorte (Tokyo, Rom, Rio, Kinshasa und Kairo) weisen Kühlbedarf auf. Dieser ist nach Einsatz der mechanischen Lüftung nicht durch äußere Einflüsse dominiert, sondern durch die anfallenden internen Lasten (vgl. Kapitel 4 Grafik 6 und 7)

4.2.4.2 Graue Energie

An sieben von zehn Standorten wird das optimal gestaltete Referenzgebäude von der Grauen Energie dominiert (Anteil Graue Energie >80%). An den beiden anderen Standorten (Irkutsk als sehr kalte Region und Kinshasa und Kairo als sehr warme Regionen) beträgt der Anteil der Grauen Energie immer noch mehr als 50%. An allen Standorten ist also bei der Systementwicklung optimierter energieeffizienter Gebäude die Graue Energie von mindestens ebenso großer Bedeutung wie der laufende Verbrauch. Je mehr der gewählte Standard vom Optimum abweicht, umso geringer werden der Anteil und die Relevanz der Grauen Energie in Konstruktion und Haustechnik.

Die Verwendung von optimal gewählten Fenstern verändert den Grauen Energiegehalt des Referenzgebäudes nur minimal (< 1%) hat aber massive Auswirkungen auf den laufenden Wärmebedarf.

4.2.4.3 Fenster- oder lüftungsbasierter Ansatz

Trotz des fensterbasierten Ansatzes und der resultierenden schlechteren Bilanz des Wärmetauschers findet dieser an acht der betrachteten Standorte Verwendung. Nur die Standorte mit sehr mildem Klima (Rom und Sydney) wiesen aufgrund des mit einem Wärmetauscher verbundenen laufenden Stromverbrauchs und dem im System enthaltenen kumulierten Energieaufwand ohne ein solches System die bessere Gesamtbilanz auf.

Letzten Endes spielt es keine Rolle, ob das Gebäudekonzept auf einem gut ausgelasteten Wärmetauscher und geringen Fenstergrößen oder einem weniger gut ausgelasteten Wärmetauscher und größeren Fensterflächen basiert. Die Ergebnisse der beiden Ansätze unterscheiden sich in der Gesamtbilanz nur unwesentlich. Die Kombination der beiden Systeme bietet einen weiten Spielraum für in Bezug auf die Gesamtbilanz vielleicht nicht optimale, aber sehr gute Kombinationen. Je wärmer eine Standort umso besser schneidet aufgrund der sommerlichen Überhitzungsproblematik, der lüftungsbasierte Ansatz in der Bilanz ab.

Da die mechanische Lüftung an fast allen Standorten vor dem Hintergrund der Gesamtenergiebilanz sinnvoll ist, kann über die Differenz der Fenstergrößen der beiden Rechenansätze ein sinnvoller Spielraum für transparente Bauteile aufgezeigt werden. Für Berlin ergibt sich so eine sinnvolle Fenstergröße von 32m² bis 60m² (3-fach WSV).

4.3 Technologien zur Erzeugung der notwendigen thermischen Restenergie

4.3.1 Einführung und Definition

Zur Deckung des Restklimatisierungsbedarfs werden im Folgenden vereinfachte Rechenmodelle für verbreitete Haustechnische Heizsysteme entwickelt. Diese werden grundlegend unterteilt in strombasierte Systeme und Systeme, die auf der Nutzung herkömmlicher Energieträger (Gas, Öl, Holz) basieren.

Für alle untersuchten Systeme liegen belastbare etablierte Daten zur Berechnung ihrer Leistung im Rahmen der Energieeinsparverordnung vor. Diese sind genau, jedoch nicht ohne aufwendige Anpassungen für abweichende Klimabedingungen verwendbar. Die vorliegende Arbeit verwendet deutlich vereinfachte Verfahren mit einer gewissen Ungenauigkeit, die aber angepasster auf verschiedene Klimazonen reagieren können. Die Datenbasis für Berechnungen im Rahmen der EnEV dienen als Abgleich bei der Entwicklung der Rechenmodelle.

Neben der Deckung des unter 4.2 ermittelten Restklimatisierungsbedarfs wird innerhalb der Berechnungen von einem Warmwasserbedarf von etwa 82 Litern Warmwasser (50 °C) pro Tag ausgegangen. Dies entspricht in Mitteleuropäischem Klima etwa 10 Kwh/m²a bei angenommen 150m² Nutzfläche. Dieser Wert liegt allen Ergebnissen zugrunde, kann aber für eigene Berechnungen in den beiliegenden Rechenmodellen frei verändert werden. Ausgegangen wird von einer Grundwassertemperatur von 8°C.

4.3.2 Strombasierte Systeme

Im Folgenden werden Wärmepumpen und Direktheizungen als Beispiele strombasierter Systeme untersucht.

4.3.2.1 Direktheizungen

Die Möglichkeit elektrischer Direktheizung (als Strahlungsheizung/ Nachtspeicherheizung oder mobiler Radiator) wird innerhalb dieser Arbeit in erster Linie als direkte Konkurrenz zur Wärmepumpe betrachtet. Im Gegensatz zu dieser weist die Direktheizung einen massiv schlechteren Wirkungsgrad auf, benötigt jedoch auch deutlich weniger Graue Energie zur Herstellung des Systems.

4.3.2.1.1 Standortfaktoren

Der Vorteil von Direktheizungen ist in ihrer Standortunabhängigkeit zu sehen. Solange Strom vorhanden ist, haben keine weiteren Standortfaktoren einen bedeutenden Einfluss auf die Leistung des Systems. Dies gilt aber nur im Rahmen einer rein energiebilanzierten Betrachtung, oder einer prinzipiell nachhaltig gestalteten Stromerzeugung. Finden die Umwelt beeinflussende Methoden zur Stromerzeugung Verwendung, so bilden diese einen bedeutenden Standortfaktor. Aus diesem Grund sind in Ländern mit der Möglichkeit zur umweltschonenden Gewinnung von Strom (Windenergie, Wasserkraft) strombasierte Systeme deutlich weniger problematisch als in Ländern wo Strom mit hohen Verlusten durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe gewonnen wird.

4.3.2.1.2 Technologiefaktoren

Wie beschrieben stehen mehrere Systeme für eine elektrische Direktheizung zur Verfügung. Diese unterscheiden sich insbesondere durch Möglichkeiten der Speicherung (was das System träge macht, aber den Bezug von günstigem Nachtstrom ermöglicht) und durch die Wahl der Wärmeübertragung (Strahlung oder Konvektion).

Vor dem Hintergrund einer rein energiebilanzierten Betrachtung müssen träge Speichersysteme vermieden werden, die Folge wäre eine schlechtere Anlagenaufwandszahl und letzten Endes eine schlechtere Gesamtbilanz. Da die Betrachtung von elektrischen Direktheizungssystemen vor allem in Relation und als Vergleich zu den aufwendigeren Wärmepumpen erfolgt, wird an dieser Stelle nur das in der Energiebilanz beste System betrachtet.

Die gewählte Strahlungsheizung ist ein extrem schnell reagierendes System mit sehr geringem Grauen Energiegehalt und faktisch ohne zusätzliche Anforderungen an Infrastruktur. Sie stellt ein ideales Vergleichssystem zu allen anderen betrachteten Systemen dar, die über einen höheren Initialaufwand (Infrastruktur und Graue Energie) einen besseren COP realisieren.

Für das Strahlungsheizungssystem werden folgende Annahmen getroffen:

- Wirkungsrad = 1
- Anlagenaufwandszahl $ep = 1,2$

Für die Warmwasserbereitung wird ein Durchlauferhitzer angenommen:

- Wirkungsrad = 1
- Anlagenaufwandszahl $ep = 1$

Innerhalb der Arbeit werden die folgenden Daten für die in den Systemen enthaltene Graue Energie verwendet:

	Zubringung	kWh	Anlage	kWh	Wärmeverteilung	kWh
Strahlungsheizung	Stromleitung (bestehend)	---	Strahlungsheizkörper (5 KW)	1500	---	---
Gesamt: ca. 1500 kWh						
Speicherheizung (Konvektor)	Stromleitung (bestehend)	---	Speicherheizung (5 KW)	1500	---	---
Gesamt: ca. 1500 kWh						
Durchlauferhitzer	Stromleitung (bestehend)	---	Durchlauferhitzer	400	---	---
Gesamt: ca. 400 kWh						

Kapitel 4 Tabelle 15: Kältelast nach Beispielstädten für 1 Watt/m² Hülle

4.3.2.1.3 Rechenmodelle zur Bilanzierung von Direktheizungen

Das verwendete Rechenmodell zur Bilanzierung von strombasierten Direktheizungen ist im Vergleich zu den Modellen zu Fenster- und Wärmepumpenbilanzierung extrem einfach.

Aus der Kombination des resultierenden (über das Jahr unveränderten) COP und der im System enthaltenen Grauen Energie kann die Energiebilanz für das Referenzgebäude ermittelt werden.

Die Berechnung erfolgt aufgrund der unterschiedlichen angesetzten Anlagenaufwandszahlen getrennt für die Trinkwassererwärmung und den Raumklimatisierungsbedarf.

4.3.2.2 Wärmepumpen

Wärmepumpen heben unter Zufuhr von technischer Arbeit Wärme von einem niedrigeren zu einem höheren Temperaturniveau. Bei der Wärmepumpe wird die auf dem hohen Temperaturniveau anfallende Verflüssigungswärme zum Beispiel zum Heizen genutzt. Umgekehrt wird bei der Kältemaschine die Abkühlung eines Kältemittels beim Entspannen und Verdampfen genutzt, um ein Fluid abzukühlen. Aktuelle Systeme sind in der Lage an der gleichen Position das Trägermedium sowohl zu verflüssigen als auch zu verdampfen. Mittels solcher Systeme kann sowohl gekühlt als auch geheizt werden.

Bei der direkten elektrischen Beheizung, z. B. mit Heizstäben, entspricht die erzeugte Wärmeenergie genau der eingesetzten elektrischen Energie. Die elektrische Energie ist aber wesentlich hochwertiger als Wärmeenergie bei niedriger Temperatur. Mit der für die Wärmepumpe aufgebrauchten elektrischen Leistung kann ein vielfaches dieser Leistung einer anderen Wärmesenke (Luft, Erdboden) zusätzlich entzogen werden.

Wärmepumpen beeinflussen mittels ihres Trägermittelkreislaufes das Gebäudeklima direkt. Sowohl eine Heizlast, als auch eine Kühllast kann generiert werden.

Verluste entstehen durch die mechanischen Prozesse bei der Bewegung des Trägermittels und als Transportverluste innerhalb des Trägermittelkreislaufes durch Transmission und Strahlung.

In ihrer Anwendung als Gebäudeklimatisierung steht die Wärmepumpe in Konkurrenz zu direkten Möglichkeiten der Wärmeerzeugung. Diesen gegenüber ist zur Herstellung der Wärmepumpe ein deutlich höherer Energieaufwand erforderlich. Die durch eine Wärmepumpe eingesparte Energie muss deshalb den höheren Energieaufwand in der Herstellung rechtfertigen. Je mehr Wärmeenergie generiert werden muss, desto besser die ökologische Bilanz des Systems. Wärmepumpen sind im Gegensatz zu direkten Systemen verbrauchsorientierte Systeme.

Durch die Gewinne der Wärmepumpe gegenüber einem direkten Strombasierten System ist für eine ausgeglichene Bilanz die für Herstellung und Rückbau der Anlage aufgewendete Energie zu generieren. Ist dies standortbezogen möglich ist eine Wärmepumpe aus ökologischer Sicht dem direkten System vorzuziehen.

Zu klären ist ob an einem gegebenen Standort mittels einer Wärmepumpe eine positive ökologische Bilanz erzielt werden kann. Ausschlagend hierfür ist die Temperaturdifferenz (Innenraum und Außenmedium/ Wärmesenke), der jährliche Wärme- und Kühlbedarf und das Außenmedium/ Wärmesenke.

Da die anliegenden Standortbedingungen (Klima und Komfortempfinden) nicht verändert werden können ist bei der Beurteilung einer Wärmepumpenlösung die Wahl des Trägermittels und des Außenmediums die entscheidenden Faktoren.

In Abhängigkeit vom Standort (Nutzerinteresse/ ökonomische und technische Faktoren) besteht zudem das Potential einer Optimierung durch Beeinflussung des benötigten Heiz-/ Kühltemperatur durch Beeinflussung der gewünschten Innenraumtemperatur (Nutzerakzeptanz) und des Temperaturgefälles (Heizkreistemperatur/ Größe der Heizflächen/ Warmwasserverbrauch).

4.3.2.2.1 Standortfaktoren

Im Gegensatz zu elektrischen Direktheizungen unterliegt die Leistung einer Wärmepumpe in hohem Maße einigen Standortfaktoren.

Zentraler Standortfaktor ist die zum Zeitpunkt des Bedarfs vorliegende Temperatur des Innen und Außenmediums. Bei den angenommenen genormten Innenraumbedingungen reduziert sich die Betrachtung auf den Außenraum, bzw. das gewählte Außenmedium.

Die sekundären Standortfaktoren beziehen sich auf die Möglichkeit neben der immer als Außenmedium verfügbaren Luft, auch aufwendiger zu erschließende Außenmedien wie das Erdreich oder sogar Grundwasser zu ermöglichen. Insbesondere extrem harte Bodenarten oder die Gefahr von Erdbeben, limitieren die Nutzung sowohl von Flächenkollektoren im Erdreich wie auch von Erdsonden.

Zur Vereinfachung im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch davon ausgegangen, dass an allen Standorten die jeweils notwendigen Maßnahmen mit dem gleichen Energieaufwand zu realisieren sind.

4.3.2.2.2 Technologiefaktoren

Zwei Typen der Wärmepumpe werden im Rahmen dieser Arbeit betrachtet. Eine Luft/ Luft Wärmepumpe als extrem von der Außentemperatur abhängiges System und eine Wasser/ Wasser Wärmepumpe mit einem höheren Grauen Energiegehalt, aber dem Zugriff auf ein nicht so stark über den Jahresverlauf in der Temperatur schwankendes Medium.

Die Wahl des, in Kombination mit der im System enthaltenden Grauen Energie

Ziel ist es das Temperaturgefälle bei vertretbarem Aufwand möglichst gering und den COP der Wärmepumpe so möglichst gut zu gestalten. Von Relevanz ist an dieser Stelle das Verhalten des Nutzers, insbesondere bei der Erzeugung von Warmwasser. Dieser innerhalb der Arbeit nur pauschal betrachtete Punkt lässt sich in den beiliegenden Rechenblättern frei eingeben und kann die COP in hohem Maße beeinflussen.

Innerhalb der Arbeit werden die folgenden Daten für die in den Systemen enthaltene Graue Energie verwendet:

	Zubringung	kWh	Anlage	kWh	Wärmeverteilung	kWh
Wärmepumpe (Luft/Luft)	---	---	Wärmepumpe	2.200	Lüftungsrohre (100 lfm, d=100mm)	4.000
Gesamt: ca. 7.500						
Wärmepumpe (Wasser/ Wasser)	Flächenkollektor:	1.900	Wärmepumpe	2.200	Rohrleitung PVC	2.000 –
	Ca. 300m PCV-Rohr (d=40mm);	-		-	(Bauteilaktivierung),	2.500
	ca. 300 m ³ Erdaushub	5.000		3.000	500 lfm, d=20mm	
Gesamt: ca. 12.000						
	Oder Erdsonde:	10.000				
	Ca. 100m PCV-Rohr (d=40mm);	-				
	ca. 100 lfm Bohrung	14.000				

Kapitel 4 Tabelle 16: Kältelast nach Beispielstädten für 1 Watt/m² Hülle

4.3.2.2.3 Rechenmodelle zur Bilanzierung von Wärmepumpen

Das entwickelte Rechenmodell berechnet auf der Basis der anliegenden Außen- und Innenraumtemperatur einen mittleren monatsbasierten COP. Die Berechnung dieses mittleren Wirkungsgrades erfolgt auf der Basis der thermodynamischen Zusammenhänge [2] [3]:

Aus dem zweiten Thermodynamischen Hauptsatz lässt sich ableiten, dass der Wärmestrom Φ , der zwischen den Reservoirs mit den Temperaturen T_1 und T_2 fließt, theoretisch eine Wärmekraftmaschine antreiben könnte, die den Anteil E an mechanischer Nutzarbeit und die Abwärme B abgibt.

E wird als Exergie, B als Anergie bezeichnet.

Es gilt der Carnot Wirkungsgrad:

$$\eta_c = 1 - T_2 / T_1$$

η_c = Carnot Wirkungsgrad

T_1 = Temperatur Medium 1 (als Temperaturdifferenz vom absoluten Nullpunkt -273°C)

T_2 = Temperatur Medium 2 (als Temperaturdifferenz vom absoluten Nullpunkt -273°C)

Bei den Temperaturen $T_1 = 293$ K (20°C) und $T_2 = 283$ K (10°C) könnte die Maschine maximal 3,4% Arbeit leisten, 96,6% wären Abwärme.

Um die Temperatur konstant zu halten (gegen Lüftungs- und Transmissionsverluste eines Gebäudes zum Beispiel) muss nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik der Wärmestrom Φ zugeführt werden, der nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, aus einem Anteil Exergie und einem Anteil Anergie besteht.

Die Maschine, die einen Anergiestrom B mit Hilfe von Exergie E in den Wärmestrom Φ transformieren kann, ist die Wärmepumpe.

Die Effizienz der Wärmepumpe wird mit dem COP beschrieben, der angibt wie viel Nutzwärme pro Einheit Exergie gewonnen werden kann.

Der COP der idealen Carnot-Wärmepumpe berechnet sich nach:

$$\text{COP}_c = T_1 / (T_1 - T_2)$$

Im Fall einer Gebäudeheizung ist:

T_1 = Innenraumtemperatur (als Temperaturdifferenz vom absoluten Nullpunkt -273°C)

T_2 = Außenraumtemperatur (als Temperaturdifferenz vom absoluten Nullpunkt -273°C)

Die Formel zeigt, dass hohe COP-Werte vor allem aufgrund geringer Temperaturdifferenzen ($T_1 - T_2$) und hoher Temperaturen T_2 erreicht werden können.

Aus diesem Grund ermöglichen Anergiequellen mit relativ hohen Temperaturen (Erdreich oder Grundwasser) gute COP-Werte.

Eine Anhebung der Temperatur T_2 von 0°C auf 5°C bewirkt bei idealen Anlagen eine Erhöhung des COP von 11,1 auf 13,6 bei $T_1 = 27^\circ\text{C}$. Eine Erhöhung von T_2 auf 10°C ergibt einen Wert von 17,6.

In der Realität weicht der effektive COP vom idealen COP deutlich ab. Qualitativ gute Wärmepumpen erreichen einen Gütegrad von 0,5.

$$\text{COP}_{\text{effektiv}} = g * T_1 / (T_1 - T_2)$$

g = Gütegrad der Wärmepumpe (angenommen 0,5)

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Rechenblatt berechnet einen mittleren Jahres-COP auf der Basis der oben erfolgten Herleitung und einem angenommen Gütegrad der Anlage von 0,5.

Das Rechenmodell erfordert Eingaben zu angestrebtem Temperaturniveau im Innenraum und dem Temperaturniveau des Anergiumediums, sowie dem Energiebedarf auf monatlicher Basis.

Der Jahres COP berechnet sich als gewichtetes Mittel aus den berechneten monatlichen COPs.

4.3.3 Verbrennungsbasierte Systeme

Die in der Folge betrachteten Systeme basieren auf der Verbrennung von Energieträgern. Es liegt in der Natur der betrachteten Systeme, dass nur Wärmeenergie erzeugt werden kann. Eine Verwendung von Biomasse zur Stromerzeugung ist möglich, zur Klimatisierung können in diesem Fall die strombasierten Wärmepumpen herangezogen werden, zuzüglich eines Faktors der die Verluste bei der Stromerzeugung berücksichtigt.

4.3.3.1 Brennwertgeräte

Für alle betrachteten Energieträger wird innerhalb dieser Arbeit von Brennwertsystemen ausgegangen. Diese Systeme nutzen die Kondensationswärme des Wasserdampfes im Abgas. Durch den relativ höheren Wasserdampfgehalt im Abgas profitieren Gas-basierte Systeme hierdurch mehr (ca. 11%) als Holz oder Öl (ca. 6%).

Durch die Nutzung der Kondensationswärme tritt eine Verbesserung des verbrennungstechnischen Wirkungsgrades ein. Ein zusätzlicher Gewinn in Bezug auf den Wirkungsgrad liegt in der Tatsache, dass die Abgastemperaturen und somit die Abgasverluste erheblich niedriger ausfallen als bei konventioneller Feuerung, bei der, um Kondensatbildung im Abzug zu verhindern, die Abgastemperatur rund 120 °C nicht unterschreiten sollte, während Brennwertfeuerungen mit 60 °C betrieben werden können.

4.3.3.1.1 Standortfaktoren

Für die betrachteten Systeme haben keine der betrachteten Standortfaktoren Auswirkungen auf die verbrennungsbasierten Systeme.

4.3.3.1.2 Technologiefaktoren

Zu unterscheiden sind in erster Linie rücklaufftemperaturabhängige und –unabhängige Systeme:

Bei den Hochtemperatur-Brennwertkesseln ist der Brennwert nicht last- oder rücklaufftemperaturabhängig. Es gibt hier deshalb keine Einschränkungen, weder für Fußboden- oder andere Heizungen.

Bei den Niedrigtemperatur-Brennwertkesseln ist der Brennwert last- und rücklaufftemperaturabhängig, zu hohe Rücklaufftemperaturen vernichten den Brennwert. Damit erhöhen niedrige Rücklaufftemperaturen dort die Effektivität. Eine Kombination mit entsprechend groß dimensionierten Heizflächen, z. B. Fußbodenheizungen, ist daher sinnvoll, jedoch nicht zwingend. In der Regel sind die vorhandenen Heizkörper nach Modernisierungsmaßnahmen am Gebäude (z. B. Fensteraustausch) groß genug dimensioniert, um ausreichend geringe Rücklaufftemperaturen aufzuweisen. Die Wärmeleistung, die ein Heizkörper an den Raum abgeben muss, sinkt zudem drastisch bei ansteigenden Außentemperaturen. Je weniger Heizwärme vom Heizkörper abgegeben werden muss, desto höher ist die Rücklaufftemperatur des Heizkörpers. Wichtig ist es aber auch, in der Heizungsanlage einen hydraulischen Abgleich durchzuführen. Hierbei wird die Durchlaufmenge des Heizwasser auf die Menge begrenzt, die zur Erreichung der Heizleistung für diesen Heizkörper notwendig ist (Heizlastberechnung muss vorliegen). Nur so ist sichergestellt, dass ein nah an der Heizungsanlage montierter Heizkörper nicht die Rücklaufftemperatur anhebt und damit den Brennwerteffekt vernichtet.

In Bezug auf die für die weitere Betrachtung notwendige Entscheidung zwischen beiden Systemen wird von einem rücklaufftemperaturunabhängigen System ausgegangen.

Die aktuell etablierten Systeme weisen nur noch geringe Verluste durch Wärmeübertragung und Speicherung auf. Die Wirkungsgrade im Kühlfall liegen bei etwa 98%, im Fall einer reinen Warmwasserbereitung ohne Heizwärmebedarf (Sommerfall) liegen sie bei etwa 80%. [4]

Die Dimensionierung der Brennwertgeräte in Bezug auf die benötigte Wärmemenge hat kaum noch Auswirkung auf den Wirkungsgrad. Für alle Standorte und den jeweils assoziierten Wärmebedarf würde das gleiche Gerät in Frage kommen. Brennwertthermen für Einfamilienhäuser decken ohne nennenswerten Einfluss auf den Wirkungsgrad Bereiche von etwa 4kW bis 15kW ab. Nur bei deutlich tiefer liegendem Wärmebedarf nimmt die Effizienz des Gerätes ab. [5]

Eine Anpassung an den Standort ist nur in Bezug auf die geeignete Dimensionierung des Brennwertsystems möglich von der in der Folge ausgegangen wird, so dass die oben genannten Werte erreicht werden.

Innerhalb der Arbeit werden die folgenden Daten für die in den Systemen enthaltene Graue Energie verwendet:

	Zubringung	kWh	Anlage	kWh	Wärmeverteilung	kWh
Pelletheizung	Lager (ca. 2m ³)	---	Pelletofen	kA	Heizungsleitungen (100 lfm, d=20mm, Kupfer)	500 – 750
Gesamt: ca. 2.500 kWh			Schornstein	kA	Isolierung (1 m ³ MFD)	50 – 100
			Speicher (150 Liter)	kA	Heizkörper (5kW bei 55°C/45°C)	kA
Gasheizung (Brennwert)	Gasleitung 25 lfm (d=30mm/ Kupfer)	kA	Gastherme	kA	Heizungsleitungen (100 lfm, d=20mm, Kupfer)	500 – 750
Gesamt: ca. 2.500 kWh	Erdaushub 12,5 m ³	kA	Schornstein	kA	Isolierung (1 m ³ MFD)	50 – 100
			Speicher (150 Liter)		Heizkörper (5kW bei 55°C/45°C)	kA
Ölheizung (Brennwert)	Öltank (2000 Liter)	kA	Öltherme	kA	Heizungsleitungen (100 lfm, d=20mm, Kupfer)	500 – 750
Gesamt: ca. 2.000 kWh			Schornstein	kA	Isolierung (1 m ³ MFD)	50 – 100
			Speicher (150 Liter)	kA	Heizkörper (5kW bei 55°C/45°C)	kA

Kapitel 4 Tabelle 17: Kältelast nach Beispielstädten für 1 Watt/m² Hülle

Die Angaben zur Grauen Energie basieren auf den in den Systemen verwendeten Rohstoffmengen. Angaben von Firmenseite liegen nicht vor.

4.3.3.2 Rechenmodelle zur Bilanzierung von Brennwerttechnik

Da die Unterschiede im Grauen Energiegehalt der untersuchten Systeme nur gering sind, wird innerhalb des Rechenmodells von einem einheitlichen System ausgegangen, das im letzten Teil dieses Kapitel standortbezogen auf den am besten geeigneten Energieträger untersucht wird.

Der zentrale Faktor in der Effizienz von verbrennungsbasierten Systemen liegt in der Nutzbarkeit der zwangsläufig entstehenden Wärmeverluste. Diese können in der Heizphase als interne Wärmegewinne genutzt werden, in Perioden ohne Heizwärmebedarf kann der durch die Warmwasserbereitung entstehende Wärmeverlust jedoch nicht verwertet werden.

Das entwickelte Rechenmodell setzt den Wirkungsgrad des Verbrennungssystems in der Heizphase des Referenzgebäudes für Heizung und Warmwasserberechnung auf 0,98. Dieser Wert entspricht dem in der EN 18599 angesetzten Wirkungsgrad, der gegenüber dem vereinfachten Wert innerhalb der EnEV (der in Abhängigkeit zur Nutzfläche ermittelt wird) flexibler ist. [3]

Für die Monate in denen nur ein Warmwasserbedarf besteht wird aufgrund der Speicherverluste ein Wirkungsgrad von 0,8 angenommen. In Monaten mit Kühlbedarf werden die verlorenen 20% Speicherverluste zusätzlich auf die Kühllast addiert.

Das Rechenmodell prüft für jeden Monat ob ein Kühl- oder Heizmonat vorliegt und wendet den entsprechenden Wirkungsgrad an. Da in allen in Frage kommenden Standorten ein Wärmtauscher installiert ist werden Lüftungswärmeverluste des Systems zu Vereinfachung ignoriert.

Zur Bilanzierung wird am Ende die Graue Energie des Heizsystems auf die Jahres und Gesamtbilanz addiert.

4.3.4 Berechnungen für das Referenzgebäude

Die folgende Tabelle listet die Ergebnisse für alle Kombinationen von Standort und haustechnischem Klimatisierungssystem auf. Kombinationen bei denen der Kühlbedarf durch das System nicht gedeckt werden kann sind orange gekennzeichnet. Das Beste System ist orange hervorgehoben. Grau hinterlegte Systeme können den anfallenden Kühlbedarf nicht decken. Die Graue Energie der Systeme ist in die Gesamtwerte mit eingerechnet. Raumklimatisierungsbedarf und Warmwasserbedarf werden ohne Graue Energie ausgewiesen:

	Wärmepumpe (Wasser/ Wasser)			Wärmepumpe (Luft/Luft)			Elektrische Direktheizung			Brennwerttechnik (Gas/ Holz)		
	Raumklima	Warmwasser	Gesamt	Raumklima	Warmwasser	Gesamt	Raumklima	Warmwasser	Gesamt	Raumklima	Warmwasser	Gesamt
Berlin												
kWh/a	206	563	1.370	285	590	1250	1398	1.500	2.905	1.189	1.687	3.000
COP	5,65	2,7	3,49	4,09	2,56	3,06	0,83	1	0,92	0,98	0,89	0,93
Helsinki												
kWh/a	418	552	1570	660	635	1670	2832	1500	4164	2409	1667	4201
COP	5,65	2,76	4,00	3,57	2,38	2,99	0,83	1	0,89	0,98	0,90	0,95
Moskau												
kWh/a	428	563	1592	739	652	1765	2903	1500	4225	2468	1687	4280
COP	5,65	2,70	3,97	3,27	2,34	2,84	0,83	1	0,89	0,98	0,89	0,94
Jakutsk												
kWh/a	654	541	1795	1942	776	3093	4431	1500	5566	3768	1648	5541
COP	5,65	2,82	4,37	1,90	2,03	1,94	0,83	1	0,88	0,98	0,91	0,96
Kairo												
kWh/a	403	541	1544	137	445	956	2731	1500	4075	2322	1648	4095
COP	5,65	2,82	4,03	16,64	3,60	6,67	0,83	1	0,89	0,98	0,91	0,95
Tokyo												
kWh/a	130	586	1316	49	567	991	884	1500	2454	752	1726	2602
COP	5,65	2,58	3,14	15,00	2,81	3,78	0,83	1	0,94	0,98	0,87	0,90
Sydney												
kWh/a	0	608	1208	0	548	923	0	1500	1679	0	1765	1890
COP	---	2,47	2,47	---	2,76	2,76	0,83	1	1,00	---	0,85	0,85
Rom												
kWh/a	125	586	1311	53	555	984	850	1500	2424	722	1726	2573
COP	5,65	2,58	3,12	13,33	2,83	3,75	0,83	1	0,94	0,98	0,87	0,90
Rio												
kWh/a	203	575	1377	82	457	914	1373	1500	2883	1168	1706	2999
COP	5,65	2,64	3,43	13,89	3,36	4,97	0,83	1	0,92	0,98	0,88	0,92
Kinshasa												
kWh/a	406	541	1546	144	398	917	2749	1500	4090	2338	1648	4110
COP	5,65	2,82	4,03	15,88	3,86	7,06	0,83	1	0,89	0,98	0,91	0,95

Kapitel 4 Tabelle 18: Kältelast nach Beispielstädten für 1 Watt/m² Hülle

Die Ergebnisse sind differenziert zu betrachten. Die Verbrennungssysteme schneiden unter anderem deshalb so schlecht ab, weil in die Berechnungen keine Primärenergiefaktoren mit einbezogen sind. Da jedoch die Gewinnung der Energieträger standortgebunden real abweicht muss für eine Vergleichbarkeit eine Norm gefunden werden. Eine sinnvolle Annahme ist vor dem Hintergrund der in Kapitel eins beschriebenen Ausgangslage die nachhaltige Gewinnung aller Energieträger.

Wird von einer regenerativen Gewinnung der Energieträger ausgegangen, wie innerhalb dieser Arbeit, sind die oben ermittelten Werte und ihr direkter Vergleich allerdings aussagekräftig.

4.3.5 Zwischenfazit

Bevor im letzten Abschnitt auf die Versorgung des haustechnischen Klimatisierungssystems mit nachhaltig gewonnenen Energieträgern eingegangen wird, kann im Folgenden ein Zwischenfazit gezogen werden. Das Referenzgebäude ist zu diesem Zeitpunkt vollständig, so dass standortbezogen ein erstes Resümee des Gesamtgebäudes gezogen werden kann. Dies soll im Folgenden für jeden Standort kurz geschehen und aus Gründen der Übersicht auch die Daten aus Kapitel drei beinhalten. Eingegangen in der Beschreibung wird vor allem auf die jeweiligen standortspezifischen Besonderheiten und ihre Folgen innerhalb des entwickelten Rechenmodells. Zugrunde liegen die folgenden Parameter:

interne Lasten: $1 \text{ Watt/m}^2_{\text{Hüllfläche}}$; Innenraumkonditionen: 20°C im Heizfall / 24°C im Kühlfall:

4.3.5.1 Berlin

Hülle					
Optimale Dämmstärke:	342 mm	Resultierender U-Wert:	$0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Wanddicke:	484 mm (Holzrahmenbau)
Sinnvolle Dämmstärken:	213 mm bis 531 mm	Resultierende U-Werte:	$0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ bis $0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$		
Heizgrenze:	$11,6^\circ\text{C}$	Kühlgrenze:	24°C		
Haustechnik bei optimaler Hülle					
Wärmetauscher:	ja	Sinnvolle Fenstergrößen:	32 m^2 Süd bis 60 m^2 Süd (2-fach WSV)		
Klimatisierung bei optimaler Hülle					
Bestes Klimatisierungssystem	Wärmepumpe (Luft – Luft)				
COP Wasser:	2,56	COP Heizung/ Kühlung:	4,09	COP Gesamt	3,06
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	875 kWh/a	Graue Energie:	375 kWh/a	Gesamt:	1.250 kWh/a
Alternatives Klimatisierungssystem	Verbrennungsbasiert (Brennwert Gas oder Öl)				
COP Wasser:	0,89	COP Heizung/ Kühlung:	0,98	COP Gesamt	0,93
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	2.900 kWh/a	Graue Energie:	100 kWh/a	Gesamt:	3.000 kWh/a

Kapitel 4 Tabelle 19: Konzept Berlin

Berlin ist der Standort innerhalb dieser Arbeit der aufgrund der vorhandenen Berechnungsmodelle im Rahmen der Energieeinsparverordnung und eigenen Erfahrungen am belastbarsten mit Verbrauchs- und Bedarfsdaten verglichen werden kann:

Der innerhalb dieser Arbeit ermittelte optimale Dämmstandard liegt deutlich über dem etablierten Standard in Deutschland. Allerdings liegen die Dämmstärken im Niedrigenergie-Neubau im Bereich der sinnvollen Dämmstärken (Gesamtbilanz maximal 10% schlechter als optimal). Die ermittelten Fensterdimensionierungen entsprechen in etwa den Werten eines entsprechenden Vergleichsgebäudes in Bezug auf den Einfluss auf den laufenden Verbrauch. Die Differenz liegt in den Berlin-spezifischen Werten innerhalb dieser Arbeit begründet, während die EnEV mit mittleren Werten für Deutschland rechnet. Die Nutzung von Fenstern zur Deckung eines großen Teils des Wärmebedarfs ist am Standort etabliert, genau wie Wärmetauschern bei Gebäuden mit sehr niedrigem Bedarf (KfW 40 / Passivhäuser). Überraschender ist die ermittelte Bilanz der 2-Fach WSV für Berlin, die noch besser ausfällt als die Bilanz für 3-fach WSV. Der Grund ist den relativ milden Wintertemperaturen Berlins und dem hohen Grauen Energiegehalt der Dreifachverglasung zu sehen, deren großer Vorteil, der guten U-Wertes in Berlin nicht ausreicht um den Mehraufwand zu rechtfertigen.

Nicht etabliert ist das durch das Rechenmodell empfohlene haustechnische Heizsystem der Luft-Luft Wärmepumpe. Etabliert sind vielmehr verbrennungsbasierte Brennwertgeräte. Der für die Wärmepumpe berechnete COP deckt sich mit den durch die Methoden der EnEV ermittelten Werten und liegt nach Angaben der Wärmeschutzverordnung nicht im förderungswürdigen oder empfehlenswerten Bereich. Zentraler Grund für den schlechten COP ist die Bereitstellung von Warmwasser.

Die Daten des laufenden Verbrauchs decken sich in weiten Teilen mit den Ergebnissen der etablierten Rechenmodelle und Erhebungen aus bestehenden Gebäuden. Die von den etablierten Systemen abweichenden Empfehlungen innerhalb dieser Arbeit resultieren zum überwiegenden Teil aus der Einbeziehung der Grauen Energie in eine Gesamtbilanz.

4.3.5.2 Helsinki

Hülle					
Optimale Dämmstärke:	422 mm	Resultierender U-Wert:	0,10 W/m²K	Wanddicke:	564 mm (Holzrahmenbau)
Sinnvolle Dämmstärken:	249 mm bis 595 mm	Resultierende U-Werte:	0,16 W/m²K bis 0,07 W/m²K		
Heizgrenze:	9,5 °C	Kühlgrenze:	24 °C		
Haustechnik bei optimaler Hülle					
Wärmetauscher:	ja	Sinnvolle Fenstergrößen:	26m² Süd bis 60m² Süd (3-fach WSV)		
Klimatisierung bei optimaler Hülle					
Bestes Klimatisierungssystem	Wärmepumpe (Erdkollektor)				
COP Wasser:	2,76	COP Heizung/Kühlung:	5,65	COP Gesamt	4,00
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	970 kWh/a	Graue Energie:	600 kWh/a	Gesamt:	1.570 kWh/a
Alternatives Klimatisierungssystem	Verbrennungsbasiert (Brennwert Gas oder Öl)				
COP Wasser:	0,90	COP Heizung/Kühlung:	0,98	COP Gesamt	0,95
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	4.101 kWh/a	Graue Energie:	100 kWh/a	Gesamt:	4.201 kWh/a

Kapitel 4 Tabelle 20: Konzept Helsinki

Helsinki dient innerhalb der Arbeit als eines von zwei Beispielen in einer gemäßigt kalten Klimazone. Das optimal mit 42cm gedämmte und mit optimal ausgerichteten Fenstern versehene Referenzgebäude hat in Helsinki immer noch eine Heizperiode von etwa 7 Monaten. Orientiert man sich eher am unteren Limit einer sinnvollen Dämmstärke, so steigt die Heizperiode auf etwa 8 ½ Monate.

Das Spektrum der durch das entwickelte Rechenmodell vorgeschlagenen transparente ist groß. 25m² bis 60m² ergeben einen sinnvollen Beitrag zur Gesamtbilanz wobei 3-fach Verglasung deutlich die beste Gesamtbilanz aufweist. Durch diese Fensterflächen und ein geregeltes Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung kann der laufende Verbrauch trotz des kalten Klimas auf sehr niedrige Werte (etwa 18 kWh/m²a) gesenkt werden. Die Verbesserung der Gesamtbilanz durch Fenster fällt jedoch deutlich geringer aus als am Standort Moskau.

Als Heizsystem ist auf der Basis des entwickelten Rechenmodells eine Wärmepumpe mit Erdkollektor empfohlen werden. Die Bilanz einer außenluftbasierten Wärmepumpe ist allerdings in der auf zwanzig Jahre berechneten Gesamtbilanz nur unwesentlich schlechter und im sinnvollen Bereich (+/- 10%). Ein durch abweichen von den optimalen Hülldimensionierungen resultierender erhöhter Wärmebedarf resultiert schnell in einem konkurrenzlos guten abschneiden der erdbasierten Wärmepumpe. Ein geringerer Wärmebedarf, zum Beispiel durch höhere interne Energiequellen, bevorzugt die luftbasierte Wärmepumpe. Anhand des erstellten Rechenmodells sind realistische Nutzungsszenarien (ab etwa 4 Bewohner) darstellbar, in denen die luftbasierte Wärmepumpe das effiziente System in der Gesamtbilanz ist.

Das alternative verbrennungsbasierte Heizsystem erreicht in Abhängigkeit der langen Heizperiode gute mittlere Leistungszahlen über das Jahr.

4.3.5.3 Moskau

Hülle					
Optimale Dämmstärke:	473 mm	Resultierender U-Wert:	0,09 W/m²K	Wanddicke:	615 mm (Holzrahmenbau)
Sinnvolle Dämmstärken:	278 mm bis 649 mm	Resultierende U-Werte:	0,14 W/m²K bis 0,07 W/m²K		
Heizgrenze:	8,92 °C	Kühlgrenze:	24 °C		
Haustechnik bei optimaler Hülle					
Wärmetauscher:	ja	Sinnvolle Fenstergrößen:	24m² Süd bis 60m² Süd (3-fach WSV / 2-fach WSV)		
Klimatisierung bei optimaler Hülle					
Bestes Klimatisierungssystem	Wärmepumpe (Erdkollektor)				
COP Wasser:	2,70	COP Heizung/ Kühlung:	5,65	COP Gesamt	3,97
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	992 kWh/a	Graue Energie:	600 kWh/a	Gesamt:	1.592 kWh/a
Alternatives Klimatisierungssystem	Verbrennungsbasiert (Brennwert Gas oder Öl)				
COP Wasser:	0,89	COP Heizung/ Kühlung:	0,98	COP Gesamt	0,94
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	4.180 kWh/a	Graue Energie:	100 kWh/a	Gesamt:	4.280 kWh/a

Kapitel 4 Tabelle 21: Konzept Moskau

Der Standort Moskau ist der zweite kalte Beispielstandort in einer gemäßigt kalten Klimazone innerhalb der vorliegenden Arbeit. In Bezug auf die Temperaturdifferenz über das Referenzjahr ähneln sich der Standort Moskau (5662 Gradtage) und Helsinki (5529 Gradtage) stark. Entsprechend wird mit 47cm eine ähnliche optimale Dämmstärke vorgeschlagen. Die untere Grenze des sinnvollen Bereichs (28 cm) unterscheidet sich nur um 3 cm von dem entsprechenden Grenzwert am Standort Helsinki. In der Tendenz wird für den Standort Moskau die höhere Dämmstärke empfohlen.

Ähnlich wie am Standort Helsinki wird eine große Südverglasung empfohlen. Der sinnvolle Bereich reicht von 24m² bis zu einer maximalen Fläche von 60m². Im Gegensatz zum Standort Helsinki weisen 3-fach und 2-fach Wärmeschutzverglasung annähernd die gleiche Gesamtbilanz auf. Da der schlechtere U-Wert der 2-fach WSV eine höhere Spitzenheizlast bedingt wird eine Dreifachverglasung empfohlen. Der Standort Moskau profitiert trotz ähnlicher optimaler Verglasung deutlich stärkerer von solaren Gewinnen als der Standort Helsinki. Zu erklären ist dies mit dem im Winter klareren Himmel und einem in der Folge deutlich günstigeren Angebotsquotienten in der Zeit des größten Heizwärmebedarfs.

Das empfohlene Heizsystem einer erdbasierten Wärmepumpe deckt sich mit dem am Standort Helsinki empfohlenen System. Im Gegensatz zum Standort Helsinki schneidet in Moskau eine luftbasierte Wärmepumpe jedoch deutlich schlechter ab als ein erdbasiertes System und befindet sich nicht mehr im als sinnvoll definierten Bereich von +/- 10% zum optimalen System. Der Grund ist in der durch deutlich stärker ausgeprägten Temperaturamplitude am Standort Moskau zu sehen. Der klare Himmel im Winter führt nicht nur zu hohen solaren Gewinnen, sondern auch zu tieferen Temperaturen und in der direkten Folge zu einem schlechten COP eines luftbasierten Wärmepumpensystems.

Ähnlich wie am Standort Helsinki führt die relativ lange Heizperiode zu einem guten COP des alternativen verbrennungsbasierten Systems.

4.3.5.4 Jakutsk

Hülle					
Optimale Dämmstärke:	727 mm	Resultierender U-Wert:	0,06 W/m²K	Wanddicke:	869 mm (Holzrahmenbau)
Sinnvolle Dämmstärken:	424 mm bis 937 mm	Resultierende U-Werte:	0,1 W/m²K bis 0,05 W/m²K		
Heizgrenze:	3,3 °C	Kühlgrenze:	24 °C		
Haustechnik bei optimaler Hülle					
Wärmetauscher:	ja	Sinnvolle Fenstergrößen:	55m² Süd bis 60m² Süd (3-fach WSV)		
Klimatisierung bei optimaler Hülle					
Bestes Klimatisierungssystem	Wärmepumpe (Erdkollektor)				
COP Wasser:	2,82	COP Heizung/ Kühlung:	5,65	COP Gesamt	4,37
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	1.195 kWh/a	Graue Energie:	600 kWh/a	Gesamt:	1.795 kWh/a
Alternatives Klimatisierungssystem	Verbrennungsbasiert (Brennwert Gas oder Öl)				
COP Wasser:	0,91	COP Heizung/ Kühlung:	0,98	COP Gesamt	0,96
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	5.441 kWh/a	Graue Energie:	100 kWh/a	Gesamt:	5.541 kWh/a

Kapitel 4 Tabelle 22: Konzept Jakutsk

Jakutsk ist im Jahresmittel eine der kältesten Großstädte der Welt und dient innerhalb der vorliegenden Arbeit als Beispiel für einen extrem kalten Standort. Entsprechend empfiehlt das entwickelte Rechenmodell extrem hohe Dämmstärken. Eine optimale Holzrahmenbauwand wäre in der Folge fast 90cm dick. Orientiert man sich am unteren Ende des sinnvollen Bereiches resultiert immer noch eine Wandstärke von etwa 55cm.

Da in Jakutsk fast das ganze Jahr ein Heizwärmebedarf besteht profitiert das Referenzgebäude enorm von allen Arten interner Gewinne, z.B. durch eine hohe Anzahl von Bewohnern.

Aufgrund des überwiegend klaren Himmels weist Jakutsk hohe solare Einstrahlungen über das gesamte Jahr auf. In der direkten Folge profitiert das Referenzgebäude enorm von einer nach Süden ausgerichteten Fensterfläche. Bei Verwendung einer Dreifachverglasung, die die beste Gesamtbilanz innerhalb des entwickelten Rechenmodells aufweist, wird eine Verglasung fast der gesamten Südfassade empfohlen. Die im Vergleich zur opaken Wand deutlich schlechteren U-Werte auch der 3-fach Verglasung legen eine weitere baukonstruktive Verbesserungen nahe. Denkbar ist ein Wintergartenbasiertes Konzept oder eine Optimierung durch Fensterläden, die geschlossen (nachts) den U-Wert deutlich verbessern würden.

Als Heizsystem empfiehlt das Rechenmodell eine erdreichbasierte Wärmepumpe. Aufgrund der extrem niedrigen Außentemperaturen ist eine luftbasierte Wärmepumpe nicht konkurrenzfähig. Innerhalb des Rechenmodells nicht berücksichtigt sind die Abhängigkeit von Grauer Energie des Erdkollektors und Heizlast des Gebäudes. Durch die hohe Heizlast des Referenzgebäudes in Jakutsk liegt die reelle Graue Energie des empfohlenen Heizsystems in der Folge ca. 300 kWh höher als angegeben.

Das alternative Verbrennungssystem erreicht in Jakutsk einen fast idealen COP, da über fast das gesamte Jahr alle Abwärme der Haustechnik zur Substitution von Heizwärme genutzt werden kann.

4.3.5.5 Kairo

Hülle					
Optimale Dämmstärke:	201 mm	Resultierender U-Wert:	0,19 W/m²K	Wanddicke:	343 mm
				(Holzrahmenbau)	
Sinnvolle Dämmstärken:	128 mm bis 284 mm	Resultierende U-Werte:	0,34 W/m²K bis 0,14 W/m²K		
Heizgrenze:	14,8 °C	Kühlgrenze:	24 °C		
Haustechnik bei optimaler Hülle					
Wärmetauscher:	ja	Sinnvolle Fenstergrößen:	3m² Süd bis 8m² Süd		
			(1-fach Vergl./ 2-fach Vergl.)		
Klimatisierung bei optimaler Hülle					
Bestes Klimatisierungssystem	Wärmepumpe (Luft – Luft)				
COP Wasser:	3,6	COP Heizung/ Kühlung:	16,64	COP Gesamt	6,67
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	589 kWh/a	Graue Energie:	375 kWh/a	Gesamt:	956 kWh/a
Alternatives Klimatisierungssystem	Verbrennungsbasiert (Brennwert Gas oder Öl)				
COP Wasser:	0,91	COP Heizung/ Kühlung:	0,98	COP Gesamt	3,06
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	3.995 kWh/a	Graue Energie:	100 kWh/a	Gesamt:	4.095 kWh/a

Kapitel 4 Tabelle 23: Konzept Kairo

Der Standort Kairo dient innerhalb der Arbeit als Beispiel für ein subtropisches Klima mit enorm hoher solarer Einstrahlung. Der durch das entwickelte Rechenmodell vorgeschlagene Dämmstandard von 20 cm und einer unteren Grenze des sinnvollen Dämmstärkebereiches von 13 cm führt unter den angenommenen internen und solaren Gewinnen zu einer Eliminierung der Heizperiode. In 5 ½ Monaten wird in Kairo bei einer angestrebten sommerlichen Innenraumtemperatur von 24°C ein Kühlbedarf berechnet.

Bedingt durch die hohe solare Einstrahlung empfiehlt das Rechenmodell nur eine geringe Fläche an Fenstern zur Generation solarer Gewinne. Da die empfohlene Fläche nicht ausreichend ist um den Innenraum tagsüber mit Tageslicht zu versorgen sind weitere Fenster vor allem mit Nordausrichtung und gut verschattet vorzusehen. Vor allem größere Fensterflächen führen zu einem hohen Bedarf an thermischer Masse, der ggf. über Latenzwärmespeicher zu decken ist.

Die durch im Gebäude zu erwartende Überhitzung ist im Standort Kairo fast ausschließlich durch solare Einstrahlung bedingt, was eine Kühlung über eine Wärmepumpe in direkter Verbindung mit dezentraler Photovoltaik empfehlenswert macht. Da Überhitzung und Spitzengewinne durch das PV-Modul fast zeitgleich eintreten kann auf eine Speicherung weitestgehend verzichtet werden.

Zur Klimatisierung empfiehlt das Rechenmodell eine luftbasierte Wärmepumpe die aufgrund der geringen Temperaturasymmetrie einen sehr guten COP von über 6 erreicht. Bei einem alternativen verbrennungsbasierten System ist zu beachten, dass die benötigte Kühlenergie sich mit diesem System nicht bereitstellen lässt.

Aufgrund der solaren Einstrahlung als zentralem Standortkriterium haben insbesondere flexibel reagierende baukonstruktive Lösungen zur Verschattung, Luftstromerzeugung und Nachführung von PV-Modulen großes Potential in Bezug auf die Gesamtenergiebilanz am Klimastandort Kairo

4.3.5.6 Tokyo

Hülle					
Optimale Dämmstärke:	223 mm	Resultierender U-Wert:	0,17 W/m²K	Wanddicke:	365 mm (Holzrahmenbau)
Sinnvolle Dämmstärken:	201 mm bis 365 mm	Resultierende U-Werte:	0,19 W/m²K bis 0,11 W/m²K		
Heizgrenze:	14,3 °C	Kühlgrenze:	24 °C		
Haustechnik bei optimaler Hülle					
Wärmetauscher:	ja	Sinnvolle Fenstergrößen:	17m² Süd bis 36m² Süd (2-fach Verglasung)		
Klimatisierung bei optimaler Hülle					
Bestes Klimatisierungssystem	Wärmepumpe (Luft – Luft)				
COP Wasser:	2,81	COP Heizung/ Kühlung:	15,0	COP Gesamt	3,78
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	616 kWh/a	Graue Energie:	375 kWh/a	Gesamt:	991 kWh/a
Alternatives Klimatisierungssystem	Verbrennungsbasiert (Brennwert Gas oder Öl)				
COP Wasser:	0,87	COP Heizung/ Kühlung:	0,98	COP Gesamt	0,9
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	2.502 kWh/a	Graue Energie:	100 kWh/a	Gesamt:	2.602 kWh/a

Kapitel 4 Tabelle 24: Konzept Tokyo

Der Standort Tokyo ist einer von zwei warmen Beispielstandorten innerhalb dieser Arbeit, die sich durch relativ geringe optimale Dämmstärken charakterisiert werden, die hauptsächlich zur Reduzierung des Heizwärmebedarfs dienen. Trotzdem bleibt im Gegensatz zum Standort Sydney ein Restklimatisierungsbedarf. Für Tokyo empfiehlt das entwickelte Rechenmodell eine optimale Dämmstärke von 22 cm bei einer unteren sinnvollen Grenze von 20 cm. Diese Dämmstärken reduzieren die Heizperiode unter den angenommen Bedingungen bei einer Verwendung eines Wärmetauschers fast auf Null.

Das Rechenmodell empfiehlt 2-fach verglaste Fensterflächen von 17m² bis 36m² nach Süden. Orientiert man sich an dem oberen Limit, so würde dies auch für die Versorgung der Innenräume mit Tageslicht ausreichen. Vor dem Hintergrund des solaren Angebotsfaktors ist eine außen liegende flexible Verschattung empfehlenswert, die hohen Außentemperaturen sind jedoch vor allem bedingt durch warme Winde im Sommer. Eine Verschattung ist deshalb sinnvoll, jedoch nicht so zwingend wie in Rom, dem zweiten Beispielstandort für warmes Klima. Auch bei einer optimalen Verschattung entsteht durch die hohen Außentemperaturen an etwa 2 ½ bis 3 Monaten im Jahr ein Kühlbedarf, der nur durch eine deutliche Anhebung der zu tolerierenden Innenraumtemperatur auf etwa 28°C verhindert werden kann.

Als haustechnisches System zur Klimatisierung wird eine luftbasierte Wärmepumpe vorgeschlagen, die aufgrund der über eine lange Zeit des Jahres milden Außentemperatur extrem gute Leistungszahlen erreicht. Das alternative Verbrennungssystem trägt durch Umwandlungsverluste im Sommer am Standort Tokyo zur Überhitzungsproblematik bei und ist nicht in der Lage den Kühlbedarf zu decken.

4.3.5.7 Sydney

Hülle					
Optimale Dämmstärke:	106 mm	Resultierender U-Wert:	0,39 W/m²K	Wanddicke:	248 mm
Sinnvolle Dämmstärken:	45 mm bis	Resultierende	0,72 W/m²K bis	(Holzrahmenbau)	
	221 mm	U-Werte:	0,18 W/m²K		
Heizgrenze:	17,4 °C	Kühlgrenze:	24 °C		
Haustechnik bei optimaler Hülle					
Wärmetauscher:	Wenn Fenster < 10m²	Sinnvolle Fenstergrößen:	4m² Nord bis 10m² Nord (1-fach Vergl. / 2-fach Vergl.)		
Klimatisierung bei optimaler Hülle					
Bestes Klimatisierungssystem	Wärmepumpe (Luft – Luft)				
COP Wasser:	2,76	COP Heizung/ Kühlung:	na	COP Gesamt	2,76
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	548 kWh/a	Graue Energie:	375 kWh/a	Gesamt:	923 kWh/a
Alternatives Klimatisierungssystem	Verbrennungsbasiert (Brennwert Gas oder Öl)				
COP Wasser:	0,85	COP Heizung/ Kühlung:	Na	COP Gesamt	0,85
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	1.790 kWh/a	Graue Energie:	100 kWh/a	Gesamt:	1.890 kWh/a

Kapitel 4 Tabelle 25: Konzept Sydney

Sydney ist der einzige untersuchte Standort innerhalb der vorliegenden Arbeit an dem unter den durch das entwickelte Rechenmodell vorgegebenen Parametern bei einer sommerlichen Innenraumtemperatur von 24°C der laufende Verbrauch auf Null reduziert werden kann. Das Rechenmodell ermittelt hierzu eine optimale Dämmstärke von 11 cm und Fensterflächen von 10 m² bei nördlicher Ausrichtung. Bei der Bilanz des Verglasungstyps erreichen 1-fach und 2-fach Verglasung ähnliche Werte. Aufgrund der besseren Strahlungssymmetrie wird deshalb 2-fach Verglasung empfohlen. Werden bei dem Referenzgebäude weniger als 10m² Fensterflächen realisiert ist für die Eliminierung des Klimatisierungsbedarfs ein Wärmetauscher notwendig. Da realistischer Weise zur Ausnutzung von Tageslicht deutlich mehr Fensterfläche realisiert wird, ist am Beispielstandort Sydney vor allem auf eine flexible Nutzung der solaren Gewinne und eine anpassungsfähige Verschattung zu achten. Insbesondere wenn kein Wärmetauscher installiert wird ist das Innenraumklima aufgrund des hohen solaren Angebotsquotienten nur durch flexibel anzupassende baukonstruktive Lösungen (bewegliche Verschattungselemente, ggf. Fensterläden) zu gewährleisten.

Da kein Klimatisierungsbedarf innerhalb des Rechenmodells vorliegt, reduziert sich der haustechnische Bereich unter diesen Annahmen auf die Bereitstellung von Warmwasser. Hier schlägt das entwickelte Modell eine luftbasierte Wärmepumpe vor. Diese hätte den zusätzlichen Vorteil ggf. auch eine nutzungsbedingte Klimatisierung des Innenraums zu ermöglichen. Der COP in Bezug auf die Warmwasserbereitung liegt mit 2,78 deutlich unter dem üblichen Primärenergiefaktor von Strom. Die Empfehlung der Wärmepumpe ist deshalb nur unter der Voraussetzung einer nachhaltigen Stromgewinnung gültig. Im anderen Fall ist ein verbrennungsbasiertes System zu empfehlen, durch das jedoch die eventuell anfallende sommerliche Kühlung nicht bereitstellen könnte.

4.3.5.8 Rom

Hülle					
Optimale Dämmstärke:	201 mm	Resultierender U-Wert:	0,19 W/m²K	Wanddicke:	343 mm
				(Holzrahmenbau)	
Sinnvolle Dämmstärken:	182 mm bis 310 mm	Resultierende U-Werte:	0,25 W/m²K 0,13 W/m²K		
Heizgrenze:	14,8 °C	Kühlgrenze:	24 °C		
Haustechnik bei optimaler Hülle					
Wärmetauscher:	ja	Sinnvolle Fenstergrößen:	14m² Süd bis 16m² Süd (2-fach Verglasung)		
Klimatisierung bei optimaler Hülle					
Bestes Klimatisierungssystem	Wärmepumpe (Luft – Luft)				
COP Wasser:	2,83	COP Heizung/ Kühlung:	13,33	COP Gesamt	3,75
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	609 kWh/a	Graue Energie:	375 kWh/a	Gesamt:	984 kWh/a
Alternatives Klimatisierungssystem	Verbrennungsbasiert (Brennwert Gas oder Öl)				
COP Wasser:	0,87	COP Heizung/ Kühlung:	0,98	COP Gesamt	0,90
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	2.470 kWh/a	Graue Energie:	100 kWh/a	Gesamt:	2.570 kWh/a

Kapitel 4 Tabelle 26: Konzept Rom

Neben Tokyo ist der Standort Rom der zweite warme Beispielstandort innerhalb dieser Arbeit. Die als optimal ermittelte Dämmstärke beträgt 20 cm. Genau wie am Standort Tokyo liegt die untere Grenze einer sinnvollen Dämmstärke mit 18 cm nur knapp darunter. Ähnlich wie in Tokyo bleibt auch in Rom trotz der ermittelten dämmstärke ein Restklimatisierungsbedarf. Als Folge der geringeren Temperaturamplitude über den Jahresverlauf und dem höheren solaren Angebotsfaktor empfiehlt das entwickelte Rechenmodell für den Standort Rom zwar die gleiche Verglasung wie am Standort Toyko, jedoch mit 14m² bis 16m² deutlich geringere Flächen mit einem zudem deutlich geringeren sinnvollem Spielraum. Auch bei optimaler Verschattung bleibt am Standort Rom durch die hohen sommerlichen Außentemperaturen eine Kühlperiode von knapp 2 Monaten. Generell ist der Standort Rom charakterisiert durch solare Einstrahlung, während die wärmen Temperaturen am Standort Tokyo durch warme Klimaströme unabhängig von hoher direkter Sonneneinstrahlung bedingt sind.

Die empfohlene luftbasierte Wärmepumpe erreicht im Warmen Klima gute Leistungszahlen, obwohl ein überwiegender Teil der zu generierenden Wärmemenge für die Bereitstellung von Warmwasser auf einem relativ hohen Temperaturniveau verwendet wird. Wie an den anderen Standorten mit Kühlbedarf ist das alternative verbrennungsbasierte System aufgrund der mangelnden Möglichkeit zu kühlen und dem zusätzlichen Überhitzungspotential durch Abwärme in der Kühlperiode keine wirkliche Alternative für den Beispielstandort Rom.

4.3.5.9 Rio de Janeiro

Hülle					
Optimale Dämmstärke:	89 mm	Resultierender U-Wert:	0,45 W/m²K	Wanddicke:	231 mm
Sinnvolle Dämmstärken:	20 mm bis	Resultierende	1,15 W/m²K bis	(Holzrahmenbau)	
	163 mm	U-Werte:	0,28 W/m²K		
Heizgrenze:	17,7 °C	Kühlgrenze:	24 °C		
Haustechnik bei optimaler Hülle					
Wärmetauscher:	ja	Sinnvolle Fenstergrößen:	Möglichst wenig (2-fach Verglasung)		
Klimatisierung bei optimaler Hülle					
Bestes Klimatisierungssystem	Wärmepumpe (Luft – Luft)				
COP Wasser:	3,36	COP Heizung/ Kühlung:	13,89	COP Gesamt	4,97
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	539 kWh/a	Graue Energie:	375 kWh/a	Gesamt:	914 kWh/a
Alternatives Klimatisierungssystem	Verbrennungsbasiert (Brennwert Gas oder Öl)				
COP Wasser:	0,88	COP Heizung/ Kühlung:	0,98	COP Gesamt	0,92
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	2.899 kWh/a	Graue Energie:	100 kWh/a	Gesamt:	2.999 kWh/a

Kapitel 4 Tabelle 27: Konzept Rio

Der Beispielstandort Rio de Janeiro ist neben Kinshasa einer von zwei Beispielstandorten die durch extrem hohe Außentemperaturen über einen Großteil des Jahres gekennzeichnet sind. Das als optimal berechnete Referenzgebäude hat am Standort Rio de Janeiro bereits bei vergleichsweise geringen Dämmstärken keinen Heizwärmebedarf mehr. Die gesamte benötigte Heizenergie kann über interne Quellen bereitgestellt werden. In der direkten Folge sind Fenster soweit wie möglich zu vermeiden. Bei der Wahl der Verglasung ist ein guter U-wert hilfreich um eine Überhitzung durch Transmission zu vermeiden. Deutlich wichtiger ist es jedoch die solaren Einträge soweit wie möglich zu verringern, was durch einen angepassten g-wert alleine nicht gewährleistet werden kann. Eine außen liegende Verschattung ist somit zwingend, die aufgrund der fast über das gesamte Jahr drohenden Überhitzung in weiten Teilen statisch ausgeführt werden kann.

Die vorgeschlagene Haustechnik einer luftbasierten Wärmepumpe erreicht aufgrund der hohen Außentemperaturen und der resultierenden geringen Temperaturdifferenz auch bei der Bereitstellung von Warmwasser einen COP von deutlich über 3. Auch bei aktuellen Primärenergiefaktoren ist die alternative verbrennungsbasierte Technologie also am Standort Rio den Janeiro nicht konkurrenzfähig.

4.3.5.10 Kinshasa

Hülle					
Optimale Dämmstärke:	212 mm	Resultierender U-Wert:	0,18 W/m²K	Wanddicke:	354 mm
Sinnvolle Dämmstärken:	149 mm bis	Resultierende	0,3 W/m²K bis	(Holzrahmenbau)	
	295 mm	U-Werte:	0,14 W/m²K		
Heizgrenze:	14,4 °C	Kühlgrenze:	24 °C		
Haustechnik bei optimaler Hülle					
Wärmetauscher:	ja	Sinnvolle Fenstergrößen:	Möglichst wenig (2-fach WSV/ Sonnenschutz)		
Klimatisierung bei optimaler Hülle					
Bestes Klimatisierungssystem	Wärmepumpe (Luft – Luft)				
COP Wasser:	3,86	COP Heizung/ Kühlung:	15,88	COP Gesamt	7,06
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	542 kWh/a	Graue Energie:	375 kWh/a	Gesamt:	917 kWh/a
Alternatives Klimatisierungssystem	Verbrennungsbasiert (Brennwert Gas oder Öl)				
COP Wasser:	0,91	COP Heizung/ Kühlung:	0,98	COP Gesamt	0,95
Energiebedarf des Klimatisierungssystems:	4.010 kWh/a	Graue Energie:	100 kWh/a	Gesamt:	4.110 kWh/a

Kapitel 4 Tabelle 28: Konzept Kinshasa

Der letzte Beispielstandort innerhalb dieser Arbeit weist im Jahresmittel das wärmste Klima auf. Die durch das entwickelte Rechenmodell ermittelten sinnvollen Dämmstärken dienen fast ausschließlich dazu einer Überhitzung durch Transmission entgegen zu wirken. Eine Heizperiode existiert bereits bei minimaler Dämmung nicht mehr. An etwa 9 Monaten besteht ein Kühlbedarf, der durch intern anfallende Lasten die kaum ohne Haustechnik abgeführt werden kann definiert wird. Der Kühlenergiebedarf verläuft innerhalb des Rechenmodells fast proportional zu den internen Lasten. Auch der empfohlene Wärmetauscher minimiert in erster Linie den Wärmeeintrag durch warme Außenluft.

In der Folge sind Fenster wenn möglich zu vermeiden. Im Gegensatz zum Beispielstandort Rio de Janeiro ist ein guter U-Wert der Verglasung in Kinshasa deutlich relevanter. Zu wählen ist in Kinshasa unter den zugrunde liegenden Parametern also eine gute Verglasung (2-fach WSV) mit einer maximalen Reduzierung des solaren Energieeintrags (Sonnenschutzverglasung + möglichst optimale Verschattung. Am Standort Rio de Janeiro würde eine normale 2-fach Verglasung vom U-wert her völlig ausreichen.

Ähnlich wie in Rio de Janeiro erreicht aufgrund der hohen Außentemperaturen die empfohlene luftbasierte Wärmepumpe Leistungszahlen, die eine verbrennungsbasierte Alternative nicht erreichen kann.

4.4 Technologien zur Gewinnung von Energieträgern

4.4.1 Einführung und Definition

Nach der Berechnung der für die Deckung des Restklimatisierungsbedarfs notwendigen Energieträger wird abschließend ermittelt welche Voraussetzungen an den Beispielstandorten für ihre lokale Erzeugung bestehen. Aus der großen Anzahl möglicher Verfahren werden innerhalb dieser Arbeit nur zwei betrachtet:

- Die Erzeugung von Strom durch Photovoltaikzellen
- Die Erzeugung von Biomasse als Basis für die Gewinnung von Biogas, Bioöl und Holzschnitzel/-pellets. Betrachtet werden Bäume als Beispiel für eine C4 Pflanze und Mais als Beispiel für eine C3 Pflanze.

Insbesondere wird aufgrund der in Kapitel eins beschriebenen Problematik von Rohstoffverknappung auf die Betrachtung der Verwendungsmöglichkeiten bestehender fossiler Brennstoffe verzichtet. Zukunftsorientiert betrachtet müssen diese Energieträger, soweit sie sinnvoll verwendet werden können, aus nachhaltigem Anbau gewonnen werden.

Den Schwerpunkt der Berechnungen innerhalb dieses Kapitels bildet die Berechnung des aus der Gewinnung des jeweiligen Energieträgers resultierenden Flächenbedarfs vor Ort. Anhand der benötigten Fläche wird abschließend ermittelt, welches Konzept zur Energieversorgung am plausibelsten erscheint.

Die Ausgangslage für die Berechnungen bilden die unter 4.3 ermittelten Bedarfsdaten.

4.4.2 Berechnungsmodell für Photovoltaik

Photovoltaikmodule wandeln Sonnenenergie in Gleichstrom um. Dieser wird anschließend entweder in Wechselstrom umgewandelt und in ein vorhandenes Netz eingespeist oder vor Ort chemisch gespeichert. Da die Speichermöglichkeiten für Strom vergleichsweise verlustarm sind, liegt es meist im Interesse des Betreibers über das gesamte Jahr in der Summe möglichst viel Strom zu erzeugen statt eine am laufenden Verbrauch orientierte Gewinnung anzustreben. Trotz einiger langfristig absehbarer Einschränkungen für diese Sichtweise durch Beschränkungen der Speichermedien gehen die folgenden Überlegungen von einer Maximierung der jährlichen Gewinne als Zielsetzung aus. Speicherverluste werden nicht angesetzt, da mittelfristig nicht von einer ausschließlichen dezentralen Energieversorgung ausgegangen werden kann und somit andere Stromquellen über das öffentliche Netz zum Ausgleich herangezogen werden können.

Auf die Stromerzeugung des Photovoltaikelementes wirkt sich eine hohe solare Einstrahlung positiv, eine hohe Temperatur jedoch negativ aus. In Bezug auf die solare Einstrahlung ist zudem zwischen direkter und diffuser Einstrahlung zu unterscheiden, da verschiedene Zellen diese unterschiedlich gut in Strom umwandeln können.

Das innerhalb der Arbeit entwickelte Rechenmodell erlaubt die Eingabe von Temperatur, direkter und diffuser Strahlung. Auf der Basis dieser Eingaben wird der Zelltyp mit der besten Energiebilanz über eine definierte Lebensdauer ermittelt.

Neben Ergebnissen für die etablierten Photovoltaikzellen ist die freie Eingabe eines PV-Elementes möglich.

4.4.2.1 Standortfaktoren

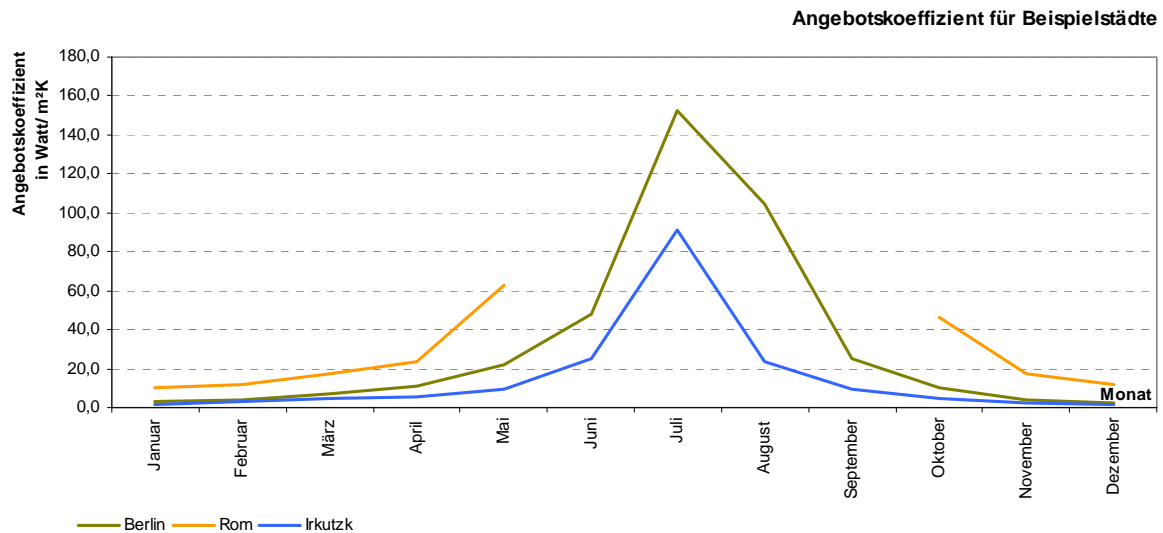
Für die Gewinnung von Strom durch Photovoltaik ist die solare Einstrahlung der zentrale Standortfaktor. Neben der direkten Auswirkung der Strahlungsintensität ist die Temperatur abmindernd wirksam. Für die Beschreibung der standortabhängigen Bilanz von Photovoltaikzellen ist aufgrund der Zusammenhänge von Strahlungsintensität und Temperatur ist zumindest eine monatliche Bilanzierung sinnvoll.

Generell ist ein Standort für Photovoltaik besonders geeignet wenn er eine kalte Temperatur und eine hohe solare Strahlung aufweist. Zusätzlich ist eine möglichst geringe Air Mass anzustreben. Diese Kombination von Eigenschaften ist auf der Erde extrem selten. Die wenigen derartigen Orte sind auf Hochplateaus und Bergen zu finden und aufgrund ihrer Infrastruktur fast alle nicht, oder sehr spärlich besiedelt.

Für die dichter besiedelten Gebiete, die nicht ganz so ideale Rahmenbedingungen aufweisen, ist zu klären welche Faktoren prägender sind als andere.

Die bereits unter 4.1.2.1 gezeigte Grafik der solaren Angebotskoeffizienten zeigt die klare Dominanz der solaren Strahlung. Trotz der unmittelbaren Verknüpfung von hoher solarer Strahlung und hoher Temperatur steigt die solare Strahlung viel stärker als die Lufttemperatur.

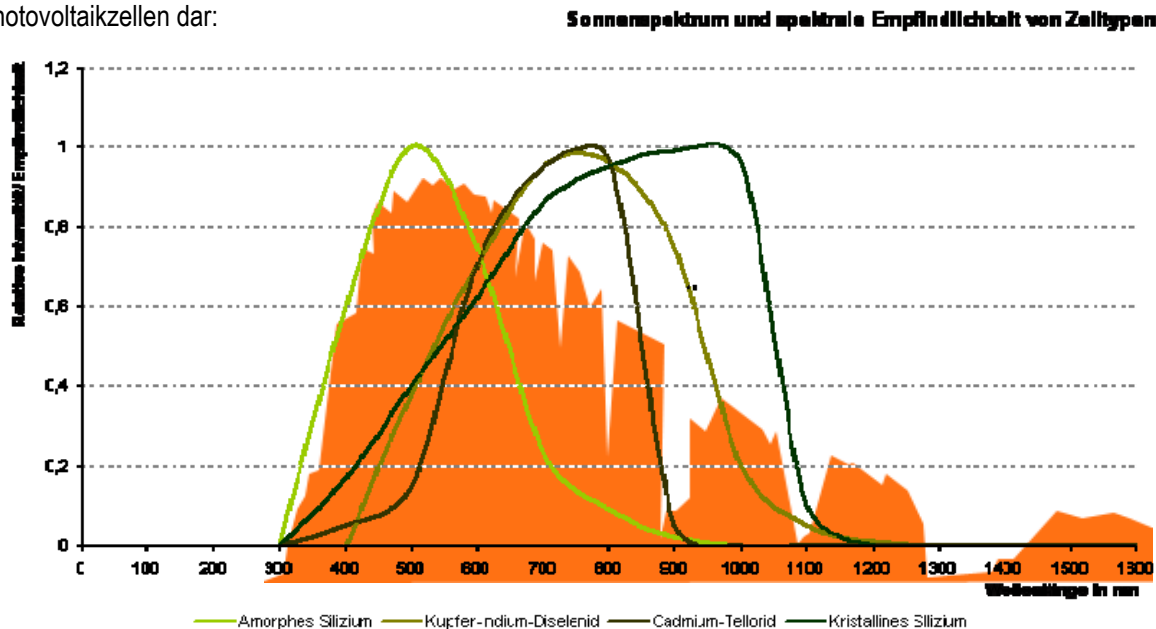
Ein erster Anhaltspunkt für das Potential von Photovoltaikzellen ist deshalb im jährlichen solaren Angebot zu sehen. Die Air Mass ist in den Daten der entsprechenden Datenbanken (Meteonorm) bereits enthalten. Die Temperatur ist relevant, aber gegenüber der solaren Strahlung sekundär in ihrer Bedeutung für die Bilanz von Photovoltaikzellen.



Kapitel 4 Grafik 8: Angebotskoeffizienten für die Beispielstandorte

4.4.2.2 Technologiefaktoren

Die folgende Grafik stellt das solare Angebot der Sonne und die spektrale Empfindlichkeit der verbreiteten Photovoltaikzellen dar:



Kapitel 4 Grafik 9: Sonnenspektrum und spektrale Empfindlichkeit von Zelltypen

Wie klar zu erkennen ist, kann keine der verschiedenen Zelltypen den energiereichsten Anteil der solaren Einstrahlung optimal nutzen. Die verschiedenen Solarzellen wandeln in Abhängigkeit von den Verwendung findenden Materialien und Aufbauten unterschiedliche Wellenlängen effektiv in Strom um. Neben den resultierenden unterschiedlichen Wirkungsgraden der direkten Strahlung ergeben sich durch die für die

Stromgewinnung relevanten Wellenlängen unterschiedliche Ausnutzungsgrade der diffusen Strahlung, die gegenüber der direkten Strahlung in der Wellenlänge abweicht.

Durch Löcher im Solarspektrum, verursacht durch Reflektion und Absorption der Sonnenstrahlen durch atmosphärische Gase, ist die Stromgewinnung in bestimmten Wellenlänge stark von der Strecke der Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre abhängig. Amorphes Silizium beispielsweise generiert seine Gewinne in einem Spektralbereich, der fast keine Löcher durch Reflektion und Absorption aufweist. Ein solcher Kollektor weist demnach eine geringere Empfindlichkeit in Bezug auf die Air Mass auf als dies beispielsweise bei kristallinem Silizium der Fall ist.

Der letzte relevante Technologiefaktor ist die Abnahme des Wirkungsgrades der verschiedenen Photovoltaikzellen bei hohen Temperaturen. Jeder Zellentyp ist gekennzeichnet durch eine Schwellentemperatur und einen Leistungskoeffizienten. Einige Zelltypen, wie z.B. kristalline Siliziumzellen, sind deutlich empfindlicher für hohe Temperaturen als andere Zelltypen.

Aufgrund der vielfältigen Abhängigkeiten werden die Wirkungsgrade der Zellen unter definierten Rahmenbedingungen ermittelt.

Die Werte beziehen sich auf STC-Rahmenbedingungen (von engl. Standard Test Conditions) von 1000 Watt solarer Strahlung bei anliegender Temperatur von 25°C und 1,5 Air Mass. Der Wirkungsgrad ist ggf. in der Produktbeschreibung zu überprüfen, da produktionsbedingt die einzelnen Zellen noch deutlich von den theoretisch möglichen Werten entfernt sind.

Die Datenlage über das Verhalten des Wirkungsgrades in Abhängigkeit der beschriebenen Parameter ist mangelhaft. Aus diesem Grund werden innerhalb der Berechnungen Mittelwerte diverser Produktinformationen verwendet [6][7][8].

Die folgende Tabelle listet die relevanten Daten der untersuchten Zelltypen auf.

Photovoltaikzellentyp	Wirkungsgrad Praktisch Zelle (Modul)	Wirkungsgrad theoretisch Zelle	Graue Energie in kWh/m ²	Leistungskoeffizient in % pro Grad Celsius über 25°C	Angenommene Wirkungsgrade (direkt/ diffus)
Kristalline Zellen					
Monokristalines Silizium	18 % (15 %)	24,7 %	1850 - 2550	-0,38 bis -0,51 (-0,41)	(20% / 11%)
Polykristalines Silizium	15 % (13 %)	19,8 %	1410 - 1530	-0,38 bis -0,5 (-0,41)	(16% / 10%)
Polykristalline Bandsiliziumzellen*	14 % (13 %)	19,7 %	k.A.	k.A.	(16% / 10%)
Dünnschichtzellen					
Amorphes Silizium	10,5 % (7,5 %)	13 %	480 - 500	-0,12 bis -0,23 (-0,18)	(5,5% / 10%)
Kupfer-Indium-Diselenid- Zellen (CIS)	14 % (10 %)	18,8 %	950 - 1000	Ca. - 0,36	(10% / 10%)
Cadmium-Tellurid-Zellen (CdTe)	10 % (9 %)	16,4 %	500 - 600	-0,2 bis -0,6 (-0,3)	(9% / 7%)
Farbstoffzellen	7% (5%)	12 %	k.A.	k.A.	(3% / 11%)

Kapitel 4 Tabelle 29: Technische Daten nach Zelltyp Quelle: www.solarinfo.lu, www.solarintegration.de, diverse Herstellerangaben

4.4.2.3 Rechenmodell zur Bilanzierung von Photovoltaikzellen

Das entwickelte Rechenmodell ermittelt den erzeugten Strom für direkte und diffuse Strahlung. Wirkungsgrad der Zellen lassen sich für beide Strahlungsbestandteile gesondert verändern. Auf der Basis von Tagestemperaturspannung und monatlicher Mitteltemperatur wird die Minderung durch Erwärmung der Zellen ermittelt.

Die Berechnung basiert in hohem Maß auf den Berechnungsmodellen der solaren Einstrahlung durch die verwendeten Klimadatenbanken. Innerhalb dieser Berechnung erfolgt auch die Berücksichtigung von Ausrichtung und Neigung der Photovoltaikzelle.

Eine exakte mathematische Beschreibung der zelltypspezifischen Stromgewinnung erfolgt innerhalb des Rechenmodells nicht. Der Fokus liegt auf der standortabhängigen Beschreibung des Wirkungsgrades.

Das Ergebnis der Berechnungen besteht in den standortspezifischen Bilanzen der untersuchten Zelltypen in Abhängigkeit des Bilanzierungszeitraumes.

Das Ergebnis der Berechnungen für die Beispielstandorte bei optimaler Ausrichtung im Folgenden:

	Berlin (Süden)	Helsinki (Süden)	Moskau (Süden)	Irkutsk (Süden)	Kairo (Süden)	Tokyo (Süden)	Sydney (Norden)	Rom (Süden)	Rio (Norden)	Kinshasa (Norden)
Optimale Neigung zur Horizontalen	33°-43° 35°	36°-49° 41°	35°-46° 40°	42°-49° 45°	25°-32° 28°	31°-33° 32°	29°-33° 31°	32°-40° 36°	21°-25° 23°	-3°-9° 3°
Monokristalines Silizium	1364	1347	1135	2195	4700	1382	3123	3240	2851	2301
Polykristalines Silizium	1581	1579	1411	2301	4419	1642	3103	3197	2894	2443
Amorphes Silizium	1243	1338	1334	1715	2714	1613	2228	2233	2287	2180
Kupfer-Indium-Diselenid-Zellen (CIS)	1381	1431	1348	1971	3489	1601	2617	2663	2542	2267
Cadmium-Tellurid-Zellen (CdTe)	1572	1616	1542	2102	3486	1773	2689	2732	2630	2387

Kapitel 4 Tabelle 30: Energiebilanz Photovoltaikzellen optimal ausgerichtet

Für fixierte Südfassaden (Nordfassade für Sydney) und eine Neigung von 90° ergeben sich die folgenden Ergebnisse:

	Berlin (Süden)	Helsinki (Süden)	Moskau (Süden)	Irkutsk (Süden)	Kairo (Süden)	Tokyo (Süden)	Sydney (Norden)	Rom (Süden)	Rio (Norden)	Kinshasa (Norden)
Neigung	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
Monokristalines Silizium	345	452	250	1173	1557	179	1025	1367	486	-532
Polykristalines Silizium	713	816	651	1431	1771	600	1320	1607	872	14
Amorphes Silizium	783	925	889	1257	1533	942	1311	1436	1157	771
Kupfer-Indium-Diselenid-Zellen (CIS)	728	852	754	1318	1617	757	1291	1493	993	383
Cadmium-Tellurid-Zellen (CdTe)	836	913	818	1299	1535	801	1250	1427	989	461

Kapitel 4 Tabelle 31: Energiebilanz Photovoltaikzellen Fassade

Alle Zelltypen erzielen an allen Beispielstandorten nach zwanzig Jahren eine positive Bilanz. Bei optimaler Ausrichtung (Süden/ Norden) aber senkrechter (nicht optimaler) Neigung erzielen alle Zelltypen bis auf die monokristallinen Siliziumzellen in Kinshasa eine positive Bilanz.

Je ungünstiger das solare Angebot und die Ausrichtung umso besser schneiden die Zelltypen mit niedrigem Produktionsaufwand und resultierender Grauer Energie ab. Die hochwertigen monokristallinen Zellen erfordern ein extrem hohes solares Angebot um mit der anderen Zelltyp in der 20 Jahre Bilanz konkurrenzfähig zu sein.

Die Ergebnisse der Berechnungen decken sich nicht mit den ökonomischen Berechnungen. Die etablierten Subventionsmodelle führen zu einer Verschiebung zugunsten der hochwertigen Zelltypen. Die durch die Zellen gewonnene Energie wird anders vergütet als die verwendete Herstellungsenergie. Langfristig ist ein derartiges Modell genauso unökologisch wie die Annahme einer kostenlosen Ressource Umwelt. Es verfälscht grundsätzliche Zusammenhänge und verhindert einen sinnvollen Einsatz von Technologie. Gefördert wird jedoch die Entwicklung und Verbesserung von Photovoltaik-Technologie, was aufgrund der aktuellen Differenz von theoretischen Wirkungsgraden im Labor und praktischen Wirkungsgraden von marktfähigen Zellen wünschenswert ist.

Bevor die Bedeutung der Ergebnisse für das Referenzgebäude diskutiert wird, soll im Folgenden die nachhaltige Gewinnung von Biomasse betrachtet werden.

4.4.3 Nachhaltige Gewinnung von Biomasse

Die Erzeugung von Wärme durch Verbrennungsprozesse basiert ohne Ausnahme auf Energieträgern deren Erzeugungszyklus letzten Endes auf die Ausnutzung von Sonnenstrahlung zurückgeführt werden kann. Im Gegensatz zur direkten Ausnutzung solarer Strahlung in Abschnitt 4.4.2 sind die zu betrachtenden Lebenszyklen jedoch deutlich länger komplexer. Auf dem aktuellen Stand der Technik lassen sich Prozesse für die erdgeschichtlich enorme Zeiträume notwendig waren jedoch auch beschleunigen. Es besteht folglich die Möglichkeit durch eine nachhaltige Erzeugung dieser Energieträger auch mit Verbrennungsbasierten Technologien eine gute Gesamtbilanz zu erzielen.

Beispiele hierfür sind die zunehmende Nutzung von Holzpelletanlagen in Deutschland, der Schweiz und Dänemark oder das deutlich ambitioniertere Program Schwedens einer Orientierung zu Alkohol aus nachhaltiger Forstwirtschaft als zentralem Energieträger[9]

Die folgende Tabelle listet die innerhalb dieses Abschnittes behandelten Energieträger und die zu ihrer Gewinnung Verwendung findenden Prozesse auf:

Energieträger	Rohstoff	Angewandeter Prozess
Alkohol	Biomasse (pflanzlich)	
öl	Biomasse (pflanzlich)	Flashpyrolyse
Gas	Biomasse (pflanzlich/ tierisch)	Biogasgewinnung
Kohle	Biomasse (pflanzlich)	Verkohlung
Holzpellets	Holz	Trocknung/ Verpressung
Holzschnitzel	Holz	Trocknung/ Zerkleinseln

Kapitel 4 Tabelle 32: mögliche Regenerative Energieträger

Da alle aufgelisteten Prozesse in letzter Konsequenz auf den Vorgang der Photosynthese zurückgeführt werden können ist der Wirkungsgrad dieses Vorgangs die Ausgangsbasis eines auf die benötigte Fläche bezogenen Wirkungsgrades. Die auf Pflanzen auftreffende solare Strahlung wird wie folgt von diesen genutzt:



Als allgemeine Formulierungen stehen hier H_2A für das Reduktans und $<\text{CH}_2\text{O}>$ für die gebildeten energiereichen organischen Stoffe.

Labormessungen belegen einen Wirkungsgrad der Photosynthese von 20,0 Prozent für blaues und 35,5 Prozent für rotes Licht. Im Mittel ergibt sich aufgrund der Strahlungssymmetrie unserer Sonne ein Wirkungsgrad der Photosynthese von etwa 23 %

Die Effektivität der Photosynthese bezogen auf das gesamte auf die Erde einfallende Sonnenlicht stellt sich wie folgt dar [10]:

Gesamteinstrahlung	100%
davon Energie der Einstrahlung im für die Photosynthese nutzbaren Wellenlängenbereich ($\lambda = 360\text{--}720 \text{ nm}$)	43%
davon 80 % Absorption durch Landpflanzen bei optimaler Blattstellung	34%
davon entsprechend dem Wirkungsgrad der Photosynthese 23 % genutzt	7,9%
33 % Verlust durch Zellatmung, also 67 % Nettoausbeute	5,3%

Die tatsächliche Effektivität unter Feldbedingungen ist jedoch aus verschiedenen Gründen geringer, unter anderem wegen suboptimaler Kohlenstoffdioxid-Konzentration:

über kurze Zeit je nach Pflanze (Biomasseproduktion 11 bis 54 g /m ² Tag)	1,4 bis 4,3 %
über ein ganzes Jahr je nach Pflanze und geografischer Lage	0,1 bis 2,4 %

Kapitel 4 Tabelle 33: mögliche Regenerative Energieträger

Es wird deutlich, dass in Bezug auf einen realistischen Wirkungsgrad die Gewinnung von Biomasse den bereits jetzt erhältlichen Photovoltaikmodulen deutlich unterlegen ist. Hinzu kommen weitere Verluste durch die Umwandlung zum verwendeten Energieträger (Veredelung). Das Wachstum von Pflanzen ist jedoch in hohem Maße standortabhängig, so dass die Relation zur konkurrierenden Photovoltaik im Folgenden differenzierter betrachtet werden muss.

4.4.3.1 Standortfaktoren

Eine Reihe von Standortfaktoren hat Auswirkungen auf das Wachstum von Biomasse [11]:

- Wellenlänge: Das Chlorophyll setzt hauptsächlich langwelliges (rotes) und kurzwelliges (blaues) Licht in chemische Energie um. Durch akzessorische Pigmente wie Carotinoide und Phycobiline kann das Spektrum der nutzbaren Wellenlängen erweitert werden.
- Strahlungsmenge: Die Photosynthese beginnt erst ab einem Schwellenwert, der bei Schattenpflanzen niedriger als bei Sonnenpflanzen ist, und hat bei ungefähr 230 W/m² ihr Optimum.
- Temperatur: Das Optimum für die Photosynthese bei Starklicht liegt zwischen 20 und 35 °C (variiert von Art zu Art). Danach fällt die Photosyntheserate stark ab, bis sie bei ungefähr 50°C zum Erliegen kommt, was an der Degenerierung der beteiligten Enzyme liegt. Unterhalb von 5°C findet praktisch kein Wachstum statt. Der Einfluss von Temperatur zwischen 5°C und 50°C ist allerdings sehr gering.
- Kohlenstoffdioxid: Die Photosynthese hat bei einem CO₂-Gehalt zwischen 0,1 und 1,0 Vol.-% ihr Optimum. Luft hat nur einen Gehalt von 0,03 Vol.-%, weshalb Pflanzen unter ihrem Optimum arbeiten. Wäre die Konzentration höher, würden Pflanzen schneller wachsen und schneller O₂ freisetzen. (Manche Gärtner „begasen“ ihre Gewächshäuser mit Kohlenstoffdioxid).
- Wasser: Bei Trockenheit schließen Pflanzen ihre Spaltöffnung. Dadurch wird die Verdunstungsrate verringert und die Pflanze vor einer Austrocknung geschützt. Dies stoppt jedoch den Gasaustausch der Pflanze und als Folge dessen kommt die Photosynthese zum Erliegen.

Drei Standortfaktoren definieren den für die Gewinnung von Biomasse notwendigen Flächenbedarf im Kern [12]:

- Die vorhandene solare Einstrahlung mittels der die Pflanzen über Photosynthese Biomasse bilden und Kohlenstoff binden.
- Das Wasserangebot, damit die für die Photosynthese erforderlichen Prozesse ablaufen können und Nährstoffe aus dem Boden aufgenommen werden können.
- Die Temperatur, da Photosynthese nur zwischen 5°C und 50°C stattfindet.

Alle drei Faktoren können für alle zehn Beispielstandorte den verwendeten meteorologischen Datenbanken entnommen werden. Es wird somit davon ausgegangen, dass keine künstliche Bewässerung erfolgt.

4.4.3.2 Technologiefaktoren

Mit zwei Maßnahmen kann vor Ort auf die jeweiligen Standortbedingungen reagiert werden

- Die Wahl eines, abhängig von Strahlungs- und Wasserangebot, möglichst geeigneten Pflanzentyps. Eine schnell wachsende Pflanze braucht viel Sonne und Wasser. Ist nur eine Voraussetzung vorhanden ist die Verwendung langsam wachsender Pflanzen sinnvoller, da sie erheblich effizienter weiterverarbeitet werden können.
- Die Wahl einer in Kombination mit der Pflanze möglichst verlustfreien Veredelung. Unterschiedliche Pflanzen können bei der Umwandlung in Biogas einen stark abweichenden Ertrag in Relation zur reinen Biomasse erzeugen. Extrem effizient ist die reine Verbrennung von Holz (siehe die folgende Tabelle).

Die in Frage kommenden Pflanzen können nach zwei Kriterien in Bezug auf ihre Verwendbarkeit bewertet werden. Relevant ist wie viel Energie der solaren Einstrahlung zur Erzeugung von Biomasse verwendet wird und wie viel Wasser hierzu benötigt wird. Betrachtet werden in der vorliegenden Arbeit Mais als schnell wachsende Pflanze und ein mittlerer Wert für Bäume als langsam wachsende Pflanze.

Die folgende Tabelle listet die innerhalb dieser Arbeit verwendeten Daten auf:

	Mindesttemperatur	Maximaltemperatur	Biomasse in Gramm/ Wattmonat	Benötigte Wasser Menge pro Gramm Biomasse
Mais (C4-Pflanze)	+ 5 °C (opt. 25°C)	+ 50 °C (opt. 35°C)	13	46 g – 50 g
Baum (C3-Pflanze)	+ 5 °C (opt. 15 °C)	+ 50 °C (opt. 25°C)	2,8	100 g – 150 g

Kapitel 4 Tabelle 34: Daten C4 und C3 Pflanzen

Während Holz im Prinzip direkt zur Wärmegewinnung verbrannt werden kann ist bei der Erzeugung von Biomasse durch Maisanbau eine nachträgliche Veredelung notwendig die folgende Tabelle zeigt den Biogasertrag unterschiedlicher Pflanzen. Mais wurde für die Arbeit aufgrund des hohen Wirkungsgrades und der guten Datenlage gewählt.

Material	Biogasertrag (FM = Frischmasse)	Methangehalt
Maissilage	202 m³/t FM	52 %
Grassilage	172 m³/t FM	54 %
Roggen-GPS	163 m³/t FM	52 %
Futtermasse	111 m³/t FM	51 %
Bioabfall (z.B. Laub/ Holzreste)	100 m³/t FM	61 %
Hühnermist	80 m³/t FM	60%
Zuckerrübenschnitzel	67 m³/t FM	72 %
Schweinemist	60 m³/t FM	60 %
Rindermist	45 m³/t FM	60 %
Getreideschlempe	40 m³/t FM	61 %
Schweinegülle	28 m³/t FM	65 %
Rindergülle	25 m³/t FM	60 %

Kapitel 4 Tabelle 35: Biogasertrag nach Biomasse

Material	Energieertrag Pellets	Energieertrag Holzschnitzel
Durchschnittsbaum	202 kWh/t FM	202 kWh/t FM

Kapitel 4 Tabelle 36: Energieertrag Holz

Insbesondere die Daten bezüglich der aus der Veredlung von Biomasse durch Infrastruktur resultierenden Grauen Energie werden aktuell kritisch diskutiert. [13] [14]. Die Abhängigkeit der Daten von Faktoren wie der Organisation (dezentral/ zentral) und der Menge der bearbeiteten Biomasse und der Größe der betreibenden Werke ergeben eine bedeutende Unschärfe. Die Größe dieser Ungenauigkeit wird je nach Quelle mit 20% bis 50% beziffert.

Deutlich und allgemein akzeptiert ist jedoch, dass für Holzreste die Weiterverarbeitung in Pellets und Holzschnitzel den geringsten Energieverlust durch Veredelungsmaßnahmen bedeuten. Holzschnitzel sind unter diesem Gesichtspunkt den Pellets leicht überlegen, weisen aber im Gegenzug mit 4,0 kWh/kg gegenüber Pellets mit 5 kWh/kg die geringere Energiedichte auf. Es resultiert ein höherer Platzbedarf.

Solange die Menge der Holzabfälle, die benötigte Menge an Heizenergie nicht übertrifft bietet sich eine direkte Nutzung als Brennstoff an. Eine Verölung oder die Gewinnung von Alkohol oder Gas ist nur bei einem enormen Überschuss (als Beispiel die aktuelle Strategie zu nachhaltigen Energieversorgung in Schweden, wo auf einen Einwohner etwa 30.000m² Wald kommen) oder bei der Nutzung von Rohstoffen an, die nicht direkt verbrannt werden können. Im Fall einer Veredelung zu Gas, Öl oder Alkohol kann Biomasse wie oben angeführt auch in Maschinen und Fahrzeugen zum Einsatz kommen, ohne dass schwerwiegende Veränderungen der bestehenden Infrastrukturen erfolgen müssten.

Diese Aussagen entsprechen dem aktuellen Erkenntnisstand und finden allgemein Anwendung. Für die Betrachtungen innerhalb dieser Arbeit wird für die Biomasse des Laubbaumes eine Verarbeitung zu Holzpellets angenommen und für Mais eine Verarbeitung zu Gas. Alternative Varianten lassen sich innerhalb des Rechenmodells frei eingeben.

4.4.3.3 Rechenmodelle

Über die getroffenen einheitlichen Annahmen in Bezug auf die Qualität des Bodens und der benötigten Nährstoffe kann über das erstellte Rechenmodell auf der Basis etablierter Modelle die jährlich erzeugte Biomasse durch Laubbäume und Mais ermittelt werden.

Die Ausbeute durch abweichende Pflanzen ist möglich, erfordert jedoch weitere Eingaben innerhalb des Modells und wird in der Betrachtung für das Referenzgebäude nicht abgebildet.

Das Rechenmodell ermittelt über das solare Strahlungsangebot und die gegebenen mittleren Niederschläge auf Basis einer Monatsbilanz die erzeugte Biomasse für die beiden Beispielpflanzen. Außerhalb der optimalen Temperaturbedingungen wird zusätzlich ein Abschlagsfaktor von 0,9 angesetzt.

Die für die Gewinnung von Biomasse notwendige Infrastruktur (Biogasanlagen, Strassen, Maschinen) wird mit einem Faktor von 0,8 auf die gewonnene Energie berücksichtigt, einem Wert der den aktuellen Studien des Bundesumweltamtes zum Wirkungsgrad von Biogasanlagen und Holzpelletgewinnung entspricht [xx]

4.4.3.4 Berechnung für das Referenzgebäude

Die folgende Tabelle listet die pro Quadratmeter an den Beispielstandorten in 20 Jahren erzeugte Energiebilanz mit der optimalen Photovoltaikzelle bei optimaler Ausrichtung auf:

	Berlin (Süden)	Helsinki (Süden)	Moskau (Süden)	Irkutsk (Süden)	Kairo (Süden)	Tokyo (Süden)	Sydney (Norden)	Rom (Süden)	Rio (Norden)	Kinshasa (Norden)
Optimale Neigung zur Horizontalen	33°-43° 35°	36°-49° 41°	35°-46° 40°	42°-49° 45°	25°-32° 28°	31°-33° 32°	29°-33° 31°	32°-40° 36°	21°-25° 23°	-3°-9° 3°
Energiegewinn in kWh/m²	1581	1616	1542	2301	4700	1773	3123	3240	2894	2443

Kapitel 4 Tabelle 37: Energiegewinn durch Photovoltaik in der 20 Jahresbilanz pro m²

Im Vergleich zu den Photovoltaikzellen die an den Beispielstandorten bei künstlicher Bewässerung maximal erzeugbare Biomasse (in Kg/m²a):

	Berlin (Süden)	Helsinki (Süden)	Moskau (Süden)	Irkutsk (Süden)	Kairo (Süden)	Tokyo (Süden)	Sydney (Norden)	Rom (Süden)	Rio (Norden)	Kinshasa (Norden)
Mais (C4-Pflanze)	15,35	13,21	11,84	12,16	36,66	17,89	28,69	27,74	30,13	29,81
Baum (C3-Pflanze)	2,69	2,32	2,08	2,13	6,43	3,14	5,03	4,87	5,29	5,23

Kapitel 4 Tabelle 37: Theoretische Biomasse nach solarer Strahlung

Limitiert man innerhalb des Rechenmodells die Bewässerung auf die natürlichen Niederschläge wird deutlich, dass hier der beschränkende Faktor für die Gewinnung von Biomasse zu sehen ist (in Kg/m²a):

	Berlin (Süden)	Helsinki (Süden)	Moskau (Süden)	Irkutsk (Süden)	Kairo (Süden)	Tokyo (Süden)	Sydney (Norden)	Rom (Süden)	Rio (Norden)	Kinshasa (Norden)
Mais (C4-Pflanze)	15,35	13,21	11,84	12,16	36,66	17,89	28,69	27,74	30,13	29,81
Baum (C3-Pflanze)	2,69	2,32	2,08	2,13	6,43	3,14	5,03	4,87	5,29	5,23

Kapitel 4 Tabelle 38: Praktische Biomasse

Für diese realistisch zu gewinnenden Biomassen ergibt sich die folgende produzierte Energie in 20 Jahren (in kWh/m²):

	Berlin (Süden)	Helsinki (Süden)	Moskau (Süden)	Irkutsk (Süden)	Kairo (Süden)	Tokyo (Süden)	Sydney (Norden)	Rom (Süden)	Rio (Norden)	Kinshasa (Norden)
Mais (C4-Pflanze)	247	209	239	97	16	578	650	436	621	630
Baum (C3-Pflanze)	134	99	108	56	9	176	272	189	251	201

Kapitel 4 Tabelle 39: Praktische Energiegewinnung durch Biomasse

Es ist deutlich erkennbar, dass die Photovoltaik der Gewinnung von Biomasse in Bezug auf die Effizienz deutlich überlegen ist. Die folgende Tabelle bildet den Faktor ab, um den ein Quadratmeter Photovoltaik mehr Energie produziert als Mais:

	Berlin (Süden)	Helsinki (Süden)	Moskau (Süden)	Irkutsk (Süden)	Kairo (Süden)	Tokyo (Süden)	Sydney (Norden)	Rom (Süden)	Rio (Norden)	Kinshasa (Norden)
Faktor (PV/Biomasse)	6,40	7,72	6,46	23,73	302,96	3,07	4,81	7,43	4,66	3,88

Kapitel 4 Tabelle 40: Faktor (Photovoltaik/ Biomasse C4-Pflanze)

Neben der Möglichkeit einer platzsparenderen Gewinnung von Energie durch Photovoltaik ist zu berücksichtigen, dass über die Zellen Strom produziert wird, während die in der Biomasse gespeicherte Energie nur in Form von Wärmeenergie abgerufen werden kann. Über eine Kraft-Wärme Kopplung wäre es im Idealfall möglich ein Drittel der Energie in Form von Elektrizität zu gewinnen. Da die industrialisierten Gesellschaften sich zunehmend stromorientiert zeigen, ist hier ein weiterer Vorteil der direkten Stromgewinnung zu sehen. Die Gewinnung von Energie durch nachhaltigen Anbau von Biomasse weist die oben berechneten Werte nur dann auf, wenn die Wärme aus der Kraft-Wärme Kopplung auch komplett (und verlustfrei – was unrealistisch ist) genutzt werden kann. Die Beispielstandorte an denen besonders viel Biomasse gewonnen werden kann, weisen im Referenzgebäude jedoch keinen Wärmebedarf, sondern eher einen Kühlbedarf auf. Dieser wäre nur über Strom und ein strombasiertes haustechnisches System zu decken.

Auch die Graue Energie in den verwendeten Baustoffen ist in mechanische Energie und Wärmeenergie zu differenzieren. Die mechanische Energie erfordert Strom, so dass die Graue Energie über Biomasse wiederum nur mit Verlusten aufgebracht werden könnte. Ist die Hälfte der Grauen Energie in den Referenzgebäuden mechanischer Natur und kann sämtliche Wärme aus der Stromgewinnung innerhalb der Prozesse nutzbar gemacht werden resultiert für die Biomasse bei der Produktion der Baustoffe ein weiterer Faktor von 1,5 auf die benötigte Fläche (die Hälfte des Stroms deckt den kompletten Wärmebedarf, die zweite Hälfte verursacht noch einmal den gleichen Wärmebetrag). Diese Annahmen müssen als extrem günstig für die Biomasse gelten. Reale Werte des Bundesumweltamtes tendieren zu einem Faktor von 2 bis 2,5.

Soll das Referenzgebäude an allen Standorten nicht nur mit Energie für die haustechnischen Systeme versorgt werden, sondern in der Gesamtbilanz nach 20 Jahren energieneutral sein resultiert der folgende Flächenbedarf:

	Berlin	Helsinki	Moskau	Irkutsk	Kairo	Tokyo	Sydney	Rom	Rio	Kinshasa
Graue Energie In 1000 kWh	135,8	147,8	151,6	189,2	118,1	128,7	118,1	125,0	109,1	119,4
Laufender Verbrauch (20 Jahre) in 1000 kWh	25	31,4	31,8	35,9	19,1	19,8	18,5	19,7	18,3	18,3
Benötigte Fläche Photovoltaik (in m ²)	102	111	119	98	29	84	44	45	44	56
Vorh. Dachfläche optimal geneigt (in m ²)	117	127	125	135	109	113	112	119	104	96
Benötigte Fläche Biomasse (in m ²)	651	856	768	2.321	8.844	257	210	332	205	219

Kapitel 4 Tabelle 41: Flächenbedarf des Referenzgebäudes

Die Berechnung macht deutlich, dass an allen Beispielstandorten das Gebäude über Photovoltaikzellen in einem Zeitraum von 20 Jahren eine ausgeglichene Bilanz erzielen kann, wenn die Dachfläche optimal ausgerichtet ist.

4.4.3.4.1 Die zukünftige Rolle von Verbrennungsprozessen

Unter dem reinen Aspekt der maximalen Energieausbeute bzw. einer flächenbezogenen Bilanz ist eine nachhaltige Strategie auf der Basis der Verbrennung von Energieträgern nie konkurrenzfähig zu einer auf der Nutzung von Photovoltaik basierenden Strategie. Neben einer Betrachtung der Energiebilanzen weisen nachhaltige Verbrennungssysteme jedoch eine Reihe von Vorteilen auf:

- Die gewonnenen Energieträger ermöglichen die Nutzung bereits bestehender haustechnischer Systeme. Haben sich Nutzer an bestehende Technologien gewöhnt und stehen einer Umorientierung sehr skeptisch gegenüber kann die Nutzung nachhaltig gewonnener Energieträger eine Übergangslösung darstellen.

- Die Verölung und die Gewinnung von Alkohol ermöglichen das betreiben bestehender Maschinen und Autos auf der Basis nachhaltiger Kreisläufe ohne das bestehende Modelle umgerüstet werden müssen.
- Die benötigten Energieträger können zu einem gewissen Teil aus sowieso vorhandenen Abfallstoffen (Pflanzenresten, Sägespänen, Tierkot, Klärschlamm) gewonnen werden. Somit wird die Bilanz benötigter und etablierter Systeme deutlich verbessert.
- Es werden kein bestehendes Stromnetz oder Akkumulatoren benötigt. Der Energieträger selber kann gelagert werden. Insbesondere für spärlich besiedelte oder technologisch wenig entwickelte Regionen kann hier ein Vorteil liegen.
- Insbesondere die nachhaltige Bewirtschaftung von Wäldern hat sekundären Nutzen für Mikroklima und Lebensqualität.
- Die Verwendung von Verbrennungsprozessen ist technologisch deutlich weniger aufwendig als die Betreibung von Photovoltaikanlagen. In nachhaltiger Erzeugung von Energieträgern zur Verbrennung kann eine Low-tech Alternative gesehen werden.
- Die hohe Temperatur der Verbrennungsprozesse ermöglicht einen sehr guten Wirkungsgrad auch bei der Erwärmung auf hohe Temperaturniveaus, beispielsweise bei Trinkwasser oder Heizkreisläufen mit kleinen Heizkörpern.

Insbesondere die Synergie mit bereits bestehenden Prozessen und die Möglichkeit bestehende haustechnische Systeme weiter zu nutzen macht die Nutzung regenerativ gewonnener Energieträger interessant.

Über die Nutzung durch bestehende Prozesse anfallender Biomasse hinaus sollte jedoch mittel- und langfristig abgesehen werden. Wie weiter oben geschildert kann kein regenerativ gewonnener Energieträger mit einer handelsüblichen Photovoltaikanlage konkurrieren. Es resultiert folglich ein hoher Platzbedarf für derartige Prozessketten. Dieser Bedarf muss zudem idealer Weise durch fruchtbaren Boden gedeckt werden, um ein schnelles Wachstum der benötigten Pflanzen zu gewährleisten. Mehrere aktuelle Studien beschäftigen sich mit den Auswirkungen eines Anbaus von Biomasse zur Gewinnung von Energie in Entwicklungsländern auf Flächen, die eigentlich für den Anbau von Lebensmitteln benötigt werden. Die Studien kommen einhellig zu dem Ergebnis, dass der flächendeckende Anbau von Biomasse bei einer Erweiterung des Betrachtungsrahmens sowohl ökologisch als auch ökonomisch mehr Schaden anrichtet als Nutzen generiert werden kann. Zudem wird die aktuelle Nutzung von vorhandener Biomasse mit etwa 23% beziffert – einem zukünftigen Wachstum der regenerativen Gewinnung von Energieträgern sind also Grenzen gesetzt.

Aus diesem Grund muss die Nutzung von Biomasse auf Abfallprodukte anderer Prozesse und die Nutzung überschüssiger Flächen reduziert werden.

Die ausführliche Betrachtung der Prozessketten zur regenerativen Gewinnung von Energieträgern vor diesem Hintergrund würde den Rahmen dieser Arbeit deutlich sprengen. Die ihnen zugrunde liegenden Entscheidungen liegen zudem außerhalb des Tätigkeitsbereiches von Architekten. Ziel der folgenden Betrachtungen ist folglich nicht die regenerativen Energieträger in einen direkten Vergleich einzubinden, da eine Konkurrenzfähigkeit wie oben gezeigt ausgeschlossen werden kann. Es soll aber versucht werden den aus dem Energiebedarf des Referenzgebäudes resultierenden Flächenbedarf abzubilden und so die standortspezifische Relevanz von Biomasse diskutieren zu können.

4.5 Der weitere Verlauf der Arbeit

Der Entwicklung der Rechenmodell und der Ermittlung in Bezug auf die Energiebilanz optimierter Gebäude soll im letzten Kapitel der Arbeit der Vergleich der entwickelten Konzepte mit den realen Bedingungen an einem der Beispielstandorte folgen. Es muss festgestellt werden, dass an sich an keinem der Beispielstandorte die berechneten in den realen Lösungen vor Ort wiederfinden. Im letzten Kapitel soll hierfür eine Erklärung versucht werden.

Da der Aufenthalt in Japan ursprünglicher Ansatz dieser Arbeit war, erfolgt die Untersuchung am Beispiel des Standortes Toyko.

Quellen Kapitel 4

- [1] http://www.heliosventilatoren.de/katalog/ge/pdf/helios_kwl_flyer.pdf Seite 13
- [2] Hansjürg Leibundgut: Via Gialla – Wegbeschreibung für Gebäude in eine nachhaltige Energiezukunft
<http://www.viagialla.ch/>
- [3] Kellner & Rutz: Pinpoint Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen
- [4] <http://www.asue.de/veroff/haustech/image/Brennwerttechnik.pdf>
- [5] <http://www.loebbeshop.de/viessmann/assets/own/fr-brennwert.pdf>
- [6] www.solarinfo.lu
- [7] www.solarintegration.de
- [8] Leitfaden Photovoltaische Anlagen, Ralf Haselhuhn und Claudia Hemmerle, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., 2005, Seiten 43 - 48
- [9] <http://www.stern.de/wirtschaft/immobilien/verbraucher/:Energieversorgung-Leben-%D6l%21/567838.html?s=2&eid=558813>
- [10] Jens Kurreck, Dominique Niethammer, Harry Kurreck: *Primärprozesse der Photosynthese und ihre Modellierung*. In: *Chemie in unserer Zeit*. Bd. 33, Nr. 2, 1999 S. 72–83
- [11] Bundesamt für Naturschutz (BfN): Biomasseproduktion - der große Nutzungswandel in Natur und Landschaft, Tagungsdokumentation, Bonn 2007
- [12] Nutzungskonkurrenzen bei Biomasse: Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie vom April 2008 (<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/nutzungskonkurrenzen-bei-biomasse-kurzfassung,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>)
- [13] <http://www.welthungerhilfe.de/biokraftstoff-lebensmittelpreise.html>
- [14] <http://www.klima-magazin.de/reports/natur-umwelt/bio-treibstoff-wie-die-uebereifrige-umsetzung-einer-guten-idee-mehr-schadet-als-nutzt.html>

Leitliteratur

Kellner, B; Rutz, S: Pinpoint - Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, ISBN 978-3-7281-3117-1

Leibundgut, H.: Via Gialla – Wegbeschreibung für Gebäude in eine nachhaltige Energiezukunft
http://www.viagialla.ch/fileadmin/downloads/viaGialla_web.pdf (nur als Download erhältlich)

Haselhuhn, R.; Hemmerle, C: Leitfaden Photovoltaische Anlagen, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., 2005, ISBN 3-9805738-3-4

Wagemann, H.-G., Eschrich, H.: *Grundlagen der photovoltaischen Energiewandlung – Solarstrahlung, Halbleitereigenschaften, Solarzellenkonzepte*. Teubner-Verlag, Stuttgart, 1. Auflage 1994, ISBN 3-519-03218-X

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten, Erich Schmidt Verlag, Berlin 2007, ISBN 978-3-503-10602-8

Kurreck, J.; Niethammer, D.; Kurreck, H.: Primärprozesse der Photosynthese und ihre Modellierung. In: *Chemie in unserer Zeit*. Bd. 33, Nr. 2, 1999 S. 72–83, ISSN 0009-2851

Tabellenverzeichnis

Kapitel 4 Tabelle 1: Heizlast nach Beispielstädten für 1 Watt/m ² Hülle	105
Kapitel 4 Tabelle 2: Kältelast nach Beispielstädten für 1 Watt/m ² Hülle	106
Kapitel 4 Tabelle 3: Technische Daten nach Verglasungstyp	109
Kapitel 4 Tabelle 4: Abminderungsfaktoren für Solare Einstrahlung nach Verschattungstyp	110
Kapitel 4 Tabelle 5: Technische Daten mechanische Lüftung + Wärmetauscher	114
Kapitel 4 Tabelle 6: Daten Graue Energie mechanische Lüftung + Wärmetauscher	114
Kapitel 4 Tabelle 7: Lüftungsbasierter Ansatz – Rückgewonnene Energie Wärmetauscher	115
Kapitel 4 Tabelle 8: Lüftungsbasierter Ansatz - Fensterdimensionierung	116
Kapitel 4 Tabelle 9: Lüftungsbasierter Ansatz - Restklimatisierungsbedarf	116
Kapitel 4 Tabelle 10: Fensterbasierter Ansatz - Fensterdimensionierung	117
Kapitel 4 Tabelle 11: Fensterbasierter Ansatz – Differenzierung Transmission und Lüftung	117
Kapitel 4 Tabelle 12: Fensterbasierter Ansatz – Rückgewonnene Energie Heizfall	118
Kapitel 4 Tabelle 13: Fensterbasierter Ansatz – Rückgewonnene Energie Kühlfall	118
Kapitel 4 Tabelle 14: Fensterbasierter Ansatz – Restklimatisierungsbedarf	119
Kapitel 4 Tabelle 15: Kältelast nach Beispielstädten für 1 Watt/m ² Hülle	123
Kapitel 4 Tabelle 16: Kältelast nach Beispielstädten für 1 Watt/m ² Hülle	125
Kapitel 4 Tabelle 17: Kältelast nach Beispielstädten für 1 Watt/m ² Hülle	128
Kapitel 4 Tabelle 18: Kältelast nach Beispielstädten für 1 Watt/m ² Hülle	129
Kapitel 4 Tabelle 19: Konzept Berlin	130
Kapitel 4 Tabelle 20: Konzept Helsinki	131
Kapitel 4 Tabelle 21: Konzept Moskau	132
Kapitel 4 Tabelle 22: Konzept Jakutsk	133
Kapitel 4 Tabelle 23: Konzept Kairo	134
Kapitel 4 Tabelle 24: Konzept Tokyo	135
Kapitel 4 Tabelle 25: Konzept Sydney	136
Kapitel 4 Tabelle 26: Konzept Rom	137
Kapitel 4 Tabelle 27: Konzept Rio	138
Kapitel 4 Tabelle 28: Konzept Kinshasa	139
Kapitel 4 Tabelle 29: Technische Daten nach Zelltyp Quelle: www.solarinfo.lu , www.solarintegration.de , diverse Herstellerangaben	142
Kapitel 4 Tabelle 30: Energiebilanz Photovoltaikzellen optimal ausgerichtet	143
Kapitel 4 Tabelle 31: Energiebilanz Photovoltaikzellen Fassade	143
Kapitel 4 Tabelle 32: mögliche Regenerative Energieträger	144
Kapitel 4 Tabelle 33: mögliche Regenerative Energieträger	144
Kapitel 4 Tabelle 34: Daten C4 und C3 Pflanzen	146
Kapitel 4 Tabelle 35: Biogasertrag nach Biomasse	146
Kapitel 4 Tabelle 36: Energieertrag Holz	146
Kapitel 4 Tabelle 37: Energiegewinn durch Photovoltaik in der 20 Jahresbilanz pro m ²	148
Kapitel 4 Tabelle 37: Theoretische Biomasse nach solarer Strahlung	148
Kapitel 4 Tabelle 38: Praktische Biomasse	148

Kapitel 4 Tabelle 39: Praktische Energiegewinnung durch Biomasse	148
Kapitel 4 Tabelle 40: Faktor (Photovoltaik/ Biomasse C4-Pflanze).....	148
Kapitel 4 Tabelle 41: Flächenbedarf des Referenzgebäudes	149

Grafikverzeichnis

Kapitel 4 Grafik 1: Strahlungsintensität und Temperatur für die Beispielstandorte	107
Kapitel 4 Grafik 2: Angebotskoeffizienten für die Beispielstandorte	108
Kapitel 4 Grafik 4: Monatsbilanzierung der optimalen Fensterflächen für Berlin.....	111
Kapitel 4 Grafik 5: Angebotsfaktoren für Berlin (20/11,6)	113
Kapitel 4 Grafik 6: Gesamtbilanz nach Beispielstädten für 1 Watt/m ² Hülle ohne Wärmetauscher und Fenster	120
Kapitel 4 Grafik 7: Gesamtbilanz nach Beispielstädten für 1 Watt/m ² Hülle mit Wärmetauscher und optimalen Fenstern (Fensterbasierter Ansatz).....	120
Kapitel 4 Grafik 8: Angebotskoeffizienten für die Beispielstandorte	141
Kapitel 4 Grafik 9: Sonnenspektrum und spektrale Empfindlichkeit von Zelltypen.....	141

Inhaltsverzeichnis Kapitel 5

5. EINFÜHRUNG	157
5.1 Erwartete Gebäudekonzepte in Zentraljapan.....	158
5.2 Reale Gebäudekonzepte in Zentraljapan.....	159
5.2.1 Zwischenfazit	160
5.3 Analyse der für Abweichungen verantwortlichen Rahmenbedingungen.....	160
5.3.1 Konstruktionssystem.....	161
5.3.1.1 Gründe für die aktuelle Situation in Japan bezüglich des Konstruktionssystems.....	162
5.3.2 Opake Hülle	163
5.3.2.1 Gründe für die aktuelle Situation in Japan bezüglich der opaken Hülle	164
5.3.3 Fenster.....	165
5.3.3.1 Gründe für die aktuelle Situation in Japan bezüglich der Fenster	165
5.3.4 Haustechnik	165
5.3.4.1 Gründe für die aktuelle Situation in Japan bezüglich der Haustechnik	166
5.3.5 Energieträger	166
5.3.5.1 Gründe für die aktuelle Situation in Japan bezüglich der Energieversorgung.....	168
5.3.6 Warmwasser.....	168
5.3.6.1 Gründe für die aktuelle Situation in Japan bezüglich der Warmwasserbereitung	168
5.3.7 Fazit	169
5.4 übergeordnete Gründe für die Abweichung des Rechenmodells von den realen Bedingungen.....	169
5.4.1 Allgemeine Marktsituation in Japan	169
5.4.2 Dominante ökonomische Faktoren	170
5.4.3 Zollpolitik.....	170
5.4.3.1 Allgemeine Formen nichttarifärer Handelshemmnisse.....	171
5.4.3.2 Konkrete japanische nichttarifäre Handelshemmnisse	172
5.4.1 Zwischenfazit Marktsituation.....	173
5.5 Forschungssituation in Japan	173
5.5.1 Fazit.....	174
5.6 Notwendige Veränderungen im baukonstruktiven Bereich.....	174
5.6.1 Detailgegenüberstellung	175
5.6.1.1 Traufe.....	176
5.6.1.2.1 Zeichnerische Gegenüberstellung Traufe	177
Traufe aktuell:	177
Kapitel 5 Zeichnung 5.1: Traufe etabliert	177
Traufe vorgeschlagen:	177

Kapitel 5 Zeichnung 5.2: Traufe optimiert	177
5.6.1.2 Fenster	178
5.6.2.2.1 Zeichnerische Gegenüberstellung Fenster	179
Fenster aktuell:	179
Kapitel 5 Zeichnung 5.3: Fenster etabliert	179
Fenster vorgeschlagen:	179
Kapitel 5 Zeichnung 5.4: Fenster optimiert	179
5.6.1.3 Sockel	180
5.6.1.3.1 Zeichnerische Gegenüberstellung Sockel	181
5.6.2 Fazit der Detailgegenüberstellung	182
5.7 Ausblick	182

5. Einführung

Im den ersten vier Kapiteln der Arbeit wurden die Grundlagen für eine Gesamtbilanz von Gebäuden auf der Energiebasis erläutert und basierend darauf ein Rechenmodell für standortoptimierte Gebäudekonzepte entwickelt.

Mit dem Ende des vierten Kapitels liegt ein Rechenmodell vor, das in Abhängigkeit von lokalen Klimabedingungen einen Konzeptvorschlag für das Referenzgebäude ermittelt. Dieser Konzeptvorschlag ist in Bezug auf die gewählte Bilanzgrösse in einer Gesamtbilanz optimal wenn innerhalb der Berechnungen nicht bewusst eine suboptimale Lösung gewählt wird.

Die innerhalb dieser Arbeit gewählte Bilanzierungsgrösse ist Energie.

Im Folgenden soll dieses optimale Ergebnis anhand eines Vergleichs mit einem realen Standort verglichen werden. Als Vergleichsstandort wird innerhalb des folgenden Kapitels die zentraljapanische Klimaregion gewählt und den für Toyko ermittelten gegenübergestellt. Den rechnerisch ermittelten Werten liegen ausschliesslich die Klimadaten der Region und die in den ersten Kapiteln genannten Baustoffkennwerte zugrunde. Die ermittelte Situation in Zentraljapan beinhaltet dem gegenüber eine Vielzahl weiterer realer Faktoren.

Eine wichtige Erkenntnis eines Vergleichs der als optimal berechneten Konzepte mit den realen Konzepten ist in einer Betrachtung der Relevanz des Faktors Energie für reale Bauentscheidungen zu sehen. Diese Relevanz ist vor dem Hintergrund der aktuellen globalen Situation sicherlich Änderungen unterworfen. Eine Zunahme der Bedeutung des Faktors Energie muss aufgrund des drohenden Klimawandels als sehr wahrscheinlich gelten. Die Gebäudekonzepte werden sich in der Folge dem in Bezug auf die Energiebilanz als optimal ermitteltem Konzept annähern. Dieser Änderung stehen jedoch diverse Hemmschwellen gegenüber, die den zentralen letzten Teil dieses Kapitels bilden. Abschliessend werden notwendige konstruktiven Änderungen um dichte, gute gedämmte Gebäudehüllen bauphysikalisch schadensfrei in Zentraljapan realisieren zu können diskutiert, da dieses als zukünftiger nächster Schritt angestrebt werden soll.

Bei der Betrachtung des Beispiels „Zentraljapanische Klimazone“ und dem Vergleich mit den für die Klimaregion Tokyo als optimal ermittelten Werten wird wie folgt vorgegangen:

5.1 Erwartete Gebäudekonzepte in Zentraljapan

Rekapitulationen der basierend auf den ersten vier Kapiteln erwarteten Gebäudekonzepte in Zentraljapan.

5.2 Reale Gebäudekonzepte in Zenraljapan

Beschreibung der realen Gebäudekonzepte in Zentraljapan

5.3 Analyse der für die Abweichungen verantwortlichen Rahmenbedingungen

5.4 übergeordnete Gründe für die Abweichung von den erwarteten Konzepten

5.5 Betrachtung der Forschungssituation in Japan

Als abschliessenden Teil der Arbeit werden notwendige Änderungen für eine Entwicklung zu energieeffizienteren Gebäuden diskutiert und anhand einer Gegenüberstellung von aktuellen Regeldetails und optimierten Lösungen beschrieben.

5.6 Notwendige Veränderungen der Deitailösungen

Abschliessend wird ein Ausblick über den zukünftigen Projektverlauf in Japan gegeben.

5.7 Ausblick

5.1 Erwartete Gebäudekonzepte in Zentraljapan

Basierend auf den in den ersten fünf Kapiteln der Arbeit durchgeführten Bilanzierungen müssten in zentraljapanischem Klima zumindest die im energieeffizient orientierten Gebäudesektor angesiedelten Wohngebäude etwa wie folgt aussehen:

- Konstruktionssystem
 - Holzbauweise
- Opake Wände
 - Dämmstärken von etwa 15 cm (abhängig von den verwendeten Dämmstoffen und Wandaufbauten)
- Fensterflächen
 - Fenster (zweifachverglast), etwa 20 m², in der Mehrheit für Wärmegewinne nach Süden orientiert, oder entsprechend grösser und mit besserem Ausnutzungsquotienten
- Haustechnik
 - Luft-Luft Wärmepumpen, die vor allem zu Kühlung benötigt werden da der erwartete Dämmstandard in Verbindung mit den internen Wärmelasten kaum noch einen Restheizbedarf ergeben. Bei sehr großen Fensterflächen und resultierendem schlechteren mittleren U-Wert der Hülle ggf. auch ein schlankes Heizsystem
- Energieträger
 - Strom, der über Photovoltaik problemlos über Dachflächen bereitgestellt werden kann. Alternativen zur nachhaltigen Stromgewinnung könnten weniger Photovoltaik zugunsten dieser Alternativen (z.B. Windenergie) bedingen.
- Warmwasser
 - Entweder über die Wärmepumpe oder, abgeleitet aus der milden Außentemperatur und der guten solaren Einstrahlung, Solarthermie.

Abweichungen von diesem Idealbild aufgrund von weiteren ortsspezifischen Einflussfaktoren sind anzunehmen. Wenn die Gesamtenergiebilanz als Aspekt einer klimaangepassten Bauweise relevant ist, so sollte zumindest eine Tendenz zu den berechneten Werten erkennbar sein.

Die berechneten Kennwerte sollen im Folgenden mit den realen Werten der Region Zentraljapan verglichen werden, die in den ersten vier Kapiteln der Arbeit entwickelt wurden.

5.2 Reale Gebäudekonzepte in Zentraljapan

Die folgenden Daten basieren aufgrund einer schlechten offiziellen Datenlage in erster Linie auf eigenen Erhebungen während des Aufenthaltes in Japan. Diese stützen sich neben der Arbeit an der Kobunaki Siedlung auf Feedback der beteiligten Architekten, Baufirmen und Ingenieurbüros. Wissenschaftlich belastbare Daten sind gekennzeichnet.

- Konstruktionssystem
 - Ein überwiegender Teil (etwa 80%) der japanischen Wohngebäude wird als reine Holzkonstruktion realisiert. Mischkonstruktionen kommen kaum vor (weniger als 5%). Stahlskelettkonstruktionen finden fast ausschließlich in stark erdbebengefährdeten Gebieten Verwendung. Das vorherrschende Holzkonstruktionssystem ist 2by4 (Holzrahmenbau). Etwa 85% aller Holzgebäude werden so errichtet. [1]
- Opake Wände
 - Dämmstärken von etwa 4cm bei neueren Gebäuden sind die Zielsetzung von als energiesparend vermarktetten Gebäuden. Viele Gebäude werden auch heute noch ohne Dämmung realisiert. [2]
- Fensterflächen
 - Auch bei neuen Gebäuden findet nahezu ausschließlich Einfachverglasung Verwendung. In den Katalogen der Fensterhersteller in Japan findet sich Zweifachverglasung meist gar nicht und ist nur auf ausdrückliche Nachfrage erhältlich. Unter den Fensterrahmen dominieren Aluminiumrahmen ohne thermische Trennung.
- Haustechnik
 - Eine Auswahl von Luft-Luft Wärmepumpen kann im Supermarkt gekauft werden. Die Wohngebäude verfügen über einen genormten Anschluss. Eine Verteilung innerhalb des Gebäudes gibt es neben dem zentralen Zufluss nur selten. Eine Abstimmung von Haustechnik und Hülle findet nicht statt.
- Energieträger
 - Strom, Photovoltaik ist kaum verbreitet. Nur einer der großen japanischen Hausbauunternehmen bietet Photovoltaikzellen auf dem Dach eines Fertighauses an (Tokyu Home) [3]. Zur Warmwasserbereitung findet überwiegend Propangas Verwendung
- Warmwasser
 - Erwärmung über einen Propangasbrenner.

In erster Näherung können gravierende Unterschiede ausgemacht werden. Zusätzlich zu den Abweichungen in den Daten des Hauses ist festzustellen, dass mehrere Annahmen des in den ersten vier Kapiteln entwickelten Rechenmodells nicht erfüllt werden:

- Die japanischen Gebäude sind nicht winddicht. Die innerhalb der Kobunaki Siedlung realisierten Gebäude bei denen ein Dichtigkeitstest durchgeführt wurde erreichten bei 10 Pascal Druckunterschied bereits Werte von $1,2 \text{ h}^{-1}$ bis weit über 5 h^{-1} .
- Die japanischen Gebäude sind nicht dauerhaft klimatisiert. Wird eine Wohnung verlassen, so wird die Klimatisierung ausgeschaltet. Die innerhalb des Rechenmodells angenommene konstante Innenraumtemperatur ist deshalb nicht realistisch.

5.2.1 Zwischenfazit

Die Abweichungen von den berechneten Idealwerten sind gravierend. Teilweise sind die Abweichungen derartig groß, dass grundsätzliche Fehler in den Annahmen oder unberücksichtigte Rahmenbedingungen vermutet werden müssen. Im Folgenden wird zur Klärung der Unterschiede genauer auf die einzelnen Gebäudekomponenten eingegangen und versucht die spezifischen Gründe aufzuzeigen die die oben genannten Daten begründen.

5.3 Analyse der für Abweichungen verantwortlichen Rahmenbedingungen

Die Betrachtung der realen Situation der einzelnen Gebäudekomponenten erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird die aktuelle Lage differenziert geschildert und, soweit möglich, mit wissenschaftlich belastbaren Daten belegt. Im zweiten Schritt wird nach Gründen für die Entwicklung gesucht. Hierbei orientiert sich die Arbeit nach den in Kapitel 3 aufgezeigten Einflussfaktoren, die ggf. um weitere, japanspezifische Faktoren ergänzt werden.

Die Einflussfaktoren werden untergliedert in:

- Kulturelle Faktoren
- Technische Faktoren
- Ökonomische Faktoren
- Politische Faktoren

Abschließend wird versucht zu klären welche Faktoren für die aktuelle Situation maßgeblich sind. Auf diesem Weg wird versucht zu klären ob die Abweichung von den berechnete Konzepten durch verschiedene Faktoren zu erklären sind, die jeweils einzelne Konzeptkomponenten beeinflussen, oder ob sich über eine Mehrzahl der einzelnen Komponenten dominante Faktoren ausmachen lassen, beispielsweise also kulturelle oder politische Rahmenbedingungen die zentrale Hemmschwelle für Gebäude mit besserer Bilanz darstellen.

5.3.1 Konstruktionssystem

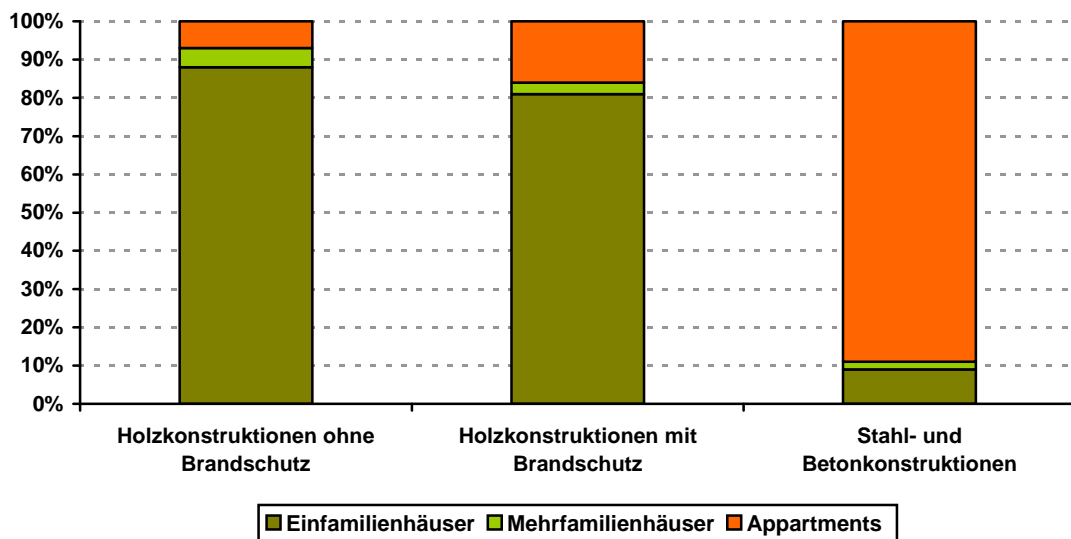
Im Bereich der Holzbauten wird zwischen 2by4 / 2x4 (dem deutschen Holzrahmenbau ähnlich und auf amerikanischen Maßen basierend) und Woodframe construction (wörtlich Holzrahmenbau aber dem deutschen Holzskelettbau ähnlich) unterschieden. Beide Konstruktionsmethoden ermöglichen eine schnelle Baugenehmigung von Seiten der zuständigen Behörden. Jede abweichende Detaillösung muss dagegen als Sonderantrag nachgewiesen werden, was je nach Umfang mehrere Monate dauern kann.

Als problematisch erweist sich in den letzten Jahren, dass energieeffiziente Gebäude auf Detaillösungen angewiesen sind, die von den Standardlösungen abweichen und somit umfangreiche Sonderanträge erfordern.

Holzkonstruktionen machen mit 85% den überwiegenden Teil aller freistehenden Einfamilienhäuser in Japan aus. Vier der fünf größten Fertighausfirmen in Japan (gemeinsamer Marktanteil über 70%) nutzen hierbei ausschließlich das 2by4 System.

Neben Holzkonstruktionen haben Stahlskelettbauweisen besonders in den letzten zehn Jahren in Einfamilienhäusern zugenommen. Sie werden fast ausnahmslos in Fertighäusern und speziell in besonders erdbebengefährdeten Gebieten verwendet.

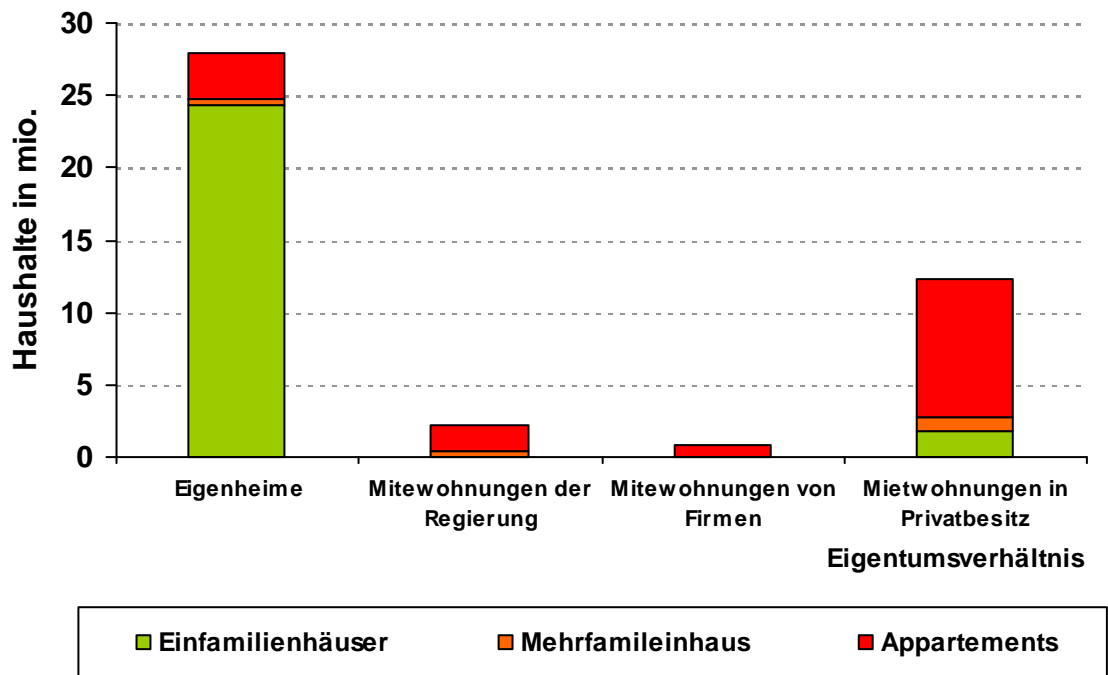
Betonkonstruktionen sind in Japan fast ausschließlich auf Apartments und große öffentliche Gebäude beschränkt. Wohngebäude in Massivbauweise finden sich in geringer Anzahl im kalten Norden Japans. In den gemäßigten und warmen Zonen bieten sie in den Übergangszeiten wie Frühling und Herbst aufgrund der Wärme speichernden Masse sehr angenehme Bedingungen. Im Sommer heizen sie sich aufgrund der geringen Tagestemperaturschwankungen aber stark auf, was hohe Kühlkosten verursacht, da die thermische Masse eine schnelle Ableitung der Wärme verhindert.



Kapitel 5 Abb. 5.1 Konstruktionsformen

Bezüglich der Besitzverhältnisse ist festzustellen, dass die überwiegende Mehrheit der japanischen Einfamilienhäuser in Privatbesitz sind (vgl. Abb. 5.2). Bei der Betrachtung möglicher Gründe für die Wahl des Konstruktionssystems wird im Folgenden aus diesem Grund von einem Eigenheim ausgegangen.

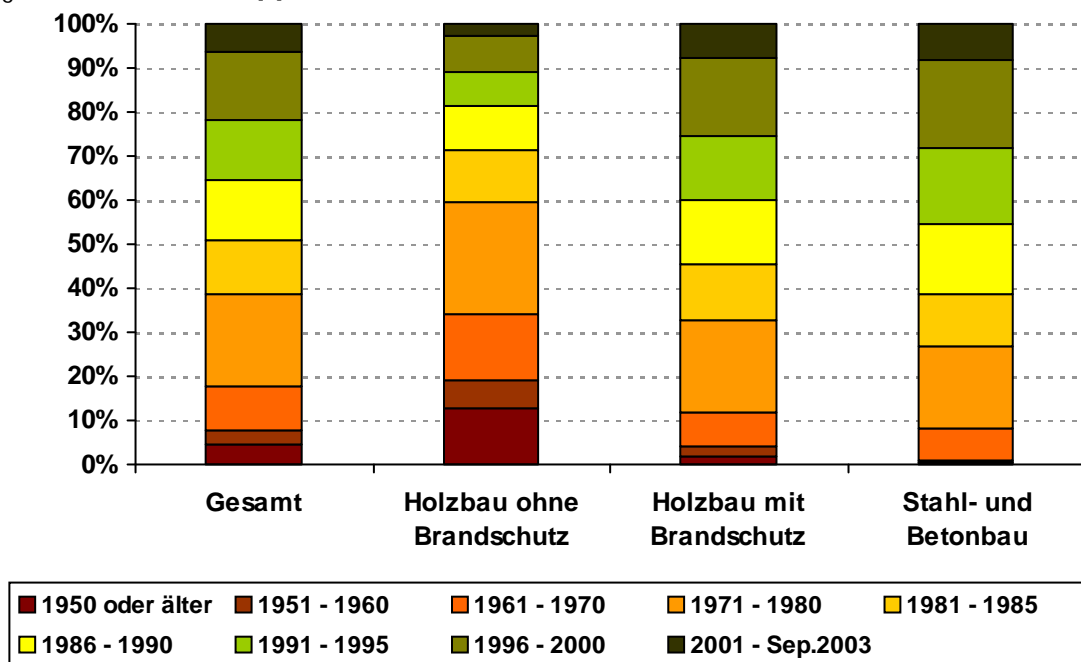
Haustypologien nach Besitzer



Kapitel 5 Abb. 5.2 Haustypologien nach Besitzer für Japan

5.3.1.1 Gründe für die aktuelle Situation in Japan bezüglich des Konstruktionssystems

Ähnlich wie in Deutschland herrschte auch in Japan nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs ein enormer Bedarf an Wohnungen. Fast alle Ballungszentren in Japan waren durch die Amerikaner zerstört worden. Der Waldbestand war fast vollständig zerstört. Die extreme Situation nach dem Krieg bietet jedoch die Möglichkeit den für eine Begründung der aktuellen Situation notwendigen Zeitrahmen deutlich einzugrenzen. Die Anzahl der vor dem Krieg errichteten Gebäude, die jetzt noch genutzt werden ist gering (<5%) und konzentriert sich auf entlegene, dörfliche Gebiete [4].



Kapitel 5 Abb. 5.3: Alter des Gebäudebestandes Japan

Die folgenden Betrachtungen beschränken sich aus diesem Grund auf die Rahmenbedingungen der jüngeren Vergangenheit nach dem Krieg:

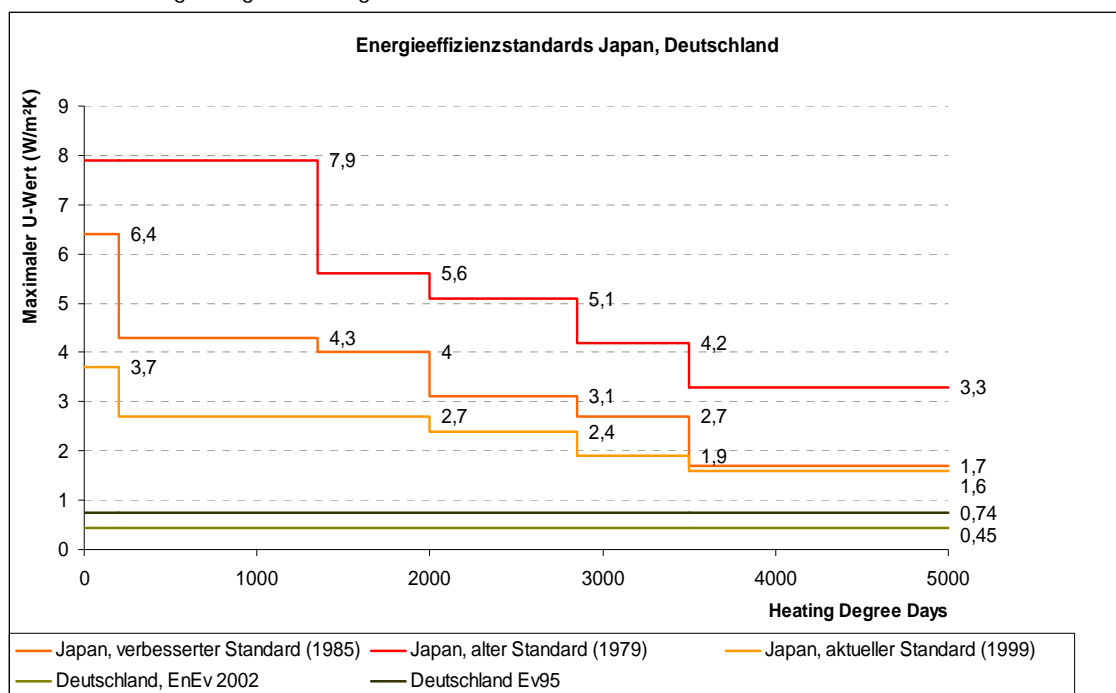
- Unter kulturellen Gesichtspunkten ist das klassische japanische Einfamilienhaus eine Holzkonstruktion. Vor dem Krieg dominierten Mischkonstruktionen aus Lehm und Holz. Die überwiegende Mehrheit der Japaner assoziiert mit einem Wohngebäude immer noch ein Holzgebäude und trifft bei einem eigenen Bauvorhaben eine entsprechende Entscheidung. Da durchaus alternative Konstruktionsformen zur Auswahl stehen (Stahlskelett und Beton) muss von einer Überzeugungsentscheidung ausgegangen werden.
- Unter technischen Gesichtspunkten sind alle zur Auswahl stehenden Konstruktionssysteme fertigungstechnisch auf einem sehr hohen Stand. Insbesondere die Skelettkonstruktionen (Holz- und Stahl) werden in weiten Teilen vorgefertigt und die realisierte Präzision übertrifft die Bauprozesse in Europa deutlich. Die großen Fertighausfirmen (Sekisui, Mizawa, Tokyu Home u.a.) produzieren Einfamilienhäuser wie Autos auf Fließbändern. Insbesondere die Erdbebenresistenz aller Systeme ist hoch und wird genau überprüft. Bauphysikalische Gesetzmäßigkeiten werden bei keinem der Systeme wirkungsvoll erkannt und genutzt. Bei allen Konstruktionen kommt es aus diesem Grund zu Kondensation und massiver Schimmelbildung.
- Unter ökonomischen Gesichtspunkten sind die Holzkonstruktionen etwas günstiger als die Stahl- und Betonbauweisen. Die Preisunterschiede liegen jedoch im Mittel im Bereich von etwa 50.000 Yen pro Tsubo (ca. 10%/ 300 Euro pro Tsubo = ca 90 Euro/m²) und sind deshalb vor allem im Niedrigpreissegment relevant. [5]

Als Fazit muss eine Wahl des Konstruktionssystems aus rein emotionalen Gründen angenommen werden. Ökonomische Faktoren spielen im Billigbausektor eine Rolle und verstärken hier die Tendenz zu Holzkonstruktionen.

5.3.2 Opake Hülle

Seit der Ölkrise 1979 gibt es Bestrebungen in der japanischen Verwaltung, den Energieverbrauch im Wohnungsbestand zu verringern. Diese Bemühungen liegen ursprünglich in der Abhängigkeit Japans von Importen zur Energiegewinnung begründet, seit Beginn der Debatte um die Globale Erwärmung, kommen die Aspekte der Emissionsreduzierung hinzu.

1979 wurde deshalb ein erster Energieeffizienzstandard [6] verabschiedet. Aufgrund der starken Nord-Süd Orientierung der japanischen Landmasse und des deshalb stark unterschiedlich ausgeprägtem Energieverbrauchs der einzelnen Haushalte wurde beschlossen, einen maximalen U-Wert in Abhängigkeit von den vorhandenen Heizgradtage festzulegen:



Kapitel 5 Abb. 5.4: Energieeffizienzstandards in Japan und Deutschland

Der aktuelle Dämmstandard empfiehlt für Zentraljapan einen U-Wert von 2,7 W/m²K. Dies entspricht einer mittleren Dämmstärke von etwa einem Zentimeter. Aufgrund der nicht gewährleisteten Abdichtungen/

Winddichtigkeit kommt es hierbei in der Wand im Verlauf des Jahres zu starker Kondensation. Die den Dämmstoffmarkt dominierende Mineralfaserwolle würde bei derartigen Mengen an Feuchtigkeit zusammenfallen, verkleben und somit ihre isolierende Wirkung verlieren. Das Problem wird aktuell dadurch behoben, dass Dämmung nur eingeschweißt verwendet wird. Die weiterhin anfallende Kondensation kann durch entsprechende Öffnungen unten aus der Konstruktion abfließen.

Der ursprüngliche japanische Standard wurde 1993 mit Hinblick auf die verbesserten technischen Möglichkeiten und 1999 mit Bezug auf die Anstrengungen im Rahmen des Klimaschutzes verschärft. Während in Deutschland der Mindeststandard neben einer Reduzierung des Energieverbrauches auch immer Aspekte der Bauphysik berücksichtigt und unter anderem eine Mindestdämmstärke vorschreibt um Schadensfreiheit zu gewährleisten, spielen solche Aspekte im japanischen Standard keine Rolle.

Es ist hervorzuheben, dass es sich – auch vor dem Hintergrund der Schadensfreiheit – bei dem Deutschen Standard um ein Gesetz handelt und in Japan um eine Empfehlung! Der japanische Standard ist auch 2009 in keiner Weise bindend.

Die oben aufgelisteten U-Werte des japanischen Standards gelten für Häuser aller Größenordnungen, während in der EnEv2002 das schlechteste A/V-Verhältnis angenommen wurde, welches für ein Einfamilienhaus möglich ist. Aufgrund des starken Einflusses der Fenster (im Mittel bei Neubauten $4,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ in Japan und $1,2 \text{ W/m}^2$ in Deutschland) auf die Berechnung des durchschnittlichen U-Wertes haben, fallen die U-Werte für Wände meist deutlich besser aus.

In Deutschland muss zudem ein genereller Abschlag für Wärmebrücken in Kauf genommen werden ($0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ bei Orientierung am Beiblatt 2 der EnEv2002, $0,1 \text{ W/m}^2$ für sonstige Fälle). In der japanischen Gesetzgebung werden Wärmebrücken nicht erwähnt und finden sich zahlreich in realisierten Gebäudehüllen.

Aufgrund der Tatsache, dass auch heute viele Neubauten nicht den aktuellen empfohlenen Standard erfüllen, schimmelbedingte Gesundheitsprobleme sich häufen, das Nutzerverhalten sich deutlich dem westlichen annähert und die Energiepreise steigen, ist eine weitere Straffung des Standards (wohl auch in Form eines Gesetzes mit Empfehlungen für einen Standard plus) absehbar. [7]

5.3.2.1 Gründe für die aktuelle Situation in Japan bezüglich der opaken Hülle

Der schlechte Standard der Hülle ist insbesondere vor dem Hintergrund der assoziierten Kondensation und Schimmelbildung schwer nachzuvollziehen. Die folgende Analyse konzentriert sich auf Holzkonstruktionen als dem verbreitetsten System im Bereich der Einfamilienhäuser in Japan

- Unter kulturellen Gesichtspunkten ist die Situation nicht zu erklären. Die aktuellen Konstruktionssysteme sind vergleichsweise neu (2x4 etwa ab 1950). Eine Tradition und in der Folge ein emotional bedingtes Festhalten an dieser, ist deshalb faktisch nicht vorhanden. Die biophysikalischen Probleme mit den Konstruktionen sind jedoch vielfach auf ein sich veränderndes Nutzerverhalten zurückzuführen. Eine Orientierung der Japaner zu westlichem Komfortverhalten bedingt eine zunehmende Kühlung im Sommer und in Kombination mit der hohen Luftfeuchtigkeit eine zunehmende Kondensation an Oberflächen. Notwendige Reaktionen auf dieses Problem werden unter 5.5 diskutiert.
- Unter technologischen Gesichtspunkten fällt der mangelnde theoretische Hintergrund auf. Weder die Bauphysikalischen Aspekte der Feuchtigkeitskonzentration in Baustoffen, noch Berechnungsmodelle zur Ermittlung des Energiebedarfs sind bekannt. Aus diesem Grund fehlt die Basis auf der die Hülle sinnvoll verbessert werden könnte. Die aktuellen Strategien zur Verbesserung der Energieeffizienz beschränken sich auf die Annahme, dass mehr Dämmung das Problem entschärfen sollte. Da insbesondere Mineralfasern feuchteempfindlich sind, werden diese häufig in Folie eingeschweißt verwendet ohne das grundlegende Problem von Dampfdruckwiderstand und Wärmeleitfähigkeit zu behandeln.
- Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist die Situation unverständlich. Die nicht oder nur kaum vorhandene Dämmung bedingt hohe laufende Kosten. Von Seiten der Baufirmen wird zwar in den letzten Jahren mit erhöhten Dämmstärken experimentiert, die nicht vorhandenen bauphysikalischen Kenntnisse auch in den Entwicklungsabteilungen der großen Baufirmen und das sehr vielfältige und schwierige Klima Japans bedingen nur sehr schleppende Erfolge.
- Von politischer Seite wird in den letzten Jahren verstärkt versucht den Dämmstandard der Gebäude zu verbessern. Die japanische Regierung verfügt jedoch nur über wenige Möglichkeiten ökonomische Anreize über Subventionen zu schaffen und verlässt sich zum aktuellen Zeitpunkt auf weiche Empfehlungen.

Als Fazit können die nicht vorhandene theoretische Grundlage zur Berechnung der Energiebilanzen und das mangelnde Verständnis für die bauphysikalischen Zusammenhänge als Hauptgrund für die aktuelle Situation identifiziert werden.

5.3.3 Fenster

Neben der schlechten Qualität der Verglasung sind vor allem die Verwendung nicht thermisch getrennter Aluminiumrahmen und die nicht vorhandene Winddichtigkeit der Fensterelemente ausschlaggebend für die schlechte Gesamtqualität der transparenten Gebäudekomponenten.

Die übliche Einfachverglasung der Fenster bedingt sowohl im Winter (auf der Innenseite) als auch im Sommer (auf der Außenseite) Kondensation. Aus diesem Grund werden in Zentraljapan keine Fensterrahmen aus Holz mehr verwendet, obwohl diese kurz nach dem Krieg noch durchaus üblich waren. In Verbindung mit der Verglasung führten sie jedoch fast zwangsläufig zu massiver Schimmelbildung.

Neben der üblichen Einfachverglasung ist einfache Zweifachverglasung erhältlich. Außer im hohen Norden Japans wird sie aus Kostengründen jedoch nur selten realisiert. Zweifach WSV ist in Japan nicht bzw. nur auf ausdrückliche Nachfrage erhältlich. Die lieferbaren Gläser bleiben in Bezug auf den solaren Ausnutzungsquotienten deutlich hinter europäischen Verglasungen zurück.

Zentraler Unterschied zwischen japanischen und europäischen Fenstern ist die Öffnungsmechanik. Die Japaner halten im Gegensatz zu den in Europa etablierten dreh-kipp Beschlägen an Schiebefenstern fest. Europäische Fenster sind zwar erhältlich, sind aber durch den Import preislich nicht konkurrenzfähig und werden in der Folge nur in Marktnischen verwendet (z.B. Wohngebäude mit europäischen Erscheinungsbild oder Gebäude mit Eco-Labeling).

5.3.3.1 Gründe für die aktuelle Situation in Japan bezüglich der Fenster

In der Vergangenheit hat es diverse Versuche durch japanische Baufirmen gegeben durch die Verwendung europäischer Beschläge einen Trend zu etablieren, bisher jedoch ohne Erfolg.

- Ein maßgeblicher Grund für die Fensterform ist in der japanischen Wohnkultur zu sehen. Japaner sind gewohnt Türen und Fenster in geöffnetem Zustand nicht störend im (Außen-)raum stehen zu haben. Auch wenn man sich mit diesem Zustand problemlos arrangieren kann, empfinden die Japaner europäische Fensterbeschläge als unpraktisch und lehnen sie ab.
- Die Art der Beschläge muss kulturell vor allem aber mit mangelnder Kenntnis der Relevanz einer winddichten Bauweise begründet werden. Für die Art der Verglasung ist die fehlende Berechnungsmodelle für den Energieverbrauch von Gebäuden als zentraler Grund zu benennen, da diese Modelle die enormen Auswirkungen dieses Bauteils plakativ abbilden würden. Die Wirtschaft Japans könnte die benötigten Verglasungen kurzfristig problemlos selber produzieren. Die Wahl der Fensterrahmen ist ein Ergebnis mangelnder bauphysikalischer Kenntnisse und eines fehlenden Gesamtkonzeptes dem mit einer einseitigen Lösung begegnet wurde.
- Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten steht der Bezug von Produkten aus dem Inland im Vordergrund, wobei auch bessere Fenster kurzfristig produziert werden könnten.
- Politische Gründe sprechen eher gegen die aktuelle Situation (vgl. Empfehlungen zum Dämmstandard Abb 5.4)

Die Gründe für die aktuelle Situation japanischer Fenster müssen im technischen und kulturellen Bereich gesehen werden.

5.3.4 Haustechnik

Die japanischen Systeme zur Klimatisierung von Gebäuden sind in der großen Mehrzahl strombasiert. Vertreten sind elektrische Direkt- und Speicherheizungen, als Strahlung und Konvektionsheizungen sowie Wärmepumpen. Luft-Luft Wärmepumpen nehmen hierbei den mit weitem Abstand größten Marktanteil ein.

Da die Einfamilienhäuser in Zentraljapan nicht winddicht sind, Berechnungsmodelle für den Heizbedarf fehlen und die Nutzerbedingungen unklar sind, war es nicht möglich zu überprüfen ob die etablierten Wärmepumpen den in Kapitel 4 getroffenen Annahmen entsprechen.

Fast alle in den letzten 10 Jahren realisierten Wohngebäude verfügen über eine genormte Schnittstelle für den Anschluss einer Wärmepumpe zur Heizung und bei Bedarf auch zur Kühlung. Die Verteilung der Wärme erfolgt in vielen Fällen ohne weitere Verteilung direkt über die Zuluft. Eine geregelte Abluft ist bei keinem verbreiteten System vorhanden. Da die Strömungsgeschwindigkeiten und das notwendige Temperaturgefälle bei kalten Außentemperaturen stark ausgeprägt sind finden in diesen Fällen häufig ergänzend auch elektrische Direktheizungen Verwendung. Diese haben meist die Form von Heizdecken und elektrischen Fußbodenheizungen.

5.3.4.1 Gründe für die aktuelle Situation in Japan bezüglich der Haustechnik

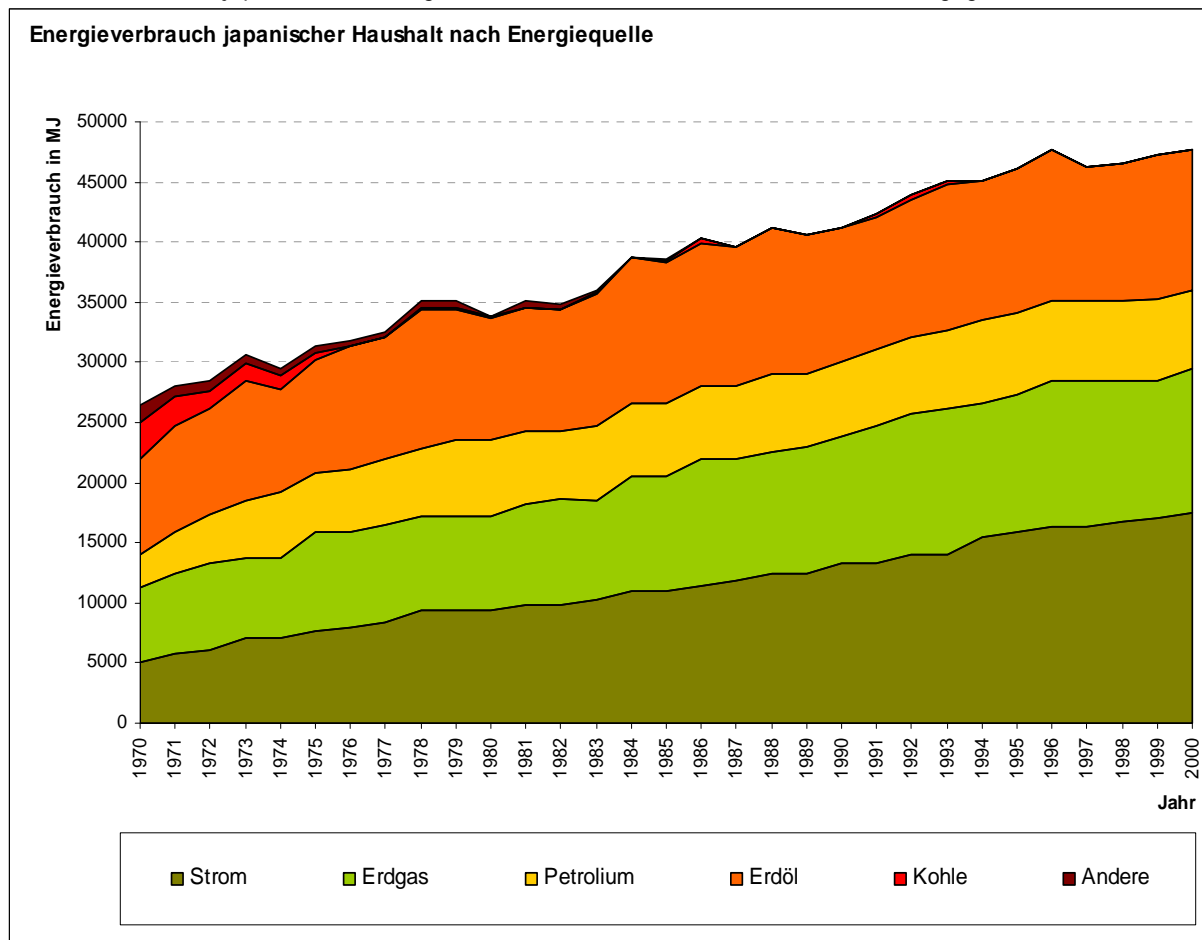
Die Konzentration der Haustechnik auf Wärmepumpen ist die logische Konsequenz einer strombasierten Energieversorgung. Die Wahl von Luft-Luft Wärmepumpen deckt sich hierbei mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Die durch diese Technologie entstehenden Probleme sind weniger das Resultat der Systeme selber, sondern liegen im schlechten Hüllstandard begründet der enorme Spitzenlasten erzeugt. Das kulturell bedingte punktuelle Nutzerverhalten der Japaner verstärkt diese Problematik.

- Da die aktuellen haustechnischen Systeme alle vergleichsweise neu sind treten kulturelle Gründe in Bezug auf die Haustechnik in den Hintergrund.
- Die Optimierung von haustechnischen Systemen durch eine Verbesserung des COP liegt den Japanern deutlich näher als die Entwicklung neuer Gesamtkonzepte durch ein Vernetzen von verschiedenen Gewerken. Aus diesem Grund ist auch festzustellen, dass gegenüber der Hülle die haustechnischen Systeme durchaus internationalem Standard entsprechen, auch wenn in der Spitzengruppe weiterhin europäische Pioniere führend sind. Die zunehmenden Bemühungen von Seiten der japanischen Regierung um eine Reduzierung der nationalen Emissionen werden hier jedoch in naher Zukunft zu einem Aufholen der japanischen Firmen führen.
- Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten steht wiederum der Bezug von Produkten aus dem Inland im Vordergrund.
- Die Politik assoziiert die Haustechnik nur in sehr geringem Maße mit dem Energieverbrauch von Gebäuden. Das Problem wird auf die Gebäudehülle reduziert.

Bei einer verbesserten Gebäudehülle kann in naher Zukunft an den etablierten haustechnischen Systemen festgehalten werden. Durch mehr thermische Masse und dichtere Bauweise würde sich auch das Problem der Spitzenlasten vermindern lassen. Mittelfristig ist eine bessere Abstimmung von Haustechnik und Gebäudehülle erstrebenswert, die jedoch einen technischen Forschungs- und Entwicklungsbedarf bedingt und kulturelle Hemmschwellen zu überwinden hat.

5.3.5 Energieträger

Der Wärmebedarf in japanischen Wohngebäuden wird nach offiziellen Statistiken wie folgt gedeckt:



Kapitel 5 Abb. 5.5: Energieverbrauch japanischer Haushalte

Die Grafik geht nicht auf die für den Energietransport verwendeten Energieträger ein, sondern listet ausschließlich die zur Erzeugung der Energieträger genutzten Rohstoffe auf. Ein Großteil der importierten Erdöl und Erdgasmengen wird in Kraftwerken in Strom umgewandelt. Ein Stromverbrauch von Haushalten, aufgeschlüsselt nach Energieträgern war von offizieller Seite nicht zu erhalten und bietet ein gutes Beispiel für die Schwierigkeiten bei der Evaluierung von Ausgangssituationen an Standorten. Die oben dargestellten Fakten dienen der Berechnung der innerhalb des Kyoto Protokolls geforderten Daten. Die im Rahmen dieser Arbeit wünschenswerten Daten dienen der Beurteilung des Gebäudebezogenen Primärenergieverbrauchs. Da diese Thematik in Japan nicht betrachtet wird liegen auch keine entsprechenden Daten vor.

Die Betrachtung wird deshalb in der begründeten und vor Ort beobachteten Annahme, dass ein Großteil der genutzten Energie über die Verwendung von Strom bezogen wird auf diesen Energieträger konzentriert auch wenn diese nicht mit belastbaren Zahlen belegt werden kann.

Insbesondere die Stromversorgung unterliegt seit etwa 20 Jahren einer zunehmenden Liberalisierung. Nach dem zweiten Weltkrieg übernahm Japan das US-Modell des staatlichen Energiemonopols mit privater Unternehmensführung. Das Land wurde in 10 Regionen geteilt, mit sogenannten General Electric Utilities (GEUs) die das Elektrizitätsgeschäft monopolisieren. Die Verantwortlichkeit der GEUs umfasste die Produktion, Übertragung, Versorgung und den Handel von Strom.

Die primär verfolgte Strategie zur Stromversorgung war ein umfangreicher Aufbau von Kernkraftwerken. Japan ist nach den USA und Frankreich der grösste Kernkraftstromproduzent der Welt.

Die hierzu notwendigen Investitionskosten waren jedoch enorm und wurden in Japan nicht über staatliche Organe gefördert sondern direkt durch hohe Strompreise auf den Verbraucher übertragen. In den resultierenden hohen Stromkosten ist ein Hauptgrund für die in den 90er Jahren einsetzende Liberalisierung des Strommarktes zu sehen [8][9]:

- Erste Phase (1995): GEUs können Strom von Drittproduzenten kaufen, wie zum Beispiel in-house-Produzenten oder unabhängige Energieproduzenten (IPPs).
- Zweite Phase (2000): Benutzer mit einem Bedarf grösser als 2MW können künftig bei jedem Anbieter den Strom beziehen. Die Kontrolle über das Netz besitzen immer noch die regionalen GEUs. Der Markt wurde für den Stromhandel geöffnet. Folge dieser Gesetzänderungen war eine Preissenkung von 3YEN/kWh, jedoch über 10 Jahre.
- Gründung der japanischen Strombörse im Jahre 2003 (JEPX), mit einem Spot- Market (Strom für den nächsten Tag gehandelt) und einem Forward- Market (Strom für eine längere Zeitperiode gehandelt).
- Dritte Phase (2005): Liberalisierung für Benutzer mit einem Bedarf grösser als 50kW (kleine- und mittlere Betriebe, Wohnhäuser).
- Vierte Phase (2007): Öffnung des Markts für jeden Benutzer. Übertragungs- und Versorgungsnetz bleibt Eigentum der GEUs. Unabhängige Organisation betreibt das Netz (analog zu SWISSGRID in der Schweiz).

Einer der innerhalb dieser Arbeit wichtigsten Aspekte der Liberalisierung des japanischen Strommarktes ist die Möglichkeit seit 1995 den in Wohnhäusern z.B. durch Photovoltaik erzeugten Strom an die GEUs zu verkaufen und so das Netz als Speicher zu nutzen. Die innerhalb des Rechenmodells verwendeten Annahmen treffen also auf den Standort Japan zu und es sind keine dezentralen Speicher notwendig.

Die aktuelle Situation stellt sich wie folgt dar:

- Die GEUs decken mit ihrer Eigenproduktion weiterhin etwa 75% des gesamten Strombedarfes in Japan.
- Die Produktion von Grundspannung (base load) erfolgt zu 1/3 aus Kernkraft, zu 1/4 aus Erdgas, wiederum zu 1/4 aus Kohlenkraftwerke, und zu 1/6 aus Wasserkraft
- Für die Produktion von Spitzenspannung (peak load) werden Erdöl und Pumpwasserspeicher verwendet.
- Der grosse Bedarf an Spitzenspannung im Sommer und im Winter (Kühlung, Heizung) kann nicht immer gedeckt werden. Deswegen gibt es Spannungsfluktuationen in diesen Perioden, und die Benutzung von stromintensiven Hausgeräten ist in Spitzenspannungsstunden untersagt.
- Japan verfügt über keine Reserven von fossilen Energieträgern, muss diese also importieren. Die Hauptquellen sind Indonesien (Kohle, Erdöl, LNG), China (Kohle), Australien (Kohle und LNG), Malaysia (Kohle) und Qatar (LNG).

5.3.5.1 Gründe für die aktuelle Situation in Japan bezüglich der Energieversorgung

Die Situation der Energieversorgung muss vor dem Hintergrund der regelmäßig auftretenden Erdbeben gesehen werden. Jedes nicht erdbebenresistente oder zumindest im Erdbebenfall nicht explosionsgefährdete System scheidet in Japan aus. Aus diesem Grund findet Erdgas fast ausschließlich in Regionen Verwendung, die nur wenig erdbebengefährdet sind oder in zentralen Kraftwerken die die aufwendigen Maßnahmen zur Sicherung der Erdgasleitungen überschaubar und bezahlbar machen. Als Energieträger hat sich Strom in Japan etabliert. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse aus Kapitel 4 ist das auch nicht zu kritisieren. Dies gilt insbesondere, da Japan mit diversen thermischen Quellen, viel Küstenfläche und in einigen Regionen hohen solaren Einstrahlenden ideale Bedingungen zur nachhaltigen Gewinnung von Strom bieten würde. Allein die Verbindung mit einem schlechten Gebäudestandard, sowie die Fokussierung der Kernkraft bedingen die aktuellen Probleme von Leistungsspitzen und Endlagerung.

Als Gründe für die aktuelle Situation sind politische Entscheidungen auf der Basis von Rahmenbedingungen zu sehen die innerhalb des Rechenmodells nicht direkt berücksichtigt werden können. Sind solche Bedingungen bekannt muss ggf. innerhalb des Rechenmodells eine suboptimale Lösung gewählt werden.

Die für die Erzeugung von Warmwasser auf einem hohen Temperaturniveau sinnvolle Verwendung von Verbrennungsprozessen wurde auch in Japan erkannt. Aus diesem Grund wird dieses in den meisten Wohngebäuden in einem von der Raumklimatisierung getrennten Prozess erzeugt. Die hierfür verwendeten Systeme werden im Folgenden gesondert diskutiert.

5.3.6 Warmwasser

Im Gegensatz zu den in Deutschland und anderen europäischen Ländern üblichen Kombinationen von Heizsystem und Warmwasserbereitung ist in Japan nach wie vor die Warmwasserbereitung durch ein getrenntes System üblich. Etwa 80% der verwendeten Boiler nutzen hierzu in Flaschen geliefertes Flüssiggas. Nur im Norden Japans wird Öl verwendet (Marktanteil etwa 10%). Elektrische Speichersysteme haben einen Marktanteil von etwa 5%. [10]

Der Markt wird von wenigen großen Unternehmen dominiert (RINNAI (>30%), NORITZU (>30%), PALOMA, MATSUSHITA und TAKAGI (jeweils etwa 10%)). Importe von Systemen zur Warmwasserbereitung sind fast nicht vorhanden (<3%).

Ein zu verzeichnender Trend ist die zunehmende Häufigkeit einer Kombination von Fußbodenheizung im Bad mit der Warmwasserbereitung. Vor allem in der gehobenen Preisklasse im Raum Tokyo setzt sich dieses System durch. Die Gründe sind jedoch in einem Komfortanspruch und der Lieferung der Nasszelle als fertiges Bauteil zu sehen. Eine Kombination von Warmwasser mit dem Heizsystem der restlichen Räume ist nicht absehbar.

5.3.6.1 Gründe für die aktuelle Situation in Japan bezüglich der Warmwasserbereitung

- Das Bad nimmt für die Japaner traditionell eine wichtige Stellung im Alltag ein. Gebadet wurde und wird stets abends, anschließend wird zu Abend gegessen. Japanische Grundrisse sind aus diesem Grund geprägt durch die Nähe von Bad und Wohn-/ Esszimmer und nicht wie europäische Wohnungen durch die Nähe von Schlaf- und Badezimmer. Der Japaner sieht sein Bad als Prestigeobjekt und nutzt und zeigt es gern. Entsprechend hoch ist der Wasserverbrauch der Japaner. Dieser wird noch verstärkt durch das wachsende Bedürfnis ein eigenes Badewasser zu nutzen. Noch vor 20 Jahren war das Familienbad den ganzen Abend gefüllt und wurde nacheinander von allen Mitgliedern der Familien genutzt. Das Temperaturniveau dieser ausschließlich zur Entspannung dienenden Bäder, gewaschen wird unter der neben dem Bad liegenden Dusche, liegt zudem deutlich über dem europäischer Haushalte. Gleiches gilt für Heißgetränke in Japan. Bezeichnender Weise ist Magenkrebs, begünstigt unter anderem durch den Genuss zu heißer Flüssigkeiten, eine der häufigsten Todesursachen in Japan.
- Unter technischen Gesichtspunkten macht die hohe Temperatur auf dem Warmwasser in Japan erzeugt werden muss die Generierung über Wärmepumpen ineffizient. Insbesondere die geforderte Leistungsspitze am Abend in Verbindung mit einer Luft Wärmepumpe erscheint wenig sinnvoll. Im Gegensatz dazu ist der Zeitpunkt der Leistungsspitze für die Nutzung solarer Gewinnung von Warmwasser ideal.
- Trotzdem hat sich bisher kein großes japanisches Unternehmen hier engagiert. Begründet werden mag dies mit mangelndem Handlungsdruck und etablierten Verträgen mit ausschließlich inländischen Zulieferern von Warmwasserboilern. Mit ausländischen Zulieferern wäre man sicher nicht so verbunden.

- Von politischer Seite ist die Bedeutung des Warmwasserbedarfs erkannt, insbesondere weil er sich durch die getrennten Systeme für Klimatisierung und Warmwasser klar beziffern lässt. Förderprogramme z.B. für Solarthermie existieren jedoch aktuell nicht.

Als Gründe für die Situation der Warmwassergewinnung können kulturelle und wirtschaftliche Gründe ausgemacht werden. Mit der zunehmenden Bedeutung des Energieverbrauchs ist hier jedoch eine Veränderung abzusehen.

Als zusätzliche Rahmenbedingung ist wie im Bereich der Haustechnik und der Energieträger die Gefahr von Erdbeben zu sehen. Ein System zur Warmwassergewinnung in Japan muss in Bezug auf diesen Aspekt sicher sein.

5.3.7 Fazit

Ordnet man den einzelnen Bereichen eines Gebäudes die für den aktuellen Zustand verantwortlichen Rahmenbedingungen zu, so ist auffällig dass bei fast allen Gebäudekomponenten die mangelnden wissenschaftlich technischen Kenntnisse zumindest teilweise verantwortlich für die aktuelle Situation sind. Dies erscheint erst einmal unverständlich, da entsprechendes Know-how beziehungsweise zumindest Teilansätze für ortsangepasste Lösungen auf dem globalen Wissensmarkt frei erhältlich wären.

Daneben prägen kulturelle Eigenheiten örtliche Gebäudekonzepte offenbar deutlich stärker als dies in den Rechenmodellen berücksichtigt werden konnte. Diese kulturellen Besonderheiten führen im Fall von Japan zum Festhalten an etablierten Konzepten auch wenn die Anforderungen an Gebäude sich verändern. Japan muss in diesem Bereich als stark konservativ geprägt bezeichnet werden.

Im nächsten Abschnitt wird diskutiert auf welche übergeordneten Phänomene diese Situation zurückzuführen ist.

5.4 übergeordnete Gründe für die Abweichung des Rechenmodells von den realen Bedingungen

Um Gründe für die aktuelle Situation des japanischen Wohnungsmarktes zu isolieren wird dieser im Folgenden charakterisiert. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf Legislativen und Politischen Parametern, da kulturelle Aspekte zwar den unveränderten Gebäudestandard erklären können, nicht aber das nicht vorhandene Know-how.

Die Vermutung: Entweder der Import von Know-how und Material lohnt sich wirtschaftlich nicht oder er wird politisch gehemmt.

5.4.1 Allgemeine Marktsituation in Japan

Der japanische Markt ist nach den Vereinigten Staaten die zweitgrößte Volkswirtschaft der Welt. Das Bruttoinlandsprodukt betrug 2005 rund 5.363,4 Mrd. US-Dollar. Von der Einwohnerzahl bereinigt ist Japan das Land mit dem weltweit größten Wohlstand pro Einwohner (vgl. Grafik 2 Kapitel 3).

Japan ist eine hoch industrialisierte, freie Marktwirtschaft mit einigen Elementen einer gelenkten Wirtschaft. In den Jahren des Wiederaufbaus nach dem Krieg versuchte die Regierung vor allem über das MITI gezielt in einzelne Bereiche der Wirtschaft einzugreifen. In den letzten Jahren wurde zunehmend dereguliert und privatisiert.

Der Export im Jahr 2005 betrug 550,5 Milliarden Dollar. Damit liegt Japan auf Platz 4 der exportstärksten Länder hinter Deutschland auf Platz 1 und den Vereinigten Staaten auf Platz 2 und der Volksrepublik China auf Platz 3. [11]

Eine enge Zusammenarbeit zwischen Staat und Industrie, eine traditionell ausgeprägte Arbeitsdisziplin, die Beherrschung von Hochtechnologie, ein großes Augenmerk des Staates auf Ausbildung und eine Steigerung der Produktivität durch Automatisierung, haben Japan geholfen, binnen kurzer Zeit hinter den Vereinigten Staaten und der EU die drittgrößte Wirtschaftsmacht der Welt zu werden.

Über drei Jahrzehnte hinweg hatte Japan nur Wirtschaftswachstum zu verzeichnen: ein Durchschnitt von 10 % in den 1960ern, durchschnittlich 5 % in den 1970ern, und 4 % Wirtschaftswachstum in den 1980ern. In den 1990ern brach das Wachstum nach dem Platzen der Bubble economy ein, Japan geriet in eine Deflationsspirale. Staatliche Versuche zur Wiederbelebung des Wirtschaftswachstums hatten zunächst keinen Erfolg und wurden später während der Jahre 2000 und 2001 durch eine Verlangsamung der amerikanischen und asiatischen Märkte gehemmt.

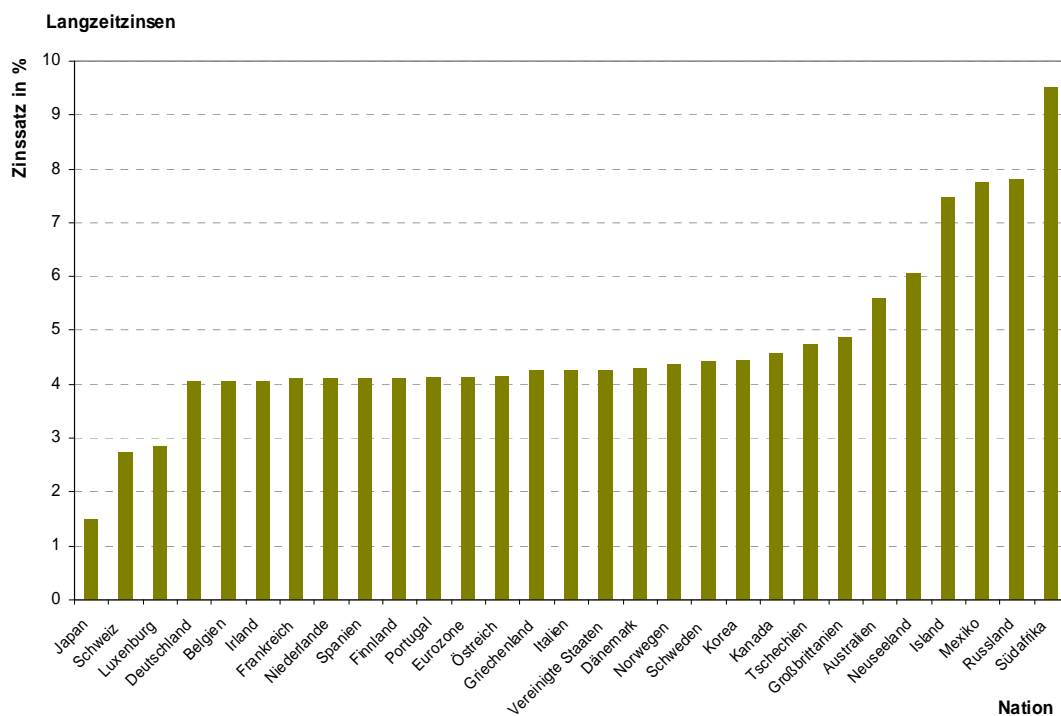
Die letzten Jahre (2003 bis 2006) verzeichnen eine Zunahme des Bruttoinlandsproduktes um etwa 2,5% pro Jahr und eine Inflation von etwa 2%. Die japanische Regierung verringerte das Defizit des Staatshaushaltes von 7,7% (2003) auf etwa 6% im Jahr 2006. Japan hat in der Gesamtbilanz die Rezession nach der Krise in den 90er Jahren zwar überwunden. Der Aufschwung wird jedoch vor allem von den Ballungsräumen Tokyo und Yokohama

getragen. In vielen ländlicheren Bereichen ist immer noch ein negatives Wirtschaftswachstum zu verzeichnen. Von staatlicher Seite werden diese strukturschwachen Gebiete gefördert, und es wird in den letzten Jahren verstärkt nach sinnvollen strukturverbessernden Projekten gesucht. Die Verbesserung des Gebäudestandards und die mit diesen Maßnahmen verbundenen Arbeitsplätze sind vor diesem Hintergrund in das Zukunftsprogramm der japanischen Regierung aufgenommen worden, was den aktuellen Stand unverständlich macht.

5.4.2 Dominante ökonomische Faktoren

Als wichtiger Faktor bei der Etablierung von Effizienzmaßnahmen ist der konkurrierende Zinssatz einer Geldanlage zu sehen. Je höher der über einer Geldanlage zu erwirtschaftende Gewinn, desto schwieriger ist es mit einer Effizienzanlage welche eine Anfangsinvestition in eine Anlage erfordert, die im Laufe der Jahre an Wert verliert einen ähnlichen oder höheren Gewinn zu erzielen. Für eine Amortisation innerhalb von 20 Jahren kann vereinfacht in erster Näherung davon ausgegangen werden, dass mit einer Effizienzinvestition ein Jahresgewinn erzielt werden muss der dem doppelten Zinssatz einer Geldanlage entspricht.

Als Richtwert für die Verzinsung in einem Land kann der Leitzins herangezogen werden:



Kapitel 5 Abb. 5.6: Langzeitinsen weltweit 2003

Japan hatte lange Zeit erkennbar einen der niedrigsten Leitzinse der Welt [12]. In den letzten Jahren ist er weiter gesunken und im Rahmen der Weltwirtschaftskrise hat er aktuelle nahezu die Nullmarke erreicht (0,1% am 01.03.2009). Japaner erhalten de facto keine Zinsen auf ihre Geldanlagen. Im Gegenzug müssten sie bestrebt sein in eine Reduzierung ihrer laufenden Kosten zu investieren, was offensichtlich im Gebäudebereich nicht der Fall ist.

5.4.3 Zollpolitik

Der japanische Markt wird von ausländischen Unternehmen häufig als schwierig beschrieben. Neben den üblichen Zöllen, notwendigen Zulassungen und Regulierungen ist Japan bekannt für Nichttarifliche Handelshemmnisse. Aufgrund des Einflusses den diese Maßnahmen auf mögliche Projekte in Japan haben werden im Folgenden einige Erscheinungsformen beschrieben.

Nichttarifäre Handelshemmnisse spielten in der Handelspolitik bis in die 1960er/70er Jahre keine erhebliche Rolle. Zwar existierten sie in den Ländern in bestimmten Formen und einem gewissen Umfang bereits zuvor, doch an Bedeutung gewannen diese Handelshemmnisse erst seit den 1970er Jahren. Auslöser für die öffentliche Debatte war der geplante Zollabbau. So erlangten die Nichttarifären Handelshemmnisse erst nach wesentlicher

Beseitigung der Zölle für die Handelspolitik - als so genannte „zweite Schicht des Protektionismus“ - an Bedeutung. Regierungen konnten nicht mehr auf Zölle zurückgreifen, um bestimmte nationale Industrien vor ausländischer Konkurrenz zu schützen. So wurden seit den 1970er Jahren immer mehr Nichttarifäre Handelshemmnisse errichtet. Darüber hinaus trugen die steigende Anzahl an Direktinvestitionen - verbunden mit dem stetig wachsenden Dienstleistungshandel - wesentlich zur Bedeutung nationaler Regulierungen bei. Diese dienen dazu, die Gründung von Tochtergesellschaften im Ausland zu beschränken. Früher wurde dies über Zölle geregelt.[13]

Trotz eines absoluten Verbots für Aufbau und Beibehaltung nichttarifärer Handelshemmnisse durch die Welthandelsorganisation (WTO)[14], wurden und werden diese im großen Maße als Ersatz für tarifäre Handelshemmnisse (vor allem Zölle) genutzt. Gerade die Industrieländer nutzen häufig hohe Standards (vergleiche zum Beispiel die Europäische Bananenverordnung), um ausländische Anbieter zu diskriminieren. Formal müssen nichttarifäre Handelshemmnisse jedoch nicht auf die Beschränkung des Wettbewerbs ausgerichtet sein. Verfechter argumentieren vielmehr, dass diese Hemmnisse dem Schutz des Verbrauchers vor minderwertiger oder schlechter Ware durch Normen und Standards dienen.

5.4.3.1 Allgemeine Formen nichttarifärer Handelshemmnisse

Importquoten

Durch das Festlegen von Importquoten hat ein Staat die Möglichkeit die Einfuhr von Gütern mengenmäßig zu beschränken.

- Beispiel: Importquote für Käse in den USA:
Nur bestimmte Handelsgesellschaften dürfen Käse importieren. Die jährliche Obergrenze wird ihnen vorgegeben. Dabei richtet sich die Quote nach der Menge, die ein Unternehmen im Vorjahr importiert hatte.
Die Beschränkung von Importen durch Quoten führt zu Preissteigerungen des Importgutes im importierenden Land. Die Quoten bringen dem Staat in der Regel keine Einnahmen ein, sondern fließen den Inhabern von Importlizenzen als Gewinne (Quotenrenten) zu.[15]

Freiwillige Exportbeschränkung

Unter freiwilligen Exportbeschränkungen sind Handelskontingente zu verstehen, die von Exportländern selbst festgelegt werden. Dies erfolgt überwiegend auf Druck des Importlandes. Durch freiwillige Exportbeschränkungen versucht das Exportland schärfere Maßnahmen wie Kontingente oder Einfuhrverbote von Seiten des Importlandes vorzubeugen. Die Auswirkungen gleichen denen der Importquoten und gehen mit Produzentengewinnen, Konsumentenverlusten und Wohlfahrtsverlusten einher.

- Beispiel: japanische Autos
1981 unterzeichnete Japan das erste Abkommen mit den USA, dessen Inhalt es war, die japanischen Automobil-Exporte in die USA auf 1,68 Millionen Automobile zu beschränken. Die US-Regierung hatte Japan zur Beschränkung seiner Exporte aufgefordert. Da die Japaner unilaterale protektionistische Maßnahmen seitens der USA befürchteten, erklärten sie sich dazu bereit.[16]

Local-Content-Klauseln

Durch die Vorschriften von Local-Content-Klauseln soll sichergestellt werden, dass ein bestimmter Anteil eines Endprodukts aus inländischer Herstellung stammt. Angewandt wurden die Local-Content-Gesetze überwiegend in Entwicklungsländern, deren Industrien auf reine Endmontage ausgerichtet waren. Das Ziel war ein Übergang auf die Herstellung von Zwischenprodukten. Ein Unternehmen erfüllt die Local-Content-Klauseln, wenn es den Pflichtanteil der Zwischenprodukte aus einheimischer Produktion abnimmt. Dabei ist das Unternehmen nicht gezwungen diese selbst zu verwenden, sondern kann die Zwischenerzeugnisse auch exportieren. Durch den Einsatz von Local-Content-Klauseln fließen dem Staat weder Einnahmen noch Quotenrenten zu.[17]

Weitere Formen

Die oben genannten, sind die wichtigsten bzw. bekanntesten nichttarifären Handelshemmnisse. Daneben existieren eine Reihe weiterer NTBs. Genannt seien hier unter anderem technische Normen und Standards (vgl. DIN), Importlizenzen, Verpackungs- und Kennzeichnungsvorschriften (Made in..), psychologische Beeinflussung der Konsumenten zum Kauf von einheimischen Produkten, Sozial- und Umweltstandards, Antidumpingregeln, Ausschreibungsmodalitäten von Aufträgen (speziell im Baugewerbe), Präferenzen in der staatlichen Auftragsvergabe, Importdepots, mit denen Zeit zwischen Beantragung und Bezahlung einer Transaktion künstlich

verlängert wird, Androhung von handelspolitischen Maßnahmen (Zölle, etc.) sowie Diskriminierung bei der Zollabwicklung.

- Beispiel zur Diskriminierung bei der Zollabwicklung - Frankreich:
In Frankreich mussten ab dem Jahr 1982 sämtliche japanischen Videorekorder beim Import ein kleines Zollamt in Poitiers passieren, das mit der Menge vollkommen überlastet war.[18]

5.4.3.2 Konkrete japanische nichttarifäre Handelshemmnisse

Die in Japan etablierten Formen Nichttarifärer Beschränkungen konzentrieren sich auf komplexe Normen und Standards, die psychologische Beeinflussung von Kunden sowie Preisabsprachen.

Jedes in Japan verkaufte Produkt muss eine japanische Zulassung erhalten, die durch eine Vielzahl von Testverfahren gekennzeichnet ist. Diese Tests müssen in der Regel von japanischen Instituten vorgenommen werden. Ausländische Unternehmen verfügen nur selten über Experten, die sich innerhalb der komplexen japanischen Bestimmungen zurechtfinden. Je nach Produktgruppe kann eine Zulassung bis zu 10 Jahre erfordern. Dieses Verfahren ist geeignet den Einstieg ausländischer Unternehmen zu erschweren oder auch unmöglich zu gestalten. Nach Ablauf dieser Zeitspanne ist ein Schutz durch Copyright häufig nicht mehr möglich, weil das Produkt veraltet ist. Da die Tests von japanischen Instituten durchgeführt wurden ist der Informationsfluss häufig für ausländische Unternehmen in der stark vernetzten japanischen Gesellschaft nicht kontrollier- oder nachvollziehbar. Viele Unternehmen realisierten nach langer Zulassungszeit beim Markteinstieg, dass bereits japanische Unternehmen mit Kopien auf dem Markt waren.

Die Zuordnung von Produkten in Produktgruppen die eine lange Zulassung erfordern muss ebenfalls als Form der Diskriminierung ausländischer Unternehmen gesehen werden. Die Umleitung japanischer Videorekorder auf das nur mit zwei Zollbeamten und einer kleinen Lagerhalle ausgerüstete Zollamt in Poitiers (vgl. 5.4.3.1) war die französische Antwort auf einen gescheiterten Versuch eines französischen Unternehmens Tee nach Japan zu exportieren. Die Japaner hatten den Tee als Medizin eingestuft und die üblichen Langzeittestes eingeleitet. Nach einer Woche türmten sich vor dem Zollamt in Poitiers die Videorekorder unter freiem Himmel. Der japanische Botschafter erhielt ein entsprechendes Foto und einige Tage später konnten Tee und Videorekorder ohne weitere Probleme die jeweiligen Grenzen passieren. Durch diese und ähnliche Konfrontationen haben die Nichttariflichen Beschränkungen im Laufe der letzten 30 Jahre abgenommen. Japan ist jedoch charakterisiert durch eine Käufermentalität, die in zwei Aspekten ebenfalls eine Nichttarifliche Beschränkung darstellt: Japaner kaufen bevorzugt von Bekannten und sie betrachten ausländische Produkte tendenziell als minderwertig.

Die eng vernetzte japanische Gesellschaftsstruktur hat zur Folge, dass man als Japaner für jedes Produkt über einen mehr oder weniger engen Freund oder Bekannten verfügt, der dieses vertreibt. Bei diesem Bekannten wird der Japaner kaufen, und kann sich eines guten Services sicher sein. Es spielt nur eine untergeordnete Rolle ob der ausländische Konkurrent das gleiche Produkt günstiger anbietet. Das uneingeschränkte Vertrauen der Japaner in japanische Produkte nimmt manchmal groteske Formen an. Jeder Japaner wird bestätigen, dass in Japan auf hohe Qualität Wert gelegt wird. Diese wird jedoch so gut wie nie mit ausländischen Produkten assoziiert. Autos der Marken BMW, Mercedes und Porsche stellen einige der wenigen Ausnahmen dar. Der in manchen Bereichen schlechte Standard japanische Produkte führt zu Situationen wo Japaner stur den Kauf japanische Produkt mit seiner Hochwertigkeit verteidigen, obwohl im direkten Vergleich das Gegenteil offensichtlich ist. Diese Einstellung ist der exportorientierten japanischen Wirtschaft förderlich, kann aber in Einzelfällen zu Problemen führen. Durch die rückläufige Reisproduktion im Inland ist Japan seit den 90er Jahren gezwungen Reis zu importieren. Da diesen Reis zu Beginn niemand kaufen wollte, wurde der japanische Reis nur zusammen mit amerikanischem Reis verkauft.

Als letzter Aspekt japanischer Nichttarifärer Beschränkungen ist die Preisabsprache japanischer Unternehmen zu nennen. Diese hat in Japan Formen, die Europa strafrechtliche Konsequenzen hätten. Als Beispiel kann ein gemeinsamer Werbespott der Präsidenten der drei großen japanischen Bierproduzenten (gemeinsamer Marktanteil ca. 98%) dienen, die in dem Fernsehspot erst gemeinsam den Geschmack japanischen Biers generell lobten um sich anschließend zu entschuldigen aufgrund von steigenden Rohstoffpreisen auch den Preis des Endproduktes anheben zu müssen. Um dem japanische Konsumenten die freie Wahl nur nach seinen persönlichen Geschmacksvorlieben zu ermöglichen, waren die drei Firmenbosse übereingekommen die Preise aller drei Marken um 10 Yen anzuheben. Bier hat in Japan seitdem den Einheitspreis von 130 Yen pro Dose. Das Vorgehen wurde von allen Seiten als besonders verbraucherfreundlich gelobt.

Ähnliches kennt man aus Europa nur im Bereich der multinationalen Energiekonzerne. In dieser Offenheit ist es in Europa ohne Entsprechung.

5.4.1 Zwischenfazit Marktsituation

Der Marktsituation wird innerhalb der Arbeit deshalb ein so großer Raum eingeräumt weil hier ein zentraler Grund gesehen werden muss warum der Gebäudestandard in Japan sich in den letzten Jahren nicht verbessert hat. Die international tätigen Firmen und wirtschaftlichen Know-how Träger werden gezielt an der Markterschliessung in Japan gehindert. Obwohl in Japan theoretisch alle Technologien zur Verfügung stehen, sind diese deshalb faktisch nicht zu erhalten. Von Seiten des japanischen Verbrauchers fehlt die Kenntnis vom Entwicklungsstand ausländischer Technologien, die er im Ausland bestellen könnte. Aus diesem Grund wird lieber japanischen Produkten vertraut. In Japan gab es 2006 einen einzigen Pelletofen[19]. Ein japanischer, ökologisch interessierter Architekt hatte eine Weile in Deutschland Urlaub gemacht und ihn importiert.

Die Verwendung Nichttarifärer Beschränkungen ist für wirtschaftliche Know-how Träger ärgerlich. Sie wäre aber ökologisch kein Problem, wenn parallel zur Abschottung des Marktes eigenes Know-how aufgebaut würde und dann aus eigenen Kräften eine Verbesserung realisiert werden würde. Warum dies nicht der Fall ist soll im Folgenden betrachtet werden.

5.5 Forschungssituation in Japan

Die Forschungssituation in Bezug auf den Gebäudesektor in Japan entspricht der Marktsituation. Der japanische Forschungsstand im Bereich Bauphysik ist in erster Annäherung nicht existent. Es existieren vereinzelte Institute, die Energieverbräuche dokumentieren, dies konzentriert sich jedoch auf die für die Rahmenrichtlinien des Kyoto Protokolls notwendigen Daten. Durchgeführt werden die Erhebungen und Berechnungen von meteorologisch geschulten Wissenschaftlern. Die Schnittstelle zu Gebäuden leidet entsprechend. Die drei wichtigen Forschungsfelder zum Thema Gebäude werden im Folgenden kurz einzeln diskutiert:

- **Energiebedarfsberechnungen**
In Japan existiert kein belastbares Berechnungsmodell für den Energiebedarf von Gebäuden. Ohne dieses aber ist keine belastbare Diskussion der Auswirkung von Strategien zur Verbesserung des Gebäudestandards absehbar. Als erster Schritt müsste die Einführung eines verbrauchsorientierten Gebäudeausweises erfolgen, um einen Überblick über die aktuelle Situation zu erreichen. Auf der Basis der aktuellen ISO Normen können aber bereits jetzt auch für Japan Monatsbilanzen berechnet werden auch wenn für eine höhere Genauigkeit Vergleiche mit realisierten Gebäuden und ein entsprechender Angleich der verwendeten Konstanten notwendig werden wird.
- **Primärenergieketten/ Lebenszyklusanalysen**
Die Erstellung von Primärenergieketten und LCA Studien ist in hohem Masse von der Kooperation der produzierenden Industrie abhängig. Hier sind aufgrund des starken Konkurrenzkampfes der japanischen Firmenkonsortien untereinander Schwierigkeiten absehbar. Alle diese Unternehmen mit denen im Rahmen dieser Arbeit Gespräche zu diesem Thema geführt wurden waren sehr an entsprechenden Daten aus der Schweiz und aus Deutschland interessiert, aber nicht im geringsten bereit eigene Produktionsverfahren offen zu legen. Von japanischer Seite sind deshalb nur in geringem Umfang Daten auch in Bezug auf den Grauen Energiegehalt von Baustoffen verfügbar.
- **Bauphysik**
Die Bauphysik ist als in der Breite angewandte Wissenschaft in Japan nicht vorhanden. Sehr vereinzelt gibt es Wissenschaftler die die internationale Bauphysikszene verfolgen und in kleinem Maßstab eigene Projekte in diesem Bereich vorantreiben. Bauphysik ist in Japan kein Bestandteil der Architekturausbildung. Unabhängig als Bauphysiker ausgebildete Gutachter sind nicht vorhanden. Auftretende Schadensfälle werden von Ingenieuren der Baufirmen bearbeitet.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass es an Basiskenntnissen fehlt, die global frei verfügbar sind. Der freie Wissensaustausch über Veröffentlichungen und Konferenzen, der in anderen Wissenschaften problemlos funktioniert ist im Gebäudebereich nicht vorhanden.

Ein wichtiger Grund hierfür ist, dass sich die Erkenntnisse und Veröffentlichungen im Bereich der Bauphysik und der Gebäudebilanzierung meist auf gemäßigte Klimazonen konzentrieren. Die aus diesen Regionen abgeleiteten Erkenntnisse sind für die japanischen Rahmenbedingungen nicht direkt verwertbar und führten in vielen Fällen zu Bauschäden. Ohne vorhandene Hintergrundkenntnisse war das Resümee der Japaner in den 90er Jahren, dass derartige Konzepte in Japan unangebracht und sinnlos wären. Erst in den letzten Jahren orientiert sich die Bauphysik zunehmend auch in subtropische Klimazonen und untersucht spezifische Probleme dieser Zonen. Die Situation sollte sich folglich bereits verbessern.

Ein nicht zu unterschätzendes Hindernis bei dem Versuch einen Anschluss an den globalen Forschungsstand zu erreichen sind Entfernung und die Sprachbarriere. Es erfordert einen bedeutenden Aufwand für interessierte Japaner dar, Europa zu besuchen, Ansprechpartner ausfindig zu machen und Beispiele zu besichtigen. Der Austausch unter Fachleuten oder gar die Kooperation mit europäischen Büros und Firmen ist folglich bestenfalls schleppend. Als noch relevanter muss die Sprachbarriere betrachtet werden. Die meisten Japaner sprechen kaum oder nur schlecht Englisch. Dies muss als mittelbare Folge der Entfernung von englischsprachigen Ländern und des für Japaner ungewohnten Sprachbildes gesehen werden. Gute Englischlehrer sind sehr selten in Japan. Die Verbesserung der Sprachkenntnisse in der japanischen Bevölkerung geht seit vielen Jahren nur schleppend voran. Einzig in den akademischen Kreisen der globalisierten Forschungsfelder (Chemie, Physik, Medizin und Mathematik) kann sie als gut bezeichnet werden. In diesen Fächern ist spätestens mit der Promotion ein mehrjähriger Aufenthalt im englischsprachigen Ausland Pflicht. In der Baubranche ist dies nicht der Fall. Es findet sich aus diesem Grund auch an den Eliteuniversitäten Japans kaum ein Professor, mit dem eine fachliche Unterhaltung ohne Übersetzer möglich wäre. Die Arbeit mit einem Übersetzer gestaltet sich jedoch ebenfalls schwierig. Für viele Worte (z.B. Dampfdiffusion) gibt es in der japanischen Sprache weder Schriftzeichen noch ein Wort. Für eine annähernde Beschreibung ist bei dem Dolmetscher aber in vielen Fällen das Verständnis für die Materie nicht vorhanden. Das Problem mutet lächerlich in seiner Einfachheit an. Innerhalb des Kobunaki Projektes vergingen jedoch zwei Monate mit im Mittel zwei bis drei Diskussionsrunden pro Woche bis das Thema der Dampfdiffusion und Kondensation im Bauteil annähernd verstanden worden war und entsprechende japanische Wörter und Kanji (Schriftzeichen) recherchiert und zugeordnet waren. In der folgenden Zeit wurde festgestellt, dass die für die Berechnungen notwendigen Werte von den Baustoffherstellern nicht geliefert werden konnten.

Aus dieser Situation entsteht eine nicht zu unterschätzende Scham. In einer Kultur, wo das Gesicht zu wahren ein zentrales Bestreben jedes Menschen ist, fällt es enorm schwer eine schlechte Leistung einzugestehen oder zuzuweisen. Aus diesem Grund werden solche Zuweisen auch nur in extrem bedeutenden Situationen getroffen. Eine Verbesserung des Gebäudestandards ist in vielen Fällen nicht wichtig genug für ein Machtwort des Firmenpräsidenten. Die Bemerkung man müsse am besten noch einmal sehr gründlich über die Sache nachdenken ist die direkteste Aussage die in zwei Jahren Japanaufenthalt zu diesem Thema gefallen ist. Aus dem gleichen Grund veröffentlichen japanische Wissenschaftler nur sehr selten eigene Projekte in internationalen wissenschaftlichen Journalen, was wiederum die Informationsbeschaffung aus dem Ausland behindert.

5.5.1 Fazit

Ist im Bereich der Wirtschaft in der Abschottung von Märkten ein gewisser Sinn zu erkennen, gilt dies im Forschungsbereich nicht. Die japanische Forschungsszene im Gebäudebereich ist international isoliert. Die aktuellen japanischen Projekte sind vergleichbar mit der ersten Bewegung ökologischer Architekten in Deutschland in der 70er Jahren. Das japanische Klima ist insbesondere in Bezug auf die hohe Luftfeuchtigkeit und das stark schwankende Nutzerverhalten deutlich komplexer als die Situation in gemäßigttem Klima.

5.6 Notwendige Veränderungen im baukonstruktiven Bereich

Japan befindet sich in Bezug auf seinen Gebäudebestand in einer schwierigen Lage. Von politischer Seite ist mehr Unabhängigkeit von Rohstoffimporten und ein Erreichen der Kyoto Zielsetzungen ein erklärtes Ziel. Daneben wird von Seiten der Konsumenten der Ruf nach einer Verbesserung der Wohnungsstandards langsam aber stetig lauter.

Die wirtschaftliche Struktur Japans und die Abgeschlossenheit seines Marktes haben in den vergangenen Jahren Japan als Exportnation erstarken lassen. In der Folge hat das Land sich jedoch auch von der Entwicklung im Niedrigenergiegebäudektor abgeschottet, Entwicklungstendenzen ignoriert und sich auf einmal getroffene strategische Entscheidungen verlassen. Die Baufirmen sind aufgrund ihrer Größe und Struktur jetzt nur schwer in der Lage sich den veränderten Anforderungen anzupassen und die Fachingenieure die diese Anforderungen und die resultierenden Veränderungen prognostizieren könnten fehlen dem Land. Um die Tragweite der erforderlichen Veränderungen darzustellen soll im Folgenden die notwendige Veränderung in der Detailausbildung untersucht werden wenn allein dichtere Gebäude angestrebt werden.

5.6.1 Detailgegenüberstellung

Die angestrebten Veränderungen erfordern ein grundsätzliches Umdenken auch bei der Detailausbildung. Die Konsequenzen der Notwendigen Veränderungen reichen von trivial über notwendige kulturelle Anpassungen bis hin zur Notwendigkeit von Feldversuchen um Erfahrungswerte sammeln zu können.

Anhand von drei Gegenüberstellungen von jeweils einem etablierten japanischen und einem auf der Basis europäischem Know-hows angepassten Regeldetails sollen im Folgenden die Konsequenzen einer Neuorientierung zu dichter Bauweisen deutlich gemacht werden.

Hierzu wird wie folgt vorgegangen:

- Beschreibung der aktuellen Lösung
- Beschreibung der aus der aktuellen Lösung resultierenden Problematik
- Formulieren eines generellen Lösungsansatzes
- Beschreiben von Hemmschwellen für die Realisierung dieses Lösungsansatzes

Abschließend werden sowohl die aktuelle als auch die vorgeschlagene Lösung zeichnerisch gegenübergestellt.

5.6.1.1 Traufe

Die Diskussion des Traufpunktes dient als Beispiel für ein technisch problemlos zu veränderndes Regeldetail mit politischen Hemmschwellen.

- **Aktuelle Situation**
Die Regeldetails aller in Japan verwendeten Konstruktionssysteme sehen am Traufpunkt einen Dachüberstand vor. Dieser wird realisiert indem der Sparren auf der Außenwand aufliegt und in den Außenraum durchläuft.
- **Problem**
Der Sparren durchstößt die Außenhülle und somit die winddichte Ebene. Da winddichte Ebenen in den Regularien nicht vorgesehen sind spielte diese Betrachtung bei der Normentwicklung für Regeldetails keine Rolle
Der Sparren lässt sich im Bereich der Traufe nicht wirksam abdichten und in Verbindung mit der hohen auftretenden Luftfeuchtigkeit resultieren Rissbildung und Schimmel sobald eine winddichte Ebene etabliert werden soll.
- **Lösungsvorschlag**
Das Problem lässt sich problemlos durch einen aufgedoppelten Sparren lösen. Durch diese Konstruktion würde das in Japan übliche Warmdach einem unterlüfteten Dach weichen. Die winddichte Ebene ließe sich so einfach führen und eine Rissbildung könnte vermieden werden, da der Sparren nicht mehr in einem ausgeprägten Feuchtigkeitsgefälle liegen würde. Die Veränderung des Detailpunktes hätte keine statischen Veränderungen zu Folge.
- **Hemmschwellen**
Die japanischen Systeme sehen für alle Detailpunkte eine Reihe von Regelösungen vor. Bewegt sich der Architekt innerhalb dieser Lösungen ist der Bauantrag eine reine Formalie. Alle Lösungen außerhalb des Detailkataloges sind Sonderlösungen, die in vielen Fällen aufwendig geprüft werden müssen. In diesem Fall kann ein Bauantrag sich über Monate hinziehen und viel Geld kosten. Dieser ökonomische Aufwand ist im Einfamilienhausbereich von Käufer meistens nicht tragbar.
Spezifisch im Bereich der Traufe war von Seiten der zuständigen Behörden kein Entgegenkommen zu erreichen. Dies ist umso unverständlicher, als die statischen Verfahren zur Berechnung einer ausreichenden Steifigkeit des Hauses das Dach nicht berücksichtigen dürfen.

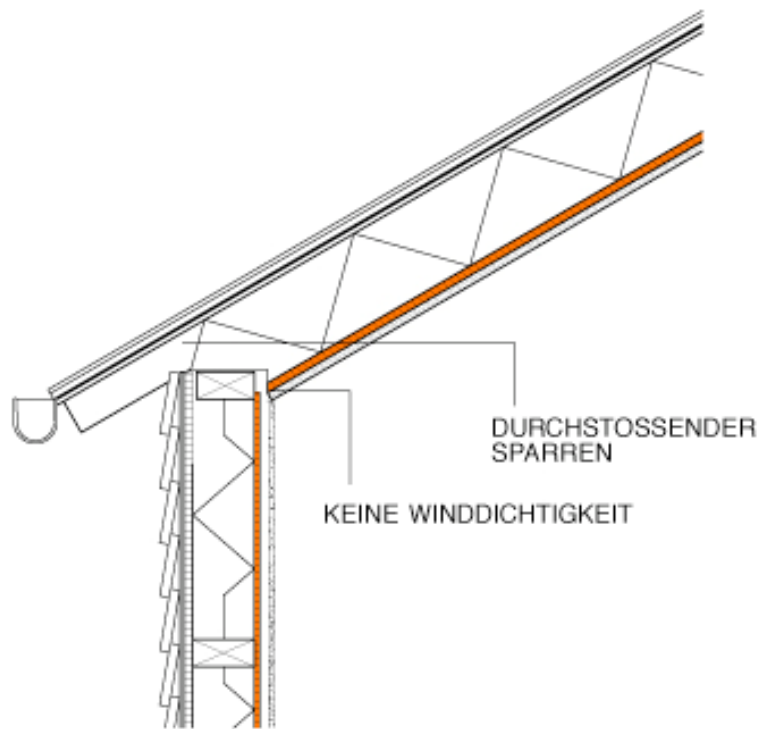
Der Traufpunkt kann als Beispiel für einen technisch trivial zu lösenden Punkt dienen, der an mangelndem Verständnis und nicht vorhandenen Willen zu Veränderung aktuell scheitert.

Die vorgeschlagene Lösung eines Kaldaches anstelle der etablierten Warmdächer ist aber beispielhaft für die Schaffung von Anpassungsmöglichkeiten zu sehen. Ein Warmdach ist bauphysikalisch geprägt durch die Wasserführende Ebene. Insbesondere bei flach geneigten Dächern resultiert aus der notwendigen Wasserdichtigkeit dieser Ebene auch ein hoher Dampfdruckdurchlasswiderstand. Auf diesen muss auf der Innenseite baukonstruktiv reagiert werden. Dies führt insbesondere bei Holzbauweisen zu Problemen, da durch im Bauprozess entstehende Durchdringungen (Schrauben, Nägel) die Notwendige bauphysikalische Qualität häufig nicht gewährleistet werden kann.

Die Verwendung eines Kaldaches trennt die Wasserführende Schicht von den in Bezug auf die Dampfdiffusion aktiven Wandbauteilen durch eine Luftschicht. Auf diesem Weg kann der Wandaufbau deutlich diffusionsoffener entwickelt werden, was insbesondere auf der Innenseite erheblich größere Spielräume eröffnet. Die Wahl eines Kaldaches in Klimazonen in denen Erfahrungswerte fehlen ist eine gutes Beispiel mit welchen baukonstruktiven Maßnahmen Bauschäden insbesondere in ersten Testgebäuden vermindert werden können und wie Bauteile für Gesamtkonzepte (z.B. die Feuchteregulierung durch die Dachelemente) als Variable offen gehalten werden können statt im Vorfeld durch Festlegungen Einschränkungen zu formulieren.

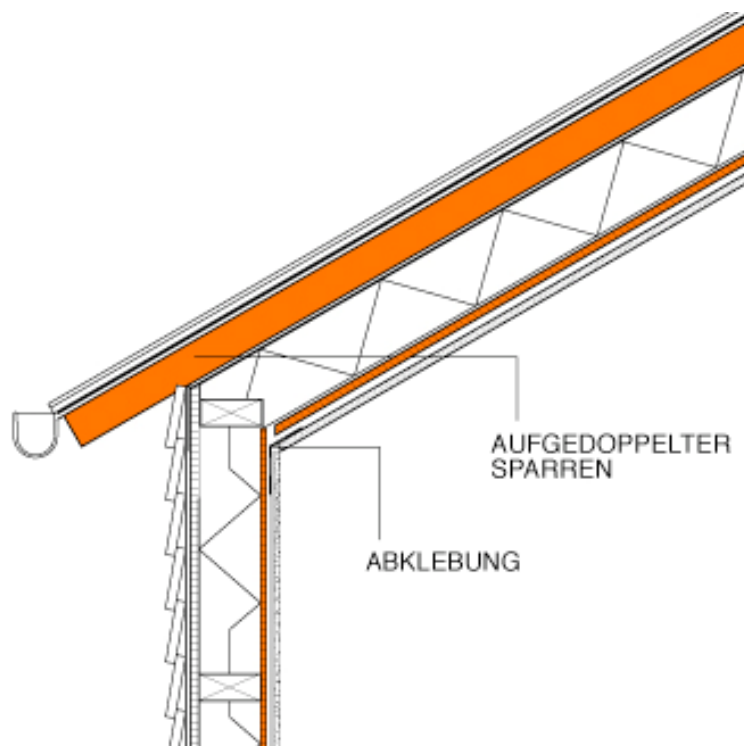
5.6.1.2.1 Zeichnerische Gegenüberstellung Traufe

Traufe aktuell:



Kapitel 5 Zeichnung 5.1: Traufe etabliert

Traufe vorgeschlagen:



Kapitel 5 Zeichnung 5.2: Traufe optimiert

5.6.1.2 Fenster

Die Diskussion der Fensteranschlüsse dient als Beispiel für ein technisch aufwendig zu lösendes Problem mit kulturellen Hemmschwellen.

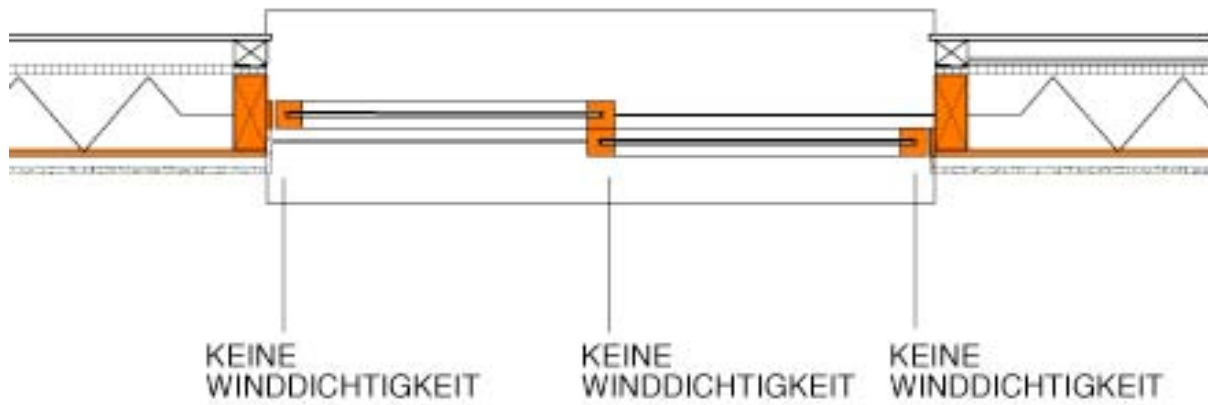
- **Aktuelle Situation**
In japanischen Wohngebäuden werden auch aktuell noch Schiebefenster verwendet. Als Verglasung wird Einfachverglasung verwendet, die Rahmen sind aus thermisch nicht getrennten Aluminiumprofilen, seltener (insbesondere in älteren Gebäuden) auch aus Holz.
- **Problem**
Diese verwendeten Elemente sind nicht winddicht, was zu hohen Luftwärmeverlusten führt. Durch den im Bereich der Fugen vorhandenen Luftzug kondensiert in diesen Bereichen zudem viel Feuchtigkeit was zu Schimmelbildung führt.
Der schlechte Dämmstandard von Verglasung und Rahmen begünstigt Kondensation und bedingt eine hohe Strahlungsasymmetrie.
- **Lösungsvorschlag**
Das Problem kann entweder durch aufwendig konstruierte winddichte Schiebeelemente gelöst werden, die sich mechanisch gegen die Öffnung abdichten lassen oder durch die Verwendung von Dreh-Kippbeschlägen. Diese können z.B. nach außen öffnend vorgesehen werden, was die Probleme im Innenraum minimiert.
Als Verglasung ist eine 2-fach Verglasung zu empfehlen.
- **Hemmschwellen**
Die Verwendung einer aufwendigen Methode zu Abdichtung eines Schiebeelementes würde zwangsläufig zu einer optischen Veränderung führen. Mit der filigranen Optik der etablierten Fenster ist dies nicht vereinbar. Eine solche Lösung, die durchaus auch aus Europa lieferbar wäre, ist zudem sehr teuer.
Die Verwendung europäischer Dreh- Kippbeschläge hätte ebenfalls optische Veränderungen zur Folge. Zusätzlich stellt das Fenster in diesem Fall in geöffnetem Zustand ein störendes Hindernis im Raum dar. Es handelt sich aber um die deutlich günstigere Variante.
Nach Außen öffnenden Fenstern steht die enge Bauweise insbesondere im städtischen Raum in Japan entgegen. Japanische Wohnungen liegen oft so dicht nebeneinander (es gibt keine Mindestabstände zu den Grundstücksgrenzen), dass zu den Seiten diese Elemente nicht in Frage kommen. Die Kosten für ein größeres Grundstück übertreffen in diesen Regionen die Kosten für ein dichtes Schiebeelement um ein Vielfaches.

Beiden möglichen Lösungen für das technisch kurzfristig lösbare Problem stehen Nutzergewohnheiten und kulturelle Hemmschwellen gegenüber. Ohne Überzeugungsarbeit von Seiten des Architekten wird kaum ein japanischer Bauherr eine solche Lösung wählen.

Der Aufwand eine dichte Lösung für den Fensterpunkt zu finden sollte aus Gründen der Synergie dazu führen auch eine deutlich höherwertige Verglasung zu verwenden, da diese beiden Maßnahmen nur in Kombination die Bilanz des Fensters deutlich verbessern.

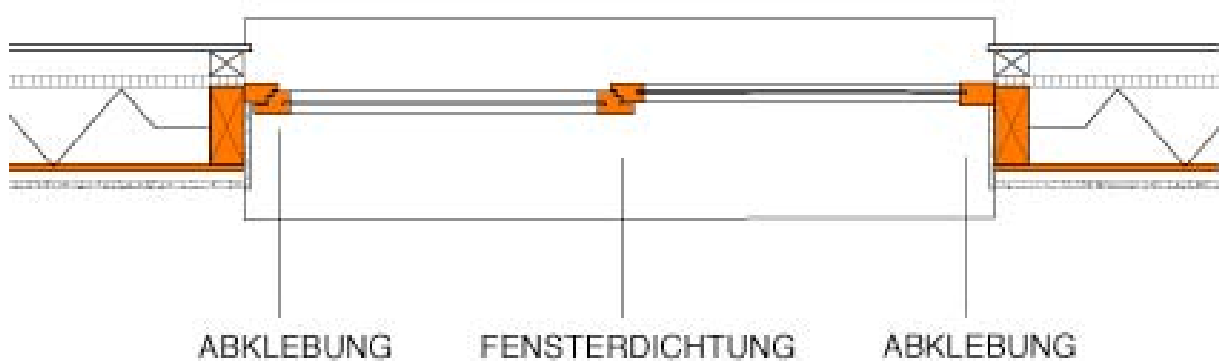
5.6.2.2.1 Zeichnerische Gegenüberstellung Fenster

Fenster aktuell:



Kapitel 5 Zeichung 5.3: Fenster etabliert

Fenster vorgeschlagen:



Kapitel 5 Zeichung 5.4: Fenster optimiert

5.6.1.3 Sockel

Die Diskussion des Sockels dient als Beispiel für ein technisch aufwendig zu lösendes Problem mit zusätzlichem Forschungsbedarf und notwendigen Feldversuchen.

- **Aktuelle Situation**
Ein Großteil der in Japan etablierten Konstruktionssysteme sieht für Einfamilienhäuser unterlüftete Sockelbereiche vor. Diese werden in Form einer Betonschale realisiert. Im Luftraum unter dem Gebäude werden die Leitungen verteilt und an den jeweils gewünschten Orten durch die Hülle geführt.
- **Problem**
Die zahlreichen Durchdringungen der Gebäudehülle ohne entsprechende Abdichtungen führen zu starkem Luftwechsel in diesem Bereich mit den bekannten Problemen. Die Verteilung der Leitungen außerhalb der thermischen Hülle führt ggf. zu Problemen bei sehr niedrigen Außentemperaturen. Wärmeverluste treten in Fällen auf wo auch warmes Wasser in diesem Bereich verteilt wird.
Neben den Abdichtungsproblemen ist aufgrund der mangelnden Durchlüftung die Region unter dem Gebäude ein bauphysikalisch problematischer Bereich. Bei kleineren Undichtigkeiten oder Kondensation an den Wasserleitungen im Sommer entsteht hier fast zwangsläufig Schimmel. Die in bestehenden Gebäuden gemessene Sporenbelastung der Luft ist extrem hoch.
- **Lösungsvorschlag**
Für das Problem bieten sich zahlreiche sehr grundsätzliche Lösungsmöglichkeiten an. Eine zentrale Zuleitung sollte die diversen Durchdringungen ersetzen. Die Leitungen sollten innerhalb der Hülle verteilt werden. Eine solche Lösung ließe sich problemlos über existierende Produkte abdichten.
Für die Ausbildung der Betonsohle ist entweder eine ausreichende Durchlüftung oder die Umstellung auf eine Sohlplatte vorzusehen. Für beide Varianten liegen aber keine belastbaren Referenzobjekte vor, die eine funktionierende Dimensionierung der Maßnahmen zeigen.
- **Hemmschwellen**
Die vorgeschlagenen Lösungen sind nicht mit dem aktuellen Baurecht vereinbar und somit nicht oder nur nach aufwendigen Einzelnachweisen genehmigungsfähig. Da keine funktionierenden Beispiele vorliegen sind ggf. entsprechende Feldversuche notwendig.

Alle vorgeschlagenen Varianten würden massive Veränderungen der japanischen Bauteilkataloge und entsprechende Forschungs- und Entwicklungsarbeit erfordern.

Die Suche nach geeigneten baukonstruktiven Lösungen für den Sockelpunkt ist ein gutes Beispiel für die Folgen einer vergleichsweise einfachen Anforderung. Durch die geforderte bessere Dämmung des Fussbodens und eine dichtere Bauweise kann Klimatisierungsenergie gespart werden. Eine dichtere Bauweise lässt sich konstruktive einfacher lösen, wenn die Anzahl der Durchstoßpunkte minimiert wird.

Die Leitungsverteilung ändert sich demnach und erfolgt nun im Innenraum, was entsprechende Ebenen zu Leitungsführung erfordert.

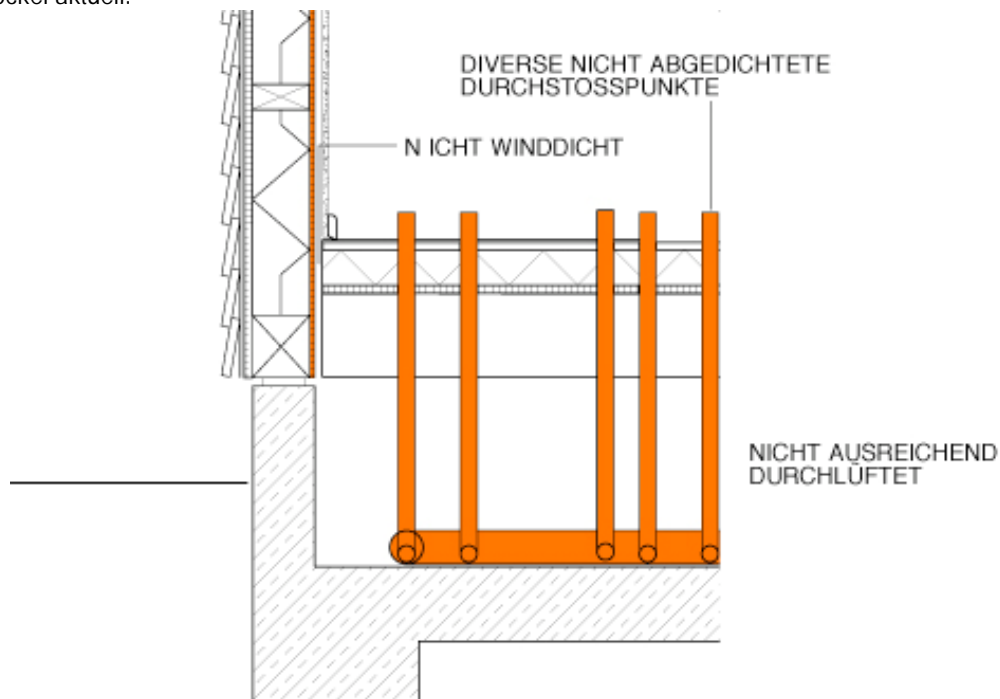
Die bessere Dämmung führt unmittelbar zu einer geringeren Temperatur des Luftraumes unter dem Gebäude mit der resultierenden Gefahr von Frostschäden an den Wasserleitungen. Diese müssen als Folge nun aufwendig gedämmt werden.

Um Schimmel zu vermeiden ist der Luftraum unter dem Gebäude zudem besser zu belüften, was die Frostgefahr zusätzlich verschärft.

Als Folge eines dichteren und besser gedämmten Gebäudes ändern sich zahlreiche Systemkomponenten und in der Mehrzahl resultiert ein Mehraufwand. Für diese aufwendigen Veränderungen vor dem Hintergrund eines Gesamtkonzeptes Akzeptanz zu erreichen, und zu gewährleisten dass diese Lösungen auf der Baustelle auch umgesetzt werden ist eine enorme Herausforderung.

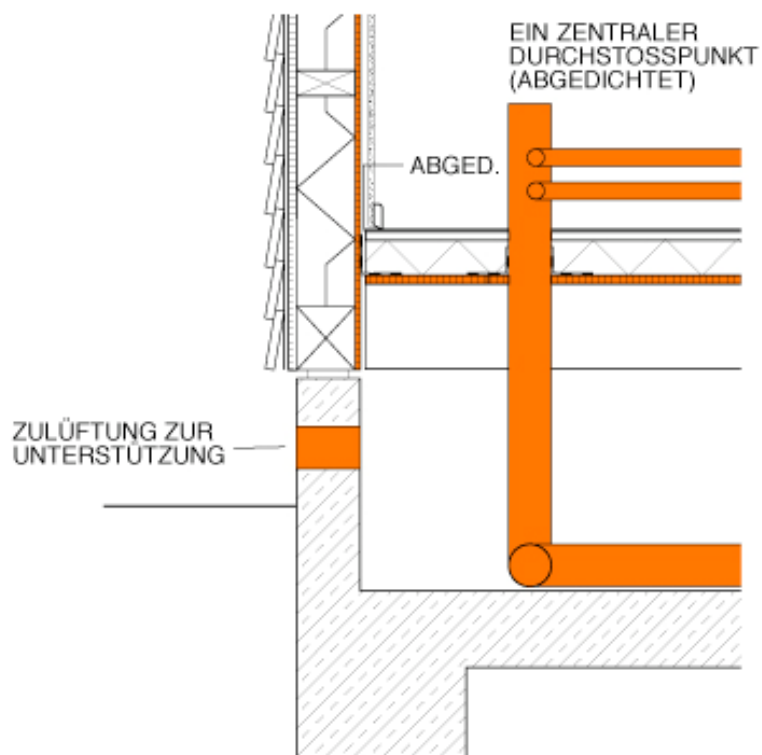
5.6.1.3.1 Zeichnerische Gegenüberstellung Sockel

Sockel aktuell:



Kapitel 5 Zeichnung 5.5: Sockel etabliert

Sockel vorgeschlagen:



Kapitel 5 Zeichnung 5.6: Sockel optimiert

5.6.2 Fazit der Detailgegenüberstellung

Auch wenn die Punkte nur stellvertretend für die Detaillausbildung sind und in keiner Weise umfassend auf zukünftige Fragestellungen hinweisen können, wird doch deutlich dass der Veränderung des Gebäudestandards immer auch konstruktive Veränderungen bedingt. In diesem Bereich wird Japan in wenigen Jahren versuchen einen Prozess zu vollziehen der in Europa Jahrzehnte gedauert hat. Diesem Prozess stehen zahlreiche Hemmschwellen gegenüber, die in der Vergangenheit die Umsetzung optimierter Lösungen verhindert oder zumindest verlangsamt haben. Erst mit der wachsenden Erkenntnis um die Relevanz von Gebäuden für die weltweite Klimasituation wird in den letzten Jahren ein für eine Veränderung notwendiger Druck aufgebaut um diese Hemmschwellen zu überwinden.

5.7 Ausblick

Gebäude sind zu allen Zeiten komplexe Gebilde und das Ergebnis eines Abwägens verschiedener Teilaspekte. Ähnlich einem gelösten Rubik-Magic-Cube schaffen die besten Gebäude es alle Teilproblematiken sinnvoll zu lösen und in eine Balance zu bringen. Weniger gute Gebäude und erste Ansätze konzentrieren sich auf einen Aspekt und lösen ihn zu Lasten anderer, neuer Probleme. Analog zum Magic-Cube wird nur eine Farbe geordnet. Im Fall von Gebäuden beschränkt sich die Problematik nicht auf sechs Farben. Schon seit langem gilt es eine Vielzahl von Aspekten zu lösen, die beeinflusst durch den Zeitgeist ihren Stellenwert ständig verändern. Durch zunehmend besseres Verständnis der Rahmenbedingungen von Gebäuden nimmt die Anzahl der zu berücksichtigenden Aspekte zudem ständig zu. Einer der neueren Aspekte ist die innerhalb dieser Arbeit behandelte Energiebilanz. Vor dem Hintergrund der mit ihr zusammenhängenden Klimaveränderung wird die Bedeutung dieses Aspektes in naher Zukunft deutlich wachsen. Dies gilt umso mehr als neueste Messungen deutlich negativere Entwicklungen vermuten lassen als in Kapitel 2 angenommen. Aus diesem Grund werden sich weltweit Energieversorgung und Gebäudekonzepte ändern und anpassen müssen. Hier liegen eine Entwicklungschance und ein Markt der kaum überschätzt werden kann.

Wie die angesprochene Teillösung eines Rubik-Cube mit nur einer Fläche konzentriert sich die vorliegende Arbeit auf den Teilaspekt der Energiebilanz. Die berechneten Gebäudekonzepte sind nicht als endgültige Lösung zu verstehen. Insbesondere Kapitel 5 zeigt die Vielfältigkeit der Rahmenbedingungen auf, die zu berücksichtigen sind. Es wird aber als wichtig erachtet einen in Bezug auf die Energiebilanz idealen Wert ermitteln zu können. Im abwägen zwischen den idealen Lösungen aller relevanten Teilaspekte gilt es für den Architekten die für den Standort richtige Lösung zu finden. Aspekte für die keine Ideallösung benannt werden kann werden hierbei fast zwangsläufig zu kurz kommen. Soweit dies im Rahmen der Arbeit möglich war wurde versucht möglichst realistische Bedingungen für ein reales Gebäude anzunehmen, bzw. zumindest die Auswirkungen dieser Annahmen auf die Bilanz zu beschreiben.

Ein wichtiges Anliegen der Arbeit war hierbei die Verwendung eines brauchbaren Bilanzierungsrahmens durch die Einbeziehung der grauen Energie der Baustoffe. Auch wenn die Datenbasis hierzu in vielen Bereichen bereits belastbar so ist bei zunehmender Einbeziehung dieser Daten auch eine zunehmende Diskussion um ihre Richtigkeit zu erwarten. Die innerhalb dieser Arbeit verwendeten Rechenmodelle bleiben hiervon unberührt. Die berechneten Bilanzen müssen, wie bereits innerhalb der Arbeit diskutiert, gegebenenfalls angepasst werden.

Der zunehmenden Bedeutung der Energiebilanzen wird sich auch Japan nicht entziehen können oder wollen. Nicht entziehen können, da es wie alle Länder der Welt der globalen Klimaveränderung unterworfen ist und als Inselstaat besonders unter den Auswirkungen zu leiden hat. Nicht entziehen wollen, da eine Verbesserung des Gebäudebestandes der Gesundheit der Bewohner dient, Arbeitsplätze sichert und schafft sowie die Abhängigkeit von Rohstoffimporten deutlich senken kann.

Die in Zukunft realisierten Gebäude werden sich in der Folge den innerhalb dieser Arbeit berechneten Konzepten annähern. Erreichen werden sie diese durch den Einfluss anderer Rahmenbedingungen nicht. Kapitel Fünf zeigt Hemmschwellen auf die für eine Veränderung überwunden werden müssen. Die aktuelle Weltwirtschaftskrise muss hierfür als große Chance begriffen werden. Viele Unternehmen suchen in dieser Situation nach neuen Konzepten um neue Märkte zu erschließen und sich auf bestehenden Märkten besser zu positionieren. Diese Situation soll auch für Japan genutzt werden. Zusätzlich senken viele Länder weltweit die Leitzinsen und sorgen so dafür, dass Effizienzmaßnahmen sich schneller gegenüber einer Geldanlage schneller amortisieren. Auch der Effekt eines Misstrauens in Geldanlagen und eine Rückkehr zu Investitionen in reale Güter sollte nicht unterschätzt werden. In den USA ist gerade aufgrund des Ursprungs der Krise im Immobiliensektor eine

Investition gerade in Gebäude zweifelhaft, obwohl er sinnvoll wäre. Gerade der asiatische Markt ist hier deutlich objektiver.

Diese Arbeit kann als erster Schritt zu zukunftsorientierten Gebäudekonzepten in verschiedenen Klimazonen begriffen werden. Japan soll im nächsten Schritt stellvertretend für subtropische Klimaregionen behandelt werden. Zu Beginn ist hierzu eine Gebäudehülle zu entwickeln, die bauphysikalisch flexibel angepasst werden kann. Besonderes Augenmerk ist hierbei auf die Fähigkeit Feuchtigkeit zu speichern zu legen. Die Verbindung winddichter Bauweisen und feucht warmer Klimazonen kann, wie der Fall Japan zeigt, sonst schnell zu massiver Kondensation und Schimmel führen. Viele traditionelle Baustoffe und Technologien können hierbei ein Revival erleben. Andere können durch internationalen Know-how Transfer durch leistungsfähigere Baustoffe ersetzt werden.

Die geforderte Entwicklung einer flexiblen Gebäudehülle für subtropische Klimaregionen ist Basis eines von der Kommission für Technische Innovation (KTI) der Schweiz an der ETH Zürich finanzierten Forschungsprojektes und stellt die direkte Fortführung der vorliegenden Arbeit dar. Da die erfolgreiche Initiierung ohne die vorliegende Arbeit wenig wahrscheinlich gewesen wäre, und bereits jetzt absehbar ist, dass auf der erarbeiteten Basis und dem laufenden KTI Projekt in den nächsten Jahren in Zentraljapan optimierte Gebäude realisiert werden, betrachte ich die in die Arbeit investierte Zeit, trotz aller verbundenen Schwierigkeiten, als gut investiert.

Quellen Kapitel 5

- [1] METI: Housing and Land Survey 2003
- [2] Jyuri
- [3] <http://www.tokyu-homes.co.jp/>
- [4] METI: Housing and Land Survey 2003
- [5] JETRO: Japanese External Trade Organization <http://www.jetro.go.jp/>
- [6] eceee: European Council for an Energy Efficient Economy <http://www.eceee.org/>
- [7] <http://www.sangiin.go.jp/eng/index.htm>
- [8] <http://www.stat.go.jp/english/index.htm>
- [9] http://www.jetro.go.jp/germany/newsletter/index.html/jetroinfo_jun2006.pdf
- [10] <http://www.meti.go.jp/english/index.html>
- [11] National Statistical offices, VDMA
<http://www.vdma.org/wps/wcm/resources/file/eb7b3605d1ed905/18Exportranking.pdf>
- [12] <http://www.leitzinsen.info/>
- [13] <http://www.weltpolitik.net/Sachgebiete/Weltwirtschaft%20und%20Globalisierung/Grundlagen/Grundlagen/Fortsetzung1%3A%20Begriffe%20und%20Konzepte%20internationaler%20Wirtschaftsbeziehungen.html>
- [14] portal.wko.at/wk/dok_detail_file.wk?AngID=1&DocID=614118&StID=294837
- [15] Paul R. Krugman, Maurice Obstfeld: *Internationale Wirtschaft, Theorie und Politik der Außenwirtschaft*. 7. Auflage, München: Pearson Studium, 2006, S.254
- [16] Paul R. Krugman, Maurice Obstfeld: *Internationale Wirtschaft, Theorie und Politik der Außenwirtschaft*. 7. Auflage, München: Pearson Studium, 2006, S.257-258
- [17] Paul R. Krugman, Maurice Obstfeld: *Internationale Wirtschaft, Theorie und Politik der Außenwirtschaft*. 7. Auflage, München: Pearson Studium, 200, S.259
- [18] <http://wko.at/aws/AWS1024/PDF/au4103Arbeitsbl%E4tter.pdf>
- [19] Akihiko Kuriowa, <http://rokunana.blog65.fc2.com/>

Leitliteratur

Paul R. Krugman, Maurice Obstfeld: *Internationale Wirtschaft, Theorie und Politik der Außenwirtschaft*. 7. Auflage, München: Pearson Studium, 2006, ISBN 978-3-82737-199-7

Nicolas Baerlocher & Martin Bircher: *Japan. Selbstbild, Fremdbild* „Werte, Normen, Riten: Aspekte japanischer Wirklichkeit“ Essayistisches, Kulturwissenschaftliches, Kulturanthropologisches und Persönliches von 28 Autoren. Hg. Präsidialabteilung der Stadt Zürich. Offizin, Zürich 1993 ISBN 3907495454

Jürgen Kahl: *Länderanalyse Japan: Zwischen Reformverdrossenheit und Veränderungsdruck*, Internationale Politikanalyse, Friedrich-Ebert-Stiftung, Juni 2008

METI: Housing and Land Survey 2003

ABC: Asia business council: Why green buildings are the key to Asia's future – and why they aren't built, ISBN 10: 988-99565-1-9 ISBN 13: 978-988-99565-1-6

Verwendete Datenbanken/ Internetplattformen

<http://www.weltpolitik.net>

http://portal.wko.at/wk/dok_detail_file.wk?AngID=1&DocID=614118&StID=294837

<http://www.bundesregierung.de>

<http://www.meti.go.jp/english/index.html>

http://www.shugiin.go.jp/index.nsf/html/index_e.htm

<http://www.sangiin.go.jp/eng/index.htm>

Grafikverzeichnis

Kapitel 5 Abb. 5.1 Konstruktionsformen	161
Kapitel 5 Abb. 5.2 Haustypologien nach Besitzer für Japan.....	162
Kapitel 5 Abb. 5.3: Alter des Gebäudebestandes Japan	162
Kapitel 5 Abb.5.4: Energieeffizienzstandards in Japan und Deutschland.....	163
Kapitel 5 Abb 5.5: Energieverbrauch japanischer Haushalte	166
Kapitel 5 Abb 5.6: Langzeitzinsen weltweit 2003.....	170