

# GEBÄUDE MAXIMALER ENERGIEEFFIZIENZ MIT INTEGRIERTER ERNEUERBARER ENERGIEERSCHLISSUNG

**Dipl.-Ing. Raphael Bointner<sup>1</sup>**

Institut für Energiesysteme und elektrische Antriebe, Technische Universität Wien

Gusshausstraße 25-29/370-3, A-1040 Wien

Tel.: +43(0)1/58801-370372, Fax: DW370397

E-Mail: [Bointner@eeg.tuwien.ac.at](mailto:Bointner@eeg.tuwien.ac.at), Web: [www.eeg.tuwien.ac.at](http://www.eeg.tuwien.ac.at)

*„Haus der Zukunft Plus“ ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Es wird im Auftrag des BMVIT von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH und Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) abgewickelt.*

## 1 Einleitung

Der Primärenergieverbrauch in Österreich beruht zu einem großen Teil auf der Bereitstellung von Energiedienstleistungen in Gebäuden (Haushalte und Betriebe), größtenteils auf Basis fossiler Energieträger. Damit verbunden sind eine hohe Importabhängigkeit, eine kritische Versorgungssicherheit und immense Treibhausgasemissionen während des gesamten Lebenszyklus von Gebäuden. Unter diesem Hintergrund sind aus ökologischer und makroökonomischer Sicht eine nachhaltige Bereitstellung von erneuerbaren Energieträgern und energieeffiziente Systemlösungen anzustreben.

Die Konzeption energieeffizienter Bauteile der Gebäudehülle mit integrierter, erneuerbarer „Energieproduktion“ ist damit ein wichtiger Schritt und der zentrale Ansatzpunkt zur Gestaltung eines nachhaltigen Energiesystems durch Nutzung dezentral verfügbarer, erneuerbarer Energiequellen mit einer Verringerung der Treibhausgasemissionen und Verbesserung der Versorgungssicherheit sowie einer deutlichen Erhöhung der Energieeffizienz. Die langfristige Vision ist eine bebaute Umwelt, die „vom Energieverbraucher zum Lieferanten“ von Energie wird und somit dem innovativen Konzept eines „Plus-Energie-Hauses“ entspricht.

Die vorliegende Arbeit basiert auf diesem Ansatz und analysiert technische, ökonomische und ökologische Aspekte zur Implementierung eines Plusenergie-Gebäudestandards und nötiger politischer Maßnahmen zur Steuerung dieses Prozesses. Dies erfordert eine ganzheitliche Analyse des „Systems Haus“, die detaillierte Aspekte der Auslegung, Planung und Gestaltung von Gebäuden und Gebäudekomponenten umfasst. Dazu zählen unter anderem die Strom- und Wärmebereitstellung auf Basis erneuerbarer Energieträger, die thermische Energiespeicherung, konstruktive Maßnahmen zur Minimierung von Wärmebrücken und Sicherstellung langer Lebensdauer, architektonische und

<sup>1</sup> Weitere Beiträge zu dieser Arbeit stammen von:

Sara GHAEMI, Reinhard HAAS, Institut für Energiesysteme und elektrische Antriebe, Technische Universität Wien

Dietrich WERTZ, Institut für Energietechnik und Thermodynamik, TU Wien

Thomas BEDNAR, Markus LEEB, Paul WEGERER, Institut für Hochbau und Technologie, TU Wien

Klaus KREC, Karin STIELDORF, Institut für Architektur und Entwerfen, TU Wien

Rudolf BINTINGER, Sören EIKEMEIER, Gruppe Angepasste Technologie, Wien

Tina IPSEK, Tobias STEINER, Spherolight OG, Wien

städtebauliche Optimierungsstrategien im Gebäudebestand und im Neubau, Analyse der kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen über die gesamte Lebensdauer, die Ermittlung von Grundlagen zur Substitution elektrischer Energie durch thermische Energie, eine sozioökonomische Beschreibung der Technologiediffusion sowie eine abschließende Gesamtoptimierung unter Berücksichtigung aller Resultate hinsichtlich der relevanten Zielfunktionen wie Minimierung der Kosten und Treibhausgasemissionen und Maximierung der Energieerträge der Gebäudehülle in unterschiedlichen Szenarien. Die zentralen Fragestellungen der Arbeit sind mit den Zielsetzungen zur Erreichung eines Plus-Energie-Haus-Standards verknüpft, die wie folgt formuliert werden können: Das zentrale Ziel des Projekts „Gebäudeintegration“ ist es, die gesamte Gebäudehülle in dem Sinne optimal zu gestalten, dass – nach unterschiedlichen Kriterien für Neubau und Sanierung - Wärmeverluste minimiert und Gewinne aus der Nutzung erneuerbarer Energie maximiert werden.

## 2 Abstract

Energy supply services for buildings (including households and companies) are largely responsible for the primary energy consumption in Austria. Because the supply is mainly based on fossil energy sources, high import dependence and a curical security of energy supply linked with it are given. In addition, fossil energy sources cause immense greenhouse gas emissions during production process of components and the building operations, briefly about the whole life cycle. Under the background of these aspects, from ecological and macroeconomic view, a sustainable and secure supply of renewable energy sources and energy-efficient system solutions are aimed as objective.

The conception of energy-efficient components of the mantle with integrated renewable "energy production" is the prior step and central beginning point to the creation of a sustainable energy system with a clear rise of energy efficiency, reduction of greenhouse gas emissions and improvement of security of supply by use of renewable energy sources locally available. The long-term vision which is a matter to reach is a building sector that comes from an energy consumer to a supplier of energy and this corresponds to the innovative concept of an energy-plus-building.

Detailed scientific analysis take this reason to the present project concerning technical, economical and ecological aspects to the implementing of an energy-plus-building standard as well as required political measures to control this process. This requires an integral perception of the whole house as a system which includes comprehensive aspects from design, planning and creation of buildings as well as building components. This includes polygeneration based on renewable energy sources, thermal energy storage, constructive measures to the minimisation of thermal bridges and long time durability, architectural and spatial planning optimisation strategies in building rehabilitation and in building construction, analysis of the accumulated CO<sub>2</sub> emissions for the whole life cycle, the identification of fundamentals to the substitution of electric energy by thermal energy, a socio-economic description of the technology diffusion as well as a final whole optimisation of the collected results concerning relevant aims like minimisation of the costs and greenhouse gas emissions and maximisation of the energy yields of the building cover. The central questions of this work are tied together with the objectives for reaching an energy-plus-building standard which can be formulated as follows: The vital aim of the project "Gebäudeintegration (building integration)" is to form the building cover – to different criteria for construction and renovation - energy-efficient to minimise heat losses with integrated renewable energy supply systems.

### 3 Grundlagen der Modellierung eines Plusenergie-Gebäudes

#### 3.1 Modellgebäude

Es wurden verschiedene Varianten von Modellgebäuden definiert, wobei jede Variante durch unterschiedliche Merkmale gekennzeichnet ist. Kurz dargestellt kann folgende, grobe Unterscheidung getroffen werden:

- Wohngebäude (Kleingartenhaus, Ein- und Mehrfamilienhaus)
- Bürogebäude
- Gewerbebetrieb

In weiterer Folge behandeln wir hier nur Einfamilienhäuser. Nähere Informationen zu den anderen Gebäudetypen bietet das zugrunde liegende Projekt „Gebäudeintegration“.

Als Ausgangsbasis wurde das modellierte, "durchschnittliche" Einfamilienhaus in Passivhausbauweise herangezogen. Die maximale Fördergröße laut österreichischen Wohnbauförderungsgesetzen beträgt  $130 \text{ m}^2$  -  $150 \text{ m}^2$  (NFL), die durchschnittliche Nutzfläche bei Wohnungen von Hauseigentümern liegt laut Mikrozensus Statistik Austria 2008 bei  $134,1 \text{ m}^2$  bzw.  $135 \text{ m}^2$  2009. Das Gebäude verfügt über einen kompakten Baukörper (quadratischer Grundriss), 2 Geschosse (RH = 2,6 m), ist nicht unterkellert, ausgestattet mit Flachdach. Die Bruttogeschoßfläche beträgt  $179,36 \text{ m}^2$ , die Wohnnutzfläche  $126,11 \text{ m}^2$ .

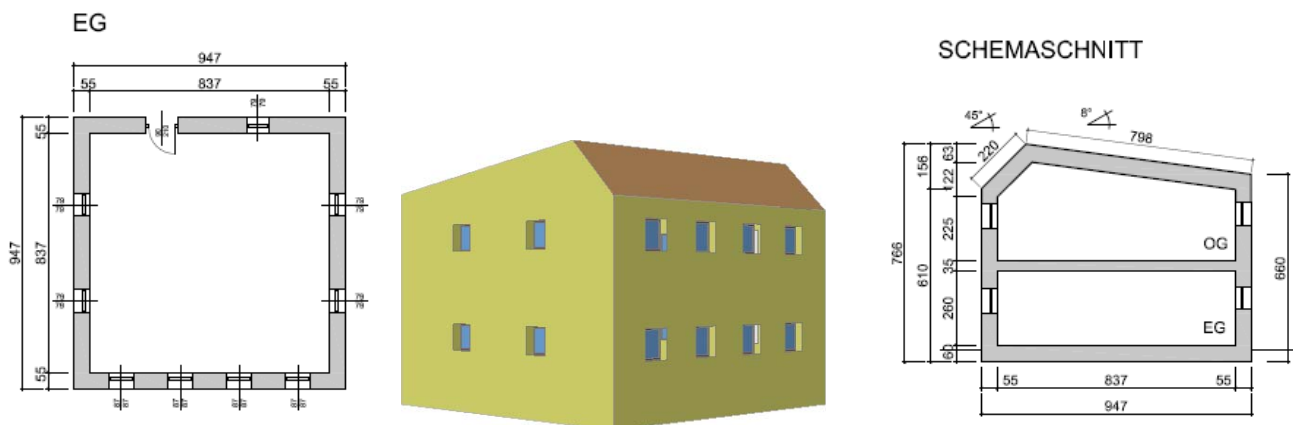


Abbildung 1: Beispiel Einfamilienhaus mit geneigter Dachfläche, kompakter Baukörper, zwei Geschosse (RH = 2,6 m), nicht unterkellert, einhäufiges Satteldach, Wohnnutzfläche  $126,11 \text{ m}^2$

Zur Ermittlung der Optimierungspotentiale im Neubau ist eine Analyse der architektonischen Rahmenbedingungen für die Konzeption hocheffizienter Gebäude-Energiesysteme mittels Simulation an vier Typen von Modellgebäuden vorgesehen. Da für die Formulierung allgemeingültiger Planungsempfehlungen möglichst repräsentative Modellgebäude erforderlich sind, wurden für die Prototypenentwicklung Bebauungsbestimmungen, Förderrichtlinien, Benchmarks und statistische Daten herangezogen. Zur Weiterbearbeitung wurden die Modellgebäude jeweils grafisch aufbereitet und die Gebäudehülle flächenanteilig nach Eigenschaften wie Transparenz, U-Wert, Orientierung, usw. in Tabellen erfasst. Diese Tabellen enthalten außerdem jeweils eine kurze Gebäudebeschreibung sowie Informationen zum Baukörper (Kompaktheit, Nutzfläche, Bruttogrundfläche), zur Nutzung, zur Personenbelegung und zu den vorgesehenen Simulationsvarianten (vgl. Tabelle 1).

Bauteil	Fläche	U-Wert	Orientierung	Neigung	g-Wert
Außenwand	58,83 m <sup>2</sup>	0,12	0	0	
Außenwand	64,62 m <sup>2</sup>	0,12	90	0	
Außenwand	51,71 m <sup>2</sup>	0,12	180	0	
Außenwand	64,62 m <sup>2</sup>	0,12	270	0	
Geneigtes Dach	75,61 m <sup>2</sup>	0,1	0	8	
Geneigtes Dach	20,83 m <sup>2</sup>	0,1	180	45	
Bodenplatte	17,94 m <sup>2</sup>	0,15	TK1	-90	
Bodenplatte	15,94 m <sup>2</sup>	0,15	TK2	-90	
Bodenplatte	43,76 m <sup>2</sup>	0,15	TK3	-90	
Bodenplatte	12,04 m <sup>2</sup>	0,15	TK4	-90	
Eingangstüre	2,42 m <sup>2</sup>	0,75	0	0	
Fensterrahmen	0,30 m <sup>2</sup>	0,7	0	0	
Fensterrahmen	0,59 m <sup>2</sup>	0,7	90	0	
Fensterrahmen	1,31 m <sup>2</sup>	0,7	180	0	
Fensterrahmen	0,59 m <sup>2</sup>	0,7	270	0	
Verglasung	0,47 m <sup>2</sup>	0,7	0	0	0,55
Verglasung	0,47 m <sup>2</sup>	0,7	0	0	0,55
Verglasung	0,95 m <sup>2</sup>	0,7	90	0	0,55
Verglasung	0,95 m <sup>2</sup>	0,7	90	0	0,55
Verglasung	2,36 m <sup>2</sup>	0,7	180	0	0,55
Verglasung	2,36 m <sup>2</sup>	0,7	180	0	0,55
Verglasung	0,95 m <sup>2</sup>	0,7	270	0	0,55
Verglasung	0,95 m <sup>2</sup>	0,7	270	0	0,55

Tabelle 1: Bauteile des Einfamilienhauses aus Abb. 1; die U-Werte entsprechen einer ersten, approximativen Annäherung vor der Optimierung

Hierbei hat auch das Mikroklima am Standort einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse in Hinblick auf das thermisch-energetische Gebäudeverhalten als auch auf den Ertrag von Quellen erneuerbarer Energie.

### 3.2 Halbsynthetische Klimadatensätze

Aus diesem Grund wurden halbsynthetische Klimadatensätze (HSKD) generiert, die die im langjährigen Schnitt am Gebäudestandort zu erwartenden, außenklimatischen Verhältnisse für die Planung sehr gut wiedergeben. Die Datenbasis der HSKD bezieht sich auf 30-jährige Messreihen aus der Zeit zwischen 1978 und 2007 und berücksichtigt damit die bisher aufgetretenen Klimaveränderungen. Um einen Anhaltspunkt zur Standortabhängigkeit von Simulationsergebnissen zu erhalten, wurden die HSKD für 4 ausgewählte Orte in Österreich generiert: Wien, Innsbruck, Klagenfurt und Mallnitz. Die erzeugten Datensätze beschreiben ein, für langjährige Verhältnisse repräsentatives Jahr, bestehend aus Stundenwerten der Außenlufttemperatur, der solaren Bestrahlungsstärke (getrennt nach direkter und diffuser und globaler Strahlung), der relativen Luftfeuchtigkeit, des Niederschlags, des Luftdrucks und der Windgeschwindigkeit. Damit ist in allen Berechnungsschritten des Projektes eine einheitliche, realitätsnahe Datengrundlage gewährleistet.

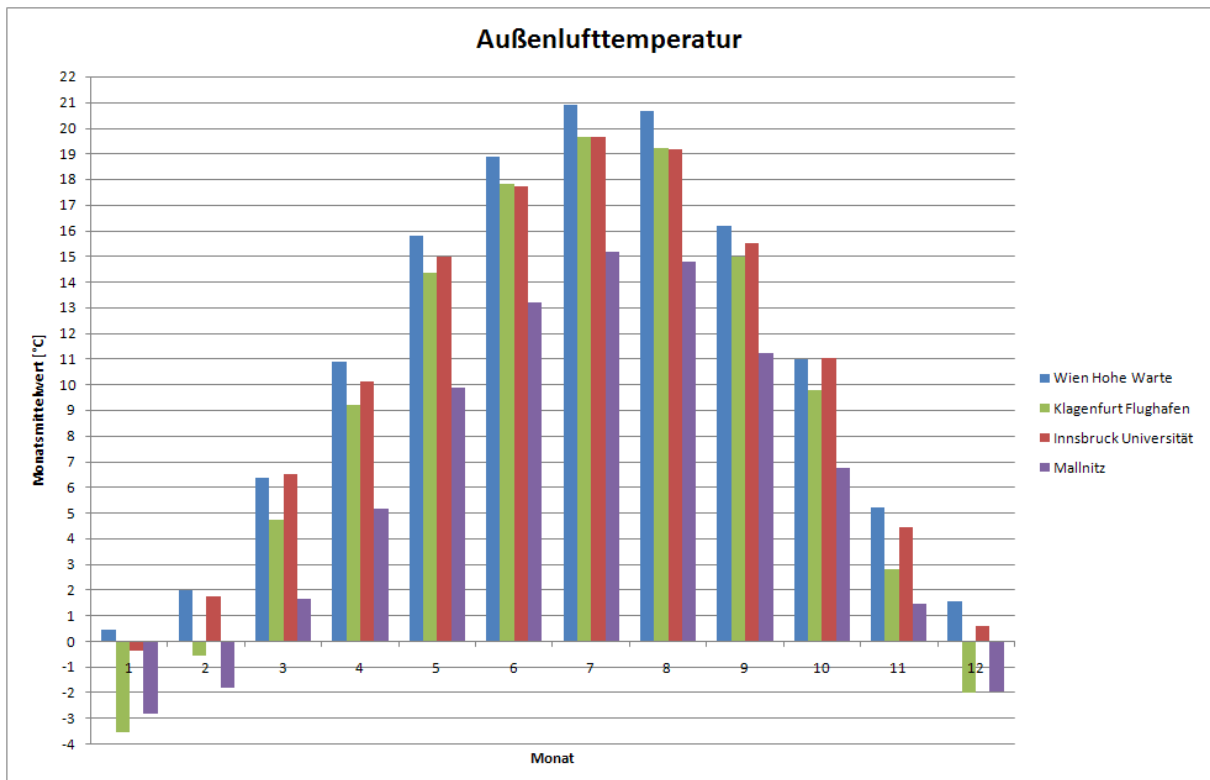


Abbildung 2: Halbsynthetische Klimadatensätze, beispielhaft die Außenlufttemperatur für die gewählten Standorte

### 3.3 Gebäudebauteile

Ein weiterer Schritt - die optimale Auslegung der Bauteile – dient der Integration der aktiven Bauteile oder Energiewandler sowie der passiven Bauteile bzw. der bauphysikalischen und konstruktiven Beständigkeit dieser Gebäudeaufbauten. Weitere Aufgaben liegen hier in der Minimierung der Wärmebrücken, die Bedachnahme auf die Behaglichkeit der Nutzer und die Minimierung des grauen Energieaufwands. Erster Schritt war eine Literaturrecherche um gängige Aufbauten von innovativen bzw. energiesparenden Gebäuden zu finden. Die meisten Bauteile für Ein- und Mehrfamilienhäuser sind im „*IBO Passivhaus-Bauteilkatalog*“ bzw. auf der Internetseite [www.baubook.at](http://www.baubook.at) aufgelistet. Für die Aufbauten der Bürobauten und Produktionshallen wurden die bauphysikalischen Werte bei Herstellern eruiert. Die Aufbauten müssen geringe U-Werte aufweisen, somit energetisch optimiert und dauerbeständig sein. Das heißt auch, dass man nicht nur die Bauteile sondern auch Details wie Attika, Balkon, Decke–Wand oder Bodenplatte–Wand und Anschlüsse gut ausführen und im Vorfeld abklären muss. Dies schließt auch die Vermeidung von Wärmebrücken mit ein. Vor allem die Wind- und Luftdichtheit der Bauteile muss gewährleistet sein. Diese Dichtheit ist vor allem bei Fertigteilmbauten zu beachten, da die Elemente am Bau zusammengestellt werden und hier ein besonderes Augenmerk auf die Fugendichtheit gelegt werden muss. Die konkret betrachteten Aufbauten für die Gebäude wurden anschließend nach den vorhergehenden Kriterien ausgewählt. In den folgenden Abbildungen werden beispielhaft einige Aufbauten dargestellt:

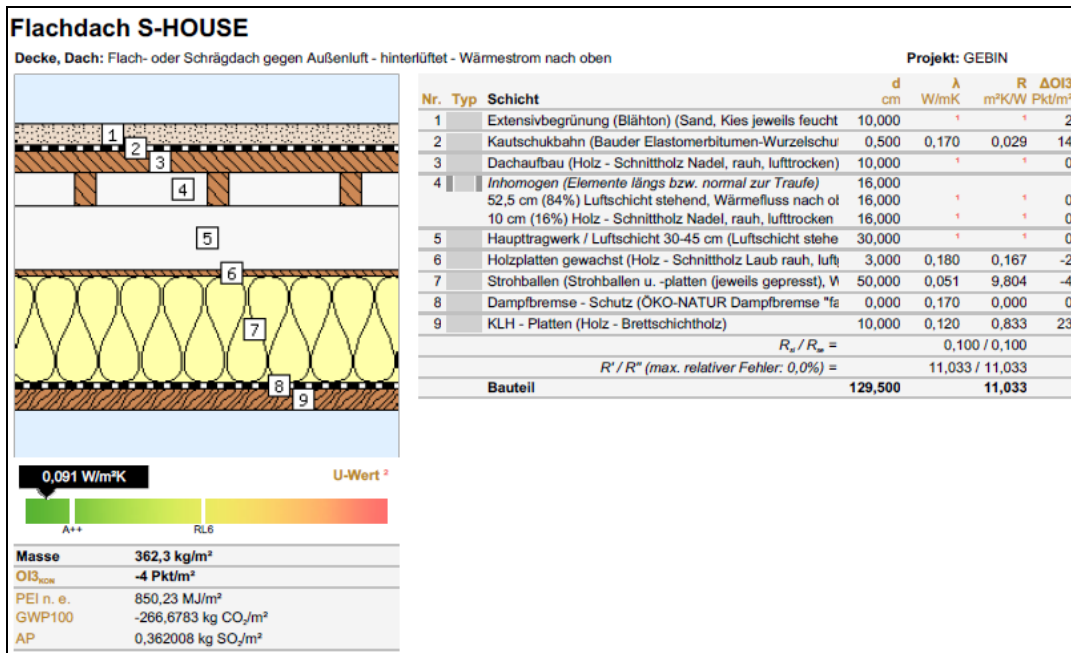


Abbildung 3: Ökologisches Flachdach; die Umsetzung erfolgte im S-HOUSE in Böhmeikirchen, NÖ

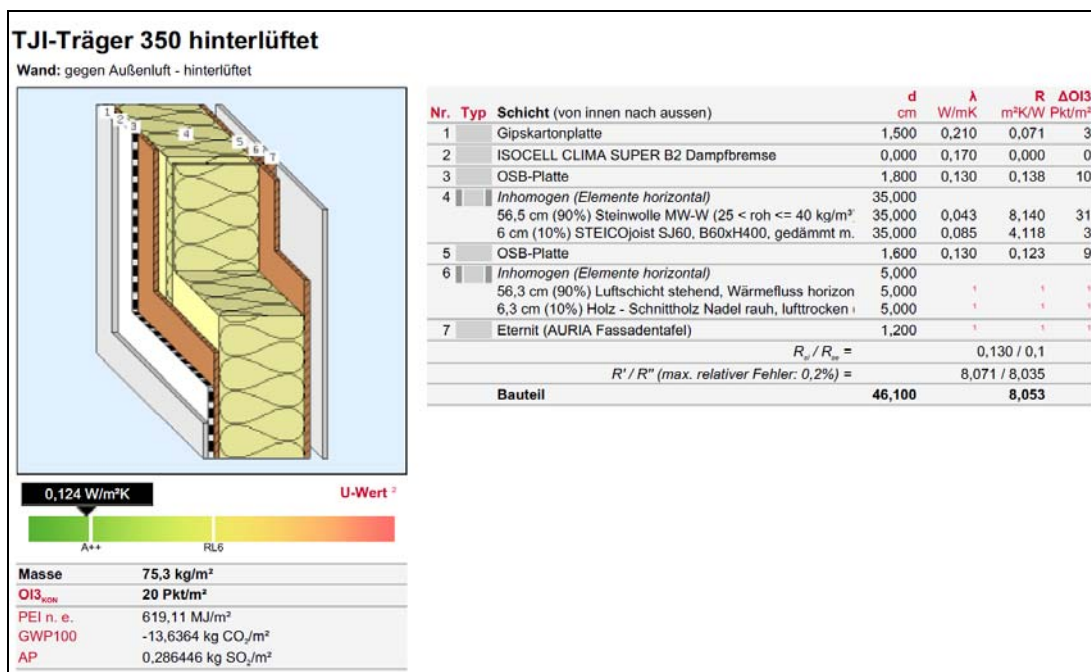


Abbildung 4: Doppelstegträger „TJI-Träger“ 350 hinterlüftet; die Kosten für diesen Bauteil betragen 161,34 €/m²; Quelle: [Ibo10]



## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ökologische Bewertung

Konventionelle Aufbauten und solche bei denen vorwiegend Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen eingesetzt werden, wurden verglichen. Diese wurden hinsichtlich ihres Primärenergieinhaltes, Global Warming Potential (GWP) und des Versauerungspotentiales bewertet. Der Vergleich der Aufbauten dient zur Darstellung der Spannweiten hinsichtlich der angeführten ökologischen Indikatoren. Als Richtwerte für die Bewertung wurden Daten vom Österreichischen Institut für Baubiologie und Bauökologie (IBO) herangezogen. Zur Bewertung der Aufbauten wie Herstellungsaufwand (Primary Energy Demand), Treibhauspotential und Versauerung sind zusätzlich weitere Faktoren zu berücksichtigen. Zu ökologischen und in weiterer Folge auch nachhaltigen Aufbauten zählen jene, die einerseits durch ihre Anwendung Energie einsparen und andererseits auch wieder einfach recycelt oder entsorgt werden können. Eine einfache Entsorgung bedeutet auch geringere finanzielle Belastungen die bislang kaum berücksichtigt werden. Dabei spielt vor allem auch der Aufbau der Konstruktion eine wichtige Rolle. Lassen sich Bauteile mit geringerer Lebensdauer einfach und kostengünstig lösen und/oder tauschen so erhöht dies auch die wirtschaftliche Nachhaltigkeit. Lassen sie sich nicht lösen so sollte die Konstruktion aus rein mineralischen Bestandteilen oder aus thermisch verwertbaren Baustoffen bestehen um die Entsorgung zu erleichtern. Beispielsweise sind die heute üblichen Wärmedämmverbundsysteme (werden auf mineralischen oder auch Holzbaustoffen verklebt) nicht leicht sortenrein (hoher Arbeits- und Kostenaufwand) zu trennen. Bei Polystyrol-basierten Dämmstoffen werden zusätzlich bromierte Flammschutzmittel verwendet die sich in der Umwelt verbreiten sowie in der Nahrungskette und im Menschen anreichern können.

<b>Wand</b>	<b>Holzständerkonstruktion &amp; Stroh</b>	<b>Ziegel &amp; EPS</b>	<b>Beton &amp; EPS</b>
U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	0,117	0,116	0,121
Wanddicke [m]	0,46	0,57	0,50
Masse [kg]	16.700	57.300	108.146
Primärenergieinhalt n. e. [MJ]	79.541	260.039	270.769
GWP100 [kg CO <sub>2</sub> ]	-19.382	13.346	21.155
Acidification Potential (AP) [kg SO <sub>2</sub> ]	45	58	87

Tabelle 2: Vergleich von ausgewählten Wandaufbauten vergleichbarer U-Werte

In Tabelle 2 wurden zwei konventionelle Aufbauten mit einem Aufbau, bei dem hauptsächlich Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz kamen, bei annähernd gleichen U-Werten verglichen. Vergleicht man den Aufbau „Holzständerkonstruktion & Stroh“ mit dem Aufbau „Beton & EPS“ so liegen die wesentlichen Vorteile der ökologischen Variante vor allem bei der Emission an Treibhausgasen -190% GWP, der Baumasse -85% Gewicht und der benötigten Energie zur Herstellung der Baustoffe mit -70% Primärenergieinhalt. Es sind hier also wesentliche Einsparpotentiale vorhanden. Allerdings ist nicht jede Konstruktion für jeden Anwendungsfall geeignet und die Betrachtungszeiträume für die einzelnen Bauteile unterscheiden sich ebenfalls (Lebensdauer eines Wärmedämmverbundsystems, Lebensdauer von Fassaden etc.). Die Erfahrungswerte sind heute durch hohe Unsicherheitsfaktoren gekennzeichnet bzw. es sind teilweise auch keine

Langzeiterfahrungen vorhanden. Soweit wie möglich werden vorhandene Daten berücksichtigt, wo dies nicht möglich ist, wird durch sinnvolle Annahmen und Erfahrungswerte abgeschätzt.

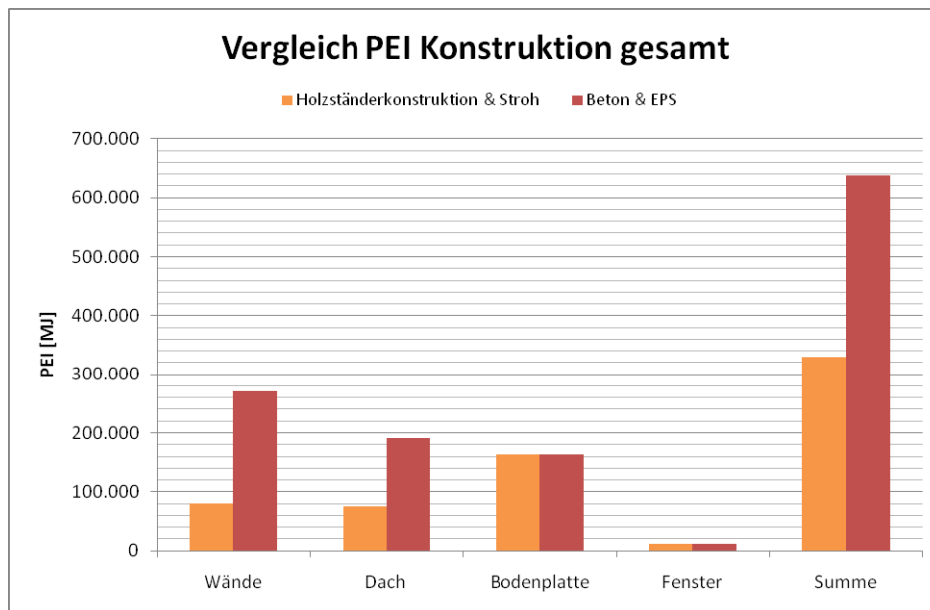


Abbildung 5: Vergleich des Primärenergieinhaltes für verschiedene Bauteile des modellierten Einfamilienhauses (Fenster und Bodenplatte bei beiden Ausführungen gleich, Wände mit Holzständerkonstruktion & Stroh bzw. Beton & EPS, Warmdach aus Massivholz & Stroh bzw. Stahlbeton)

In Abbildung 5 ist der Energiebedarf (PEI) zur Herstellung der Gebäudehülle dargestellt. Ersichtlich ist, dass bei Variante „Beton & EPS“ die Wandaufbauten den größten Einfluss auf das Ergebnis haben. Bei „Holzkonstruktion & Stroh“ hingegen ist das Optimierungspotential bei der Bodenplatte zu suchen (das Dach wurde bereits als Stroh-Holz Bauweise berechnet), die beispielsweise durch Streifen- und Punktfundamente ersetzt und damit der PEI weiter verringert werden könnte. Analog dazu können Verbesserungen auf Basis der CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Versauerung getroffen werden.

## 4.2 Heizwärmebedarf und Innenraumtemperatur

Eine erste Analyse des Heizwärmebedarfs der Modellgebäude zeigt, dass weitere Optimierungsschritte zur Verbesserung thermischen Qualität der Gebäudehülle notwendig sind. Im ersten Entwurfsschritt wurde mit den Modellgebäuden noch kein Passivhausstandard erreicht, der für ein Plusenergie-Gebäude aber zweckmäßig erscheint. Der ermittelte Heizwärmebedarf liegt bei konstanten Randbedingungen zwischen 19 kWh/m<sup>2</sup>BGF am Standort Innsbruck und 32 kWh/m<sup>2</sup>BGF am Standort Mallnitz. Interessant ist, der etwas höheren durchschnittlichen monatlichen Außentemperatur zum Trotz, dass der Heizwärmebedarf in Wien mit 20 kWh/m<sup>2</sup>BGF knapp über dem Ergebnis von Innsbruck liegt.

Für den Innenraum wurde eine Solltemperatur von 20°C angenommen. Über den Jahresverlauf gelingt es nach der ersten Groboptimierung bereits recht gut, das Komfortniveau konstant zu halten und sommerliche Überhitzung zu vermeiden (vgl. Abbildung 6).



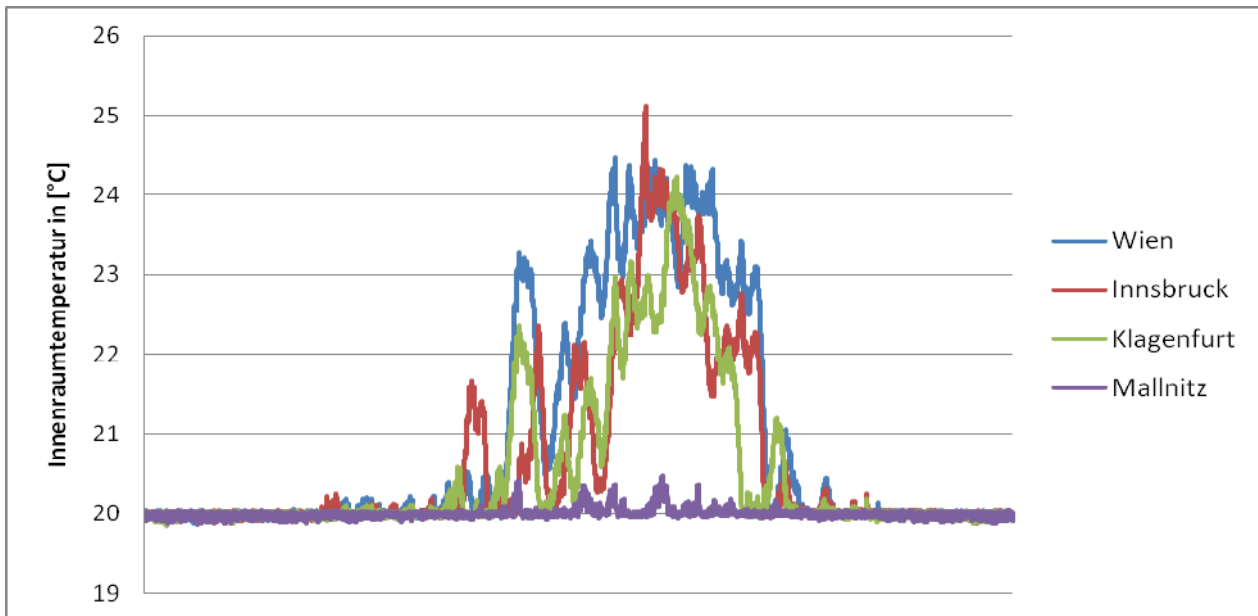


Abbildung 6: Innentemperaturverlauf in °C im Modellgebäude „Einfamilienhaus“ während eines Jahres an den vier ausgewählten Standorten

### 4.3 Strombedarf und Deckung durch erneuerbare Energie

Es wurde der durchschnittliche Strombedarf eines Einfamilienhaushalts mit vier Personen und effizienter Geräteausstattung auf Stundenbasis für ein Jahr mit ca. 3800kWh ermittelt, vorerst noch ohne die Hilfsenergie für die Heizung. Eine Ausstattung mit Standardgeräten hätte zum Vergleich einen Strombedarf von ca. 5500kWh/a zur Folge. Zur Eigendeckung mit Strom wurden ein Photovoltaiksystem und eine Kleinwindkraftanlage in handelsüblichem Format für Endkunden miteinander verglichen. Die Förderung entspricht den derzeitigen Rechtsvorschriften in Österreich und wurde für Photovoltaik mit einem nicht-rückzahlbaren Investitionszuschuss in der Höhe von 50% der Investitionssumme (30% Förderung durch den Klima- und Energiefond bei Anlagen bis 5 kWp plus max. 20% Landes- und Gemeindeförderung) und Überschusseinspeisung zu Marktpreisen angenommen. Im Bereich der Kleinwindkraft gibt es derzeit keine Investitionsförderung und eine Anerkennung als Ökostromanlage scheint aufgrund der geringen Leistung als wenig zweckmäßig. Daher wurde hier ebenfalls auf die Überschusseinspeisung zurück gegriffen.

Photovoltaik		Windkraftanlage	
Investitionssumme nach Abzug der Förderung	3.188 €	Investitionssumme	7.100 €
Nennleistung	0,17 [kWp/m²]	Nennleistung	1,7 kW
Errichtungskosten	3000 [EUR/kWp]	Durchmesser	2,7 m
Spez. Errichtungskosten	510 [EUR/m²]	Rotorfläche	5,73 m²
Versicherung	0,50%	Anlaufgeschwindigkeit	1,5 m/s
Wartung und Betrieb	0,50%	Max. Windgeschwindigkeit	16 m/s
Lebensdauer	25 Jahre	Versicherung	0,3%
Wirkungsgradreduktion	0,50% p.a.	Wartung und Betrieb	4%
Investitionszuschuss Bund, Länder & Gemeinde	50%	Lebensdauer	20 Jahre
		Wirkungsgrad	90%

Tabelle 3: Maßgebliche Kennwerte der Photovoltaik- und Windkraftanlage

Für den Standort Wien ergibt sich beim ausschließlichen Einsatz einer Photovoltaik-Anlage mit 20m<sup>2</sup> (entspricht 3,4kWp), einem Neigungswinkel von 25° zur Horizontalen und einem Betrachtungszeitraum bis 2050 ein Barwert von 3576EUR, was aus ökonomischer Sicht die bevorzugte Variante darstellt (vgl. Tabelle 4). Die dritte Variante ist hypothetischer Natur, da sie auch für die Windkraftanlage einen 50%igen Investitionszuschuss durch die öffentliche Hand unterstellt. In diesem Falle würde – bei gleicher Amortisationsdauer – der Barwert der Investition um einiges höher liegen als beim ausschließlichen Einsatz von Photovoltaik (vgl. Tabelle 4). Abbildung 7 zeigt die Zahlungsströme und die Amortisationsdauer der Photovoltaik-Anlage, sprich der ökonomisch bevorzugten Variante.

Betrachtete Kombination Photovoltaik / Windkraft	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
	Photovoltaik allein	Photovoltaik und Windkraft	Photovoltaik und Wind mit 50% Investitionszuschuss für Wind	Windkraft allein
Barwert t <sub>0</sub>	€ 3.576	-€ 230	€ 7.662	-€ 2.535
Break-even	8,6 Jahre	19,1 Jahre	8,6 Jahre	35,6 Jahre

Tabelle 4: Wirtschaftliche Bewertung der eigenen Stromerzeugung

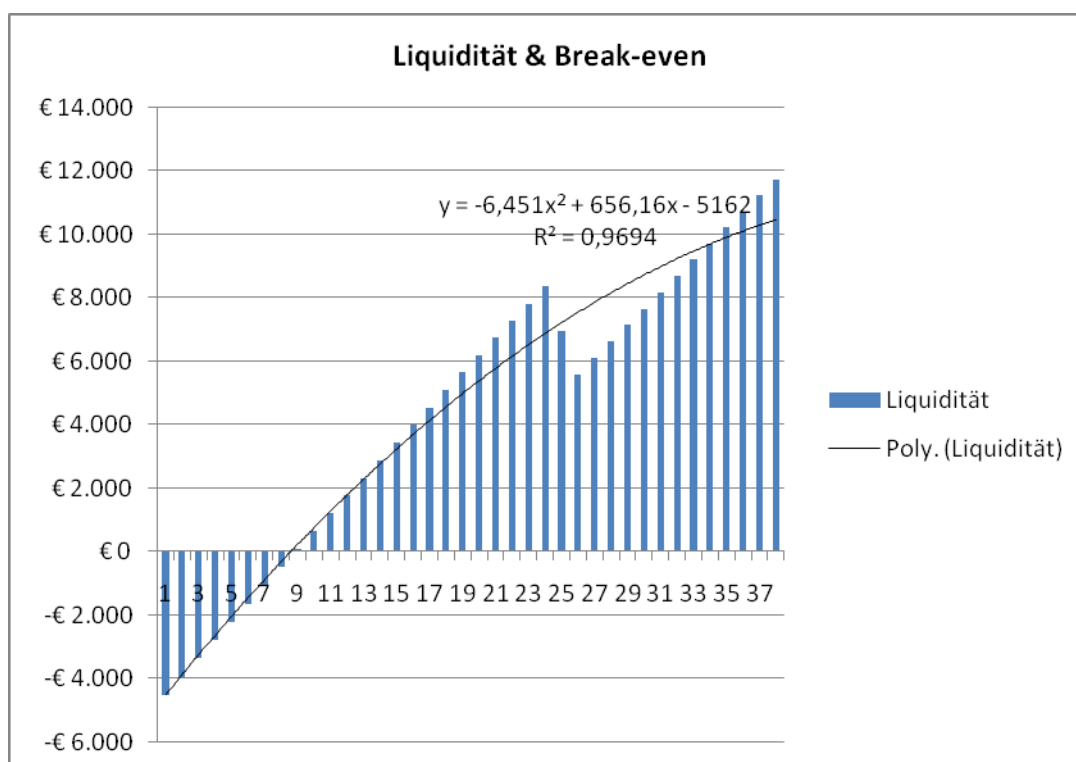


Abbildung 7: Liquidität in der Betrachtungsperiode 2012-2050 für den Einsatz einer Photovoltaikanlage (indirekte Effekte unberücksichtigt), Re-Investment nach Ablauf der Lebensdauer von 25 Jahren

## 5 Ausblick

Die Ergebnisse zeigen Möglichkeiten zur Reduktion der Ökobilanz von Gebäuden bei maximaler Energieeffizienz der Bauteile und damit einhergehende ökonomische Auswirkungen für den Bauherrn. Zahlreiche, unterschiedliche Disziplinen finden in diese Gesamtbetrachtung Eingang. Dementsprechend viele – zum Teil kontroversielle – Aspekte gibt es hier einer detaillierten, zukünftigen Analyse zu unterziehen.

Als einer der nächsten Schritte ist hier für die Gesamtmodellierung der Modellgebäude eine ökonomische und energetische Optimierung der Wärmedämmung vorgesehen. Dabei wird die kostengünstigste Dämmstärke in Abhängigkeit zahlreicher Einflussfaktoren nach der Formel

$$x_{opt} = 293,94 * \sqrt{\frac{DD * C_f * PWF * U}{H_u * C_i * \eta} - II * R_{wt}}$$

ermittelt mit DD...Heizgradtage [°CTage],  $C_f$ ...Brennstoffkosten des Heizsystems [€/kWh], PWF...Barwertfaktor [1], dem Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  [W/m<sup>2</sup>K],  $H_u$ ...unterer Heizwert [J/kWh],  $C_i$ ...Kosten des Dämmstoffes [€/m<sup>3</sup>], Wirkungsgrad des Heizsystems  $\eta$  [1], dem Summen-Wärmewiderstand  $R_{wt}$  [m<sup>2</sup>K/W] bestehend aus Wandaufbau ohne Dämmung und den angrenzenden Luftschichten sowie der optimalen Dämmstärke  $x_{opt}$  [m]. Nähere Informationen zu dieser Optimierung liefert u. a. Dombayci et. al.

Das Ziel dieser Optimierung ist eine genaue Darstellung der Potentiale eines Plusenergie-Gebäudes unter Berücksichtigung der Kosten und der Ökologie, über die bisherige Analyse hinaus. Die so erzielten Ergebnisse sollen einen Weg vom Passivhaus zum Plusenergie-Haus der Zukunft weisen und so zu einem nachhaltigen Umgang mit Ressourcen beitragen.

## 6 Literatur (Auswahl)

"Biomasseheizanlagen für größere Gebäude", Informationsbroschüren, OÖ Energiesparverband, Linz, 2009

"Erneuerbare Energie - Technologische Kompetenz aus Österreich", Dachverband Energie-Klima, Wien, 2006

**Biermayr, P. et al.:** "Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2009", Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien, 2010

**Wertz, D.; Straka, W.; Ponweiser, K.; Haider, M.:** „Neue Perspektiven in der Erdwärmetechnik“; e&i, 126 (2009), 3; S. 117 – 125, Springer, Wien, 2009

"Positionspapier für ein österreichisches Solarforschungs- und Technologieprogramm", Hrsg: Österreichische Solarthermie Technologie Plattform, Gleisdorf, 2007

**Suter, J.-M. et al.:** „Solar Combisystems in Austria, Denmark, Finland, France, Germany, Sweden, Switzerland, the Netherlands and the USA“, Solar Heating and Cooling Committee of the IEA, IEA SHC-TASK 26

**Lasselsberger L.:** "Kleinfeuerungen für Holz - Verbrennungstechnik/Stand der Technik", BLT, Wieselburg, 2000 Regelwerke/Entwicklung"

"Fachreihe Solartechnik - Mit Solarenergie Heizkosten sparen", Viessmann Werke, Allendorf, 2004

"Fachreihe Photovoltaik - Strom von der Sonne", Viessmann Werke, Allendorf, 2010

"Fachreihe Heiztechnik für Neubauten - Fortschrittliche Heiztechnik für Häuser mit niedrigem Wärmebedarf", Viessmann Werke, Allendorf, 2004

Kleinwindkraft-Seite der AEE W, NÖ, <http://www.aee-now.at/cms/index.php?id=51>, abgerufen am 18. 8. 2010

Kleinwindkraftseite der IG-Windkraft, [http://igwindkraft.at/index.php?mdoc\\_id=1008677](http://igwindkraft.at/index.php?mdoc_id=1008677), abgerufen am 18. 8. 2010

**Kirchwegger, Ch.:** "Kleinwindkraft in der Praxis", Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, 2009, erschienen im Grin-Verlag 2010, ISBN: 978-3640515059

„Basispapier für die Arbeitsgruppen zur Erarbeitung einer Energiestrategie Österreich“, bmwfi, Lebensministerium, Wien, 2009

**Greisberger, H. et al.:** „Wege zur Strom- und Wärmeaufbringung ohne fossile Energieträger bis 2020 bzw. 2030“, Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik, Wien, 2008

**Krutzler, Th. et al.:** „Energiewirtschaftliche Inputdaten und Szenarien als Grundlage zur Erfüllung der Berichtspflichten des Monitoring Mechanism“, Umweltbundesamt, Wien, 2009

**Lechner, H. – Austrian Energy Agency:** „Energieeffizienz – unsere wichtigste

„Energiequelle!“, Beitrag zur Fachtagung „Erneuerbare Energien: Bitte mehr!“ des österr. Biomasseverbandes, Wien, 2010

**Lechner, H.** – Austrian Energy Agency: „Österreichs Energiemix 2020“, Beitrag zum IWO-Symposium, Palais Niederösterreich, 23. September 2010

„Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie“, für Österreich, gemäß der Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates, ausgearbeitet durch die Verbände der erneuerbaren Energien, Wien, 2010

**Pözl, W.:** "Chancen und Grenzen eines Bewertungssystems auf Basis der Primärenergie", umweltbundesamt, Wien, 2008

Ergebnisse aus GEMIS 4.2, Stand Okt. 2004, Download: [www.gemis.de](http://www.gemis.de)

**Oertel, D.:** "Energiespeicher - Stand und Perspektiven" Sachstandsbericht zum Monitoring 'Nachhaltige Energieversorgung', Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin, 2008

"CO<sub>2</sub>-Kennzeichnung von Strom aus KWK-Anlagen - Brennstoffzuordnung auf elektrische und thermische Energie", Entwurf, hrsg. vom VIK - Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V., Essen, 2006

**Streicher W. et al.:** „Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser“ Projektbericht zum Programm „Haus der Zukunft“, Graz, 2004

**Streicher, W.:** Skriptum zur Vorlesung „Sonnenenergienutzung“, Institut für Wärmetechnik, TU Graz, Graz, 2004

**Jakob, U.:** "Entwicklung eines Systemreglers für standardisierte Solar Cooling Kits", erneuerbare energie, AEE Intec, Gleisdorf, 2009

**Haas, R. et al.:** "Szenarien der gesamtwirtschaftlichen Marktchancen verschiedener Technologielinien im Energiebereich", Bericht zu einem Projekt aus der Programmlinie "Energie der Zukunft", Proj.Nr. 810707, Wien, 2008

**Greisberger, H.:** „Geförderte Projekte – Solarthermie“ Zusammenstellung ausgewählter Projekte“, Thematisch gegliederte Übersicht geförderter Projekte der Ausschreibungen „Energie der Zukunft“ und „Neue Energien 2020“, ÖGUT, Wien

**Wertz, D., Haider, M., Werner, A.:** Strategie für ein Autonomes, Dezentrales, Regeneratives Energie-System“, Tagungsbeitrag, 11. Symposium Energieinnovation, 10.-12.2.2010, Graz/Austria

**Häberlin, H.:** „Photovoltaik – Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen“, AZVerlag, Aarau, 2007

**Krawinkler, R.:** „Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerke“, Diplomarbeit, Betreuer: Werner, A., TU Wien, 2006

**Kranzl, L. et al.:** "Strategien zur optimalen Erschließung der Biomassepotenziale in Österreich bis zum Jahr 2050 mit dem Ziel einer maximalen Reduktion an

Treibhausgasemissionen", Projektbericht, Wien, 2008

**Martini S. et al.:** "Kopplung von Biomassevergasung mit SOFC-Brennstoffzellensystem", AustrianBioEnergy, DGMK-Tagungsbericht 2008-2, ISBN 978-3-936418-80-4

"Solarsysteme im Objektbau - Ein Leitfaden zu Planung, Umsetzung und Betriebsführung, erstellt im Zuge des Projekts "Solareffizient -Große Solarwärmeanlagen unter der Lupe" im Rahmen des Forschungsprogramms "Neue Energien 2020", Download: <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien750.pdf> 20110331 17:14

"Qualitätsstandards von Wohnungsstationen in Zwei-Leiter-Netzen - Ein Bericht zu messtechnischen Untersuchungen", AEE INTEC, Gleisdorf, 2010

**Purkarthofer, G.:** "Technologieportrait Solarthermie", AEE INTEC, Gleisdorf

**Heindl W. Kreč Klaus, 1985:** „Interpolation und Kontinuierisierung“, Forschungsbericht im Auftrag des BMWF, Wien 1985

**Heindl W., T. Kornicki, A. Sigmund, 1990:** „Erstellung halbsynthetischer Klimadatenätze für meteorologische Messstationen“, Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung (GZ. 70.630/18-25/88) und des Amtes der NÖ - Landesregierung (Zl. NC 23-1988/1989), Wien 1990

**Kreč Klaus, 2010:** OEKLIM, V2.1, Programmpaket zur Berechnung von Temperaturstatistiken für Standorte in Österreich, © K. Kreč 2010

**Kreč Klaus, 2010:** UPTEMP, Programmpaket zur Berechnung von Temperaturstatistiken aus Tagesmittelwerten meteorologischer Messstationen; Forschungsprojekt „Update der Klimadatenbasis des Klimadatenkatalogs“, bmwfj, © K. Kreč 2010

**ÖNorm EN ISO 15927-4:** „Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung und Darstellung von Klimadaten – Teil 4: Stündliche Daten zur Abschätzung des Jahresenergiebedarfs für Heiz- und Kühlsysteme“, Okt. 2005 2005

**Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik:** Wien – Hohe Warte, auf Bestellung für Wien, Hohe Warte am 30. 8. 2006 gelieferter Datensatz, Mittelungen für das Zeitintervall zwischen 1. 1. 1976 und 31. 12. 2005, Wien 2006

**Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik:** Wien – Hohe Warte, im Zuge des Forschungsprojekts „Update der Datenbasis des Klimadatenkatalogs“ für Wien, Hohe Warte am 8. 4. 2010 im Rahmen des Forschungsprojekts „Update der Klimadatenbasis des Klimadatenkatalogs“ gelieferter Datensatz, Mittelungen für das Zeitintervall zwischen 1. 1. 1978 und 31. 12. 2007, Wien 2010

**Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik:** Wien – Hohe Warte, im Zuge des Forschungsprojekts „Update der Datenbasis des Klimadatenkatalogs“ für Wien, Hohe Warte am 19. 5. 2010 im Rahmen des Forschungsprojekts „Update der Klimadatenbasis des Klimadatenkatalogs“ gelieferter Datensatz, Mittelungen für das Zeitintervall zwischen 1. 1. 1978 und 31. 12. 2007, Wien 2010

**Dombayci, Ö. A. et al.:** "Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources", Applied Energy 83 (2006), p. 921-928, 2006.