

# Smart ABC: Smart Energy Efficient Active Buildings and Building Cluster

S. Geissler,  
J. Fechner,  
W. Pölz,  
A. Knotzer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 30/2014

**Impressum:**

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

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

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

# Smart ABC

## Smart Energy Efficient Active Buildings and Building Cluster

Dr. Susanne Geissler  
Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen

DI Johannes Fechner  
17&4 Organisationsberatung G.m.b.H.

DI Werner Pölz  
Umweltbundesamt GmbH

DI Armin Knotzer  
AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

Gleisdorf, März 2014

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

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

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

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

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

---



# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	10
Abstract.....	12
1 Einleitung.....	14
2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt .....	14
2.1 Beschreibung des Standes der Technik.....	14
2.1.1 Verschiedene Gebäudekonzepte .....	14
2.1.2 Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz .....	16
2.1.3 Erste Erfahrungen aus der Umsetzung von Null- oder Plusenergiegebäuden.....	17
2.1.4 Gebäudekonzepte im städtischen Bereich.....	19
2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	20
2.2.1 Energieträgerwahl und Energieversorgungsvarianten .....	20
2.2.2 Beschreibung der Einzelgebäude.....	23
2.2.3 Beschreibung der Gebäudeverbände .....	25
2.2.4 Konversions- und Primärenergiefaktoren.....	26
2.2.5 Systemgrenzen Primärenergie- und Treibhausgasemissionsfaktoren .....	27
2.2.6 Verwendete Primärenergie- und Treibhausgasemissionsfaktoren .....	29
2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts).....	30
2.4 Verwendete Methoden.....	31
2.4.1 Vergleich der Energieversorgungsvarianten mittels Simulationen .....	31
2.4.2 GEMIS-Österreich .....	32
2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung.....	33
2.5.1 Bewertung von unterschiedlichen Gebäudetypen.....	33
2.5.2 Bewertung von Infrastruktur.....	34
3 Ergebnisse des Projektes .....	35
3.1 Generelle Ergebnisse .....	35
3.2 Ergebnisse im Speziellen für MFH-Varianten.....	36
3.2.1 Primärenergetische Bewertung .....	36
3.2.2 Bewertung der Treibhausgasemissionen.....	37
3.3 Ergebnisinterpretation.....	39
4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms.....	40

4.1	Einpassung in das Programm .....	40
4.2	Beitrag zum Gesamtziel des Programms .....	41
4.3	Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt .....	42
4.4	Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse.....	42
5	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen .....	43
6	Ausblick und Empfehlungen .....	44
7	Literaturverzeichnis .....	45
8	Anhang.....	47



# Kurzfassung

## Ausgangssituation/Motivation

Die EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie 2010/31/EU fordert den Standard „Niedrigstenergiegebäude“ ein, sowie die Deckung des Bedarfes mit „Energie aus Erneuerbaren Quellen am Standort oder in der Nähe“. In Österreich ist zur Umsetzung dieser Richtlinie in Gebäudestandards (OIB) und -bewertungssystemen eine Präzisierung der Rolle der Erneuerbaren Energieträger und der eingesetzten Technologien notwendig. Weiters müssen der Begriff „am Standort oder in der Nähe“ bzw. die Systemgrenze „Gebäude“ sowie die Rahmenbedingungen definiert werden, vor allem vor dem Hintergrund, dass der geforderte Standard bei Gebäuden im städtischen Kontext sehr schwer, oftmals überhaupt nicht erreicht werden kann, wenn nicht (sinnvolle) Synergien im Gebäudeverband oder aus dem Netz genutzt werden können. Der Markt nimmt sich dem Thema mit der Entwicklung zu Plusenergiegebäuden an, ohne dass KonsumentInnen Klarheit haben, was damit gemeint ist.

## Inhalte und Zielsetzungen

Ziel des Projektes Smart ABC war es, für offene Punkte zur Umsetzung der EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie 2010/31/EU in Österreich, wie

- die Präzisierung der Abbildung der Erneuerbaren Energieträger und der verbundenen Technologien (Erzeugung dezentral vor Ort oder Versorgung aus dem Netz/ zentral),
- Lösungen für Gebäude/ -verbände im urbanen/ städtischen Raum,
- Empfehlungen abzuleiten, die auf wissenschaftlicher Basis begründet sind.

Diese Ziele sollten durch eine energetische und ökologische Bewertung relevanter Kombinationen von Energieversorgungstechnologien auf Basis Erneuerbarer Energieträger für Einzelgebäude („**Smart Active Buildings**“) und Gebäudeverbände (**Smart Active Building Cluster**) erreicht werden.

## Methodische Vorgehensweise

Modellrechnungen, Komponentenerlegung und Sensitivitätsanalysen dienten der Identifikation relevanter Einflussgrößen und Rahmenbedingungen für die Energieversorgungsvarianten. Für die energetische Bewertung wurden Masterarbeiten mit thermischer bzw. kombinierter Gebäude- und Anlagensimulation verschiedener Varianten durchgeführt. Die ökologische Bewertung erfolgte durch den Einsatz des „GEMIS“ Softwaretools und garantierte damit eine Lebenszyklusbetrachtung einschließlich der vorgelagerten Prozesse.

## **Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Zur ökologischen Bewertung wurden eigene Primärenergiefaktoren und THG-Emissionsfaktoren mittels GEMIS generiert, die den kumulierten Primärenergieaufwand des Energieversorgungssystems inkl. Kollektoren, Kessel, Speicher, etc. abbildeten. Das Ergebnis der primärenergetischen Analyse damit war, dass die angenommenen Kombinationen von Energieversorgungstechnologien keine „Plusenergiegebäude“ und auch keine ausgeglichenen CO<sub>2</sub>-Emissionsbilanz zwischen Produktion vor Ort und Bedarf hervorbringen konnten. Der Primärenergiebedarf weist für die Biomasseheizungsvarianten durchwegs ein wenig höhere Werte auf als bei den Wärmepumpenvarianten, bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen ergibt sich ein genau umgekehrtes Bild.

Wird der Primärenergiebedarf auf Personen und nicht auf die Brutto-Grundfläche bezogen, dann sind die meisten Mehrfamilienhaus-Energieversorgungs-Varianten trotz kleinerer zur Verfügung stehender Flächen für Erneuerbarer Energieproduktion interessanter und näher dem „Nullenergiegebäude“ als die Einfamilienhaus-Varianten. Kleine Gebäudeverbände mit je 9 Gebäuden, egal ob EFH- oder MFH-Verbände, schneiden mit einer zentralen Energieversorgung über Mikronetze primärenergetisch und in der CO<sub>2</sub>-Beurteilung schlechter ab als die dezentrale Energieversorgung der Einzelgebäude. Dieser Nachteil kann durch zusätzlichen Einsatz von Erneuerbaren Energieträgern und Speichertechnologien egalisiert werden.

## **Ausblick**

Die großen Herausforderungen der Zukunft zur Erreichung von Nahezu-Null- oder Plusenergiegebäuden liegen wie erwartet bei der Minimierung des (Haushalts-) Strombedarfs, bei der zeitlichen Übereinstimmung von Energie-Angebot und -Nachfrage und bei der Flächenbereitstellung für die Energieproduktion aus Erneuerbaren Energieträgern vor Ort oder in der Nähe bzw. deren Effizienzsteigerung bei der Produktion. Für die letzten zwei Punkte braucht es auch Energienetze. Zum Verhältnis der vor Ort Produktion und Nachfrage und der sinnvollen Interaktion mit diesen Energie- v.a. auch Wärmenetzen sollte und wird es weitere Studien und Untersuchungen geben.

## **Abstract**

### **Starting point/Motivation**

The EPBD targets a building standard „nearly zero energy“, this low amount of energy is to be covered by energy from renewable energy sources. “Smart ABC” analyses a variety of relevant solution sets regarding the building performance and the renewable based energy supply options due to energetic and ecological impacts, in order to optimize the integration of renewable energy technologies in building standards and to find answers how to depict a building cluster regarding standards and tools.

### **Contents and Objectives**

The Directive on the Energy Performance of Buildings 2010/31/EU (EPBD) requires the standard “nearly zero energy” and the coverage of this very low amount by “energy from renewable sources produced on-site or nearby”. The implementation of this standard in Austria (within legislative and strategic instruments) sorely needs:

- Clarification and a more precise and scientific-based position of renewables and the related supply technologies
- A further development of parts of building certification tools (like “klima:aktiv”)
- A definition of the terms “on-site” or “nearby”
- A solution how to integrate building clusters within existing standards and certification systems in order to meet the challenge of realization of nearly zero energy buildings in dense areas (cities) beyond the background of the “Smart Cities” initiative.

Based on energetic and ecological assessment of relevant building and technology solution sets the project “Smart ABC” aims to provide recommendations and support for an optimized implementation of the EPBD in Austria. The analysis focuses on optimization of the building performance and renewable based energy supply of a single building (Smart Active Building) and building clusters (Smart Active Building Cluster).

### **Methods**

The methods applied will be thermal and energetic simulations in Polysun and TRNSYS calculations with the GEMIS-Software-tool (to provide LCA) and further component and sensitivity analysis.

### **Results**

The assessment of the ecological impact was based on own developed primary energy factors and GHG-emission-factors via GEMIS-tool. They described the primary energy demand of the different energy supply and heating systems including collectors, modules, boilers, storage tanks, etc. The analyzed energy systems and supply technologies could yield neither “plus-energy” nor equalized CO<sub>2</sub>-emission balances over their life span. The

primary energy demand showed higher values for the biomass-heating systems than the heat pump systems, vice versa showed the CO<sub>2</sub>-emission balance.

When the primary energy demand referred to residents, not to the gross floor area of the residential building, most of the multi-family houses (MFH) are getting closer to „nearly zero energy“ or „plus-energy“ than the single-family houses (SFH), although the MFH have less area for energy generation on-site related to the SFH. The decentralized energy supply systems perform better within primary energy and CO<sub>2</sub>-assessment in comparison to little building clusters with 9 buildings each, no matter if EFH- or MFH-clusters. This disadvantage could be equalized by using additional renewable energy sources and storage possibilities to support the grid performance.

### **Prospects / Suggestions for future research**

As expected the big challenges of the future for reaching „plus-energy“ or even „zero-energy“ building standards are the minimization of the domestic electricity demand, the synchronized match of energy generation and demand, the provision of sufficient area for renewable energy generation on-site or nearby, and the energy and resource efficient production of the renewable technologies as well. The heating but also electricity grids play an important role to overcome these challenges. The relations of energy production and demand on-site and their interaction with the grids are and will be future research areas where more input by investigations and studies is still needed.

# 1 Einleitung

Die EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie 2010/31/EU [1] fordert den Standard „*Niedrigstenergiegebäude*“ ein, sowie die Deckung des Bedarfes mit „*Energie aus Erneuerbaren Quellen am Standort oder in der Nähe*“. In Österreich ist zur Umsetzung dieser Richtlinie in Gebäudestandards (OIB) und Bewertungssystemen eine Präzisierung der Rolle der Erneuerbaren Energieträger und der eingesetzten Technologien notwendig. Weiters müssen der Begriff „*am Standort oder in der Nähe*“ bzw. die Systemgrenze „Gebäude“ sowie die Rahmenbedingungen definiert werden, vor allem vor dem Hintergrund, dass der geforderte Standard bei Gebäuden im städtischen Kontext sehr schwer, oftmals überhaupt nicht erreicht werden kann, wenn nicht (sinnvolle) Synergien im Gebäudeverband oder aus dem Netz genutzt werden können. Auf europäischer Ebene ist hier mit der Entwicklung von „Smart Cities“ [2] die Zukunft vorgezeichnet. In Deutschland gibt es in der EnEV bereits die Möglichkeit von „Quartierslösungen“. [3]

Bei all diesen Themen setzte das Projekt „Smart ABC“ an und versuchte mehr Klarheit für den Stellenwert der Energieeffizienz und der Einbindung Erneuerbarer Energieträger im Gebäude und im Gebäudeverband zu schaffen.

## 2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

### 2.1 Beschreibung des Standes der Technik

#### 2.1.1 Verschiedene Gebäudekonzepte

Eine Vielzahl an unterschiedlichen Gebäudekonzepten wird zurzeit in der Theorie diskutiert und teilweise am Markt umgesetzt. Beispielhaft seien hier erwähnt:

Das „*Passivhaus*“, das „*Solar-Aktivhaus*“, das „*Sonnenhaus*“, das „*Nullenergiehaus*“, das „*Plusenergiehaus*“, u.v.m. Jedes der Konzepte positioniert den Stellenwert der Energieeffizienz und mögliche Technologiekombinationen für den Einsatz Erneuerbarer Energieträger unterschiedlich. Anforderungsniveaus fehlen zum Teil und ermöglichen unterschiedliche Interpretationen. Bei Konsument/-innen und der Fachöffentlichkeit führt das zu Missverständnissen und Verwirrung.

Ein „Passivhaus“ [4] per definitionem zu bauen, bedeutet den Verzicht auf ein konventionelles Heizungssystem und die Beschränkung Wärme nur über Zuluft in das Gebäudeinnere aktiv einzubringen. Alle anderen Wärmequellen basieren auf „passiven“ Technologien. Kritisiert wird dabei die starke Fokussierung auf den Heizwärmebedarf und das „Fehlen“ weiterer ökologischer Kriterien oder Komfortparameter. Des Weiteren zeigt die Praxis im Passivhausbau, dass ein Großteil der Gebäude zusätzlich Strahlungswärme abgebende Heizungssysteme aufweist. Ein weiterer Kritikpunkt ist der zwingende Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, die die Energieeffizienz hinsichtlich des

HWB erhöhen, aus Gründen des Luftwechsels innerhalb der luftdichten Gebäudehülle notwendig sind, aber bisher weder große NutzerInnenakzeptanz aufweisen noch die Gesamtenergiebilanz positiv beeinflussen.

Im Sanierungsbereich, der angesichts magerer Sanierungsraten einer Revolution bedarf, wird eine entscheidende Trendwende nicht durch Sanierung aller Gebäude auf Passivhausstandard erreichbar sein. Trotzdem setzt sich das Passivhaus sowie das Sanieren mit Passivhaus geeigneten Komponenten langsam am Markt durch (zumindest zu strategischen Zwecken als Schlagwort) – die konsequente und einwandfreie Umsetzung darf allerdings noch nicht als alltäglicher Standard bezeichnet werden.

Die Umsetzung des „Solar-Aktivhauses“ wird von der ESTTP [5] und in der „Forschungsagenda Solarthermie“ des BMVIT [6] vorgeschlagen. Es hat zum Ziel in der Sanierung eine 50%ige und im Neubau eine 100%ige solarthermische Deckung zu erreichen. Allerdings ist auch diese Definition nicht vollständig. Es fehlen Indikatoren und Grenzwerte zur Bewertung des thermischen Gebäudestandards im Solar-Aktivhaus wie HWB-Heizwärmebedarf, KB-Kühlbedarf, Effizienzkriterien und weitere ökologische und komfortrelevante Kriterien.

Das „Sonnenhaus“ [7] gibt bereits sehr konkret Grenzwerte und Technologien vor, die bisherigen Umsetzungen fokussieren sehr stark auf den Einfamilienhaussektor. Zudem erscheint das Konzept als sehr strikt, das schwer weitere neue und innovative Technologiekombinationen für den Einsatz Erneuerbarer Energieträger ermöglicht. In Österreich ist es noch nicht sehr verbreitet, sollte aber wegen des Marktpotenzials für österreichische Firmen und dem möglichen Hereindrängen deutscher Anbieter auf den österreichischen Markt Beachtung finden.

Relativ neu in der Diskussion der letzten Jahre ist der Ansatz der „Null- oder Plus-Energiegebäude“. International wird die Diskussion sehr stark vom Begriff „Null“ dominiert, in Österreich setzt sich stärker das „Plus-Energiegebäude“ durch, vermutlich beeinflusst durch die Programmlinie „Haus der Zukunft Plus“ des BMVIT.

Die EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie 2010/31/EU [1] gibt ab 2020 als Standard für Gebäude „nearly zero energy“ vor. Die deutsche Übersetzung „Niedrigstenergiegebäude“<sup>1</sup> spiegelt in der Namensbezeichnung die Zielformulierung der englischen Originalversion nicht so deutlich wieder. Doch Artikel 2 Pkt. 2 definiert unausweichlich, dass die Gebäude eine sehr hohe „Gesamteffizienz“ aufzuweisen haben, wobei *„der fast bei Null liegende oder sehr geringe Energiebedarf zu einem wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen – einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird – gedeckt werden.“* Der Verzicht auf weitere Grenzwerte, Indikatoren oder ökologische und komfortrelevante Kriterien schafft zwar Freiheiten für national individuelle

---

<sup>1</sup> Siehe [1], Artikel 2 und Artikel 9

Lösungsansätze und Technologiekombinationen, bietet aber kein ganzheitliches „Qualitäts-Label“.

Die „EnergieStrategie2010“ stellt den österreichischen Fahrplan zur Erreichung der klima- und energiepolitischen Ziele (20/20/20) der Europäischen Union dar. Konkrete Zielsetzung im Gebäudebereich ist dabei die „Reduktion des Raumwärme- und des Kühlbedarfs und Verbesserung der Baustandards zu ‚Fast-Null-Energiehäusern‘“ [8]. Die übergeordnete Strategie ist in diesem Dokument ausführlich dargestellt, die konkreten Umsetzungspläne zur Erreichung dieser ambitionierten Zielsetzung sind nicht dargestellt.

Der Wärmebedarf ist bei sehr geringen Verbräuchen von Gebäuden kaum mehr Gegenstand von Untersuchungen, diese wenden sich immer mehr dem Thema Strom, mit dem alles abgedeckt werden kann oder soll, zu. Um den eigenen Strombedarf teilweise oder ganz vor Ort abdecken zu können ist Photovoltaik oder Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) unausweichlich, auch weil Wasser- und Windkraft weit mehr Beschränkungen am Gebäudestandort selbst unterliegen. Die Produktion mittels KWK ist nur bei ausreichender Wärmeabnahme im Sommer sinnvoll. Der Einsatz von Photovoltaik kann zwar in Kombination mit einer Wärmepumpe theoretisch den jährlichen Wärmebedarf abdecken, da der Energieertrag im Winter durch Photovoltaik aber geringer ausfällt belastet ein eventuell erhöhter Bedarf für die Wärmepumpen die Stromnetze zusätzlich.

Mit der Verpflichtung der Nationalstaaten, die EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie bis Mitte 2012 bzw. 2013 umzusetzen, damit Rechts- und Verwaltungsvorschriften zu erlassen und in weiterer Folge spätestens bis Mitte 2013 auf von Behörden genutzte Gebäude anzuwenden<sup>2</sup>, bzw. den Pflichten der Energieeffizienzrichtlinie [9] nachzukommen, kommt die politische Dimension dazu, entweder konkrete Vorgaben für Gebäudestandards, energiepolitische Instrumente oder Rahmenpläne dafür zu entwickeln und vorzulegen, die auf wissenschaftlichen Analysen basieren.

### **2.1.2 Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz**

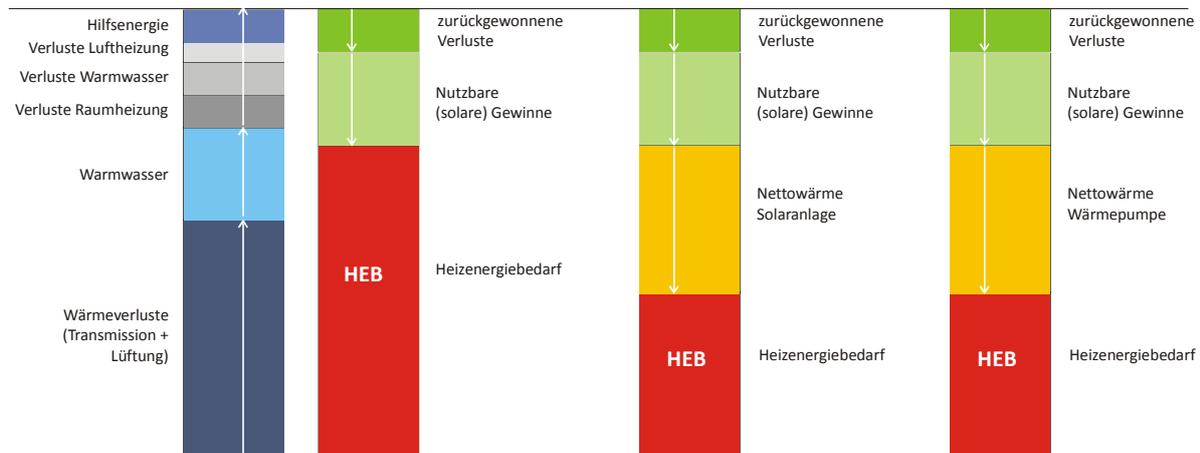
Der rechnerische Nachweis der energetischen Qualität von Wohn- und Nichtwohngebäuden hat in Österreich gemäß dem die OIB-Richtlinie 6 ergänzenden Berechnungsleitfaden „Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“ [10] zu erfolgen. Die Bewertung fokussiert neben dem Heizwärmebedarf auf den Endenergiebedarf, den Primärenergiebedarf und die CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die Berechnungsmethode bilanziert die Solaranlage und die Wärmepumpe als Effizienzmaßnahme vor Ort zur Reduktion des Heizenergiebedarfs. Damit stellt der Heizenergiebedarf einerseits nicht die zentrale Wärmemenge dar, die Rückschlüsse auf die Qualität des Gebäudes, der Wärmespeicherung, -verteilung und -abgabe zulässt. Es kann in weiterer Folge auch nicht unterschieden werden, ob ein geringer Heizenergiebedarf aus

---

<sup>2</sup> Siehe [1], Artikel 28

einem niedrigen Heizwärmebedarf, einer effizienten Anlage oder aus den Gewinnen einer Solaranlage oder Wärmepumpe resultiert (siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1** Heizenergiebedarf gemäß ÖNorm H5056

### 2.1.3 Erste Erfahrungen aus der Umsetzung von Null- oder Plusenergiegebäuden

Die Umsetzung von Null-Energiegebäuden mag zwar theoretisch möglich sein. Bisherige Umsetzungen erfolgten aber zumeist als Pilot- und Demonstrationsprojekte und sind immer noch Pioniere, entweder weil die objektspezifischen Rahmenbedingungen passten, oder die Umsetzung und wissenschaftliche Begleitung mittels Förderungen, die über übliche Wohnbauförderung hinausgehen, gefördert wurden.

Erste Umsetzungen von Null- oder Plus-Energiehäusern konfrontieren die Pioniere mit unbequemen Erfahrungen: Energiegewinnung mittels Erneuerbarer Energieträger innerhalb der Systemgrenze des Einzelgebäudes ist grundsätzlich machbar, aber:

- Die Konzepte sind vielfach sehr aufwändig, da eine einzige Technologie zur Versorgung des Gebäudes nicht mehr ausreicht – die Erzeugung von Wärme und Strom vor Ort bedingt verschiedene Technologie- bzw. Netzkombinationen.
- Die Konzepte sind im urbanen Raum oder dichter bebauten (städtischen) Kontext schwierig umzusetzen. Die Dichte im Allgemeinen und der Wunsch zur Nachverdichtung im speziellen zur Eindämmung des Baulandverbrauches stehen im Gegensatz zur anteilmäßigen Steigerung der Energieerzeugung im dichter verbauten (städtischen) Raum. Ganzjährig optimal ausgerichtete Flächen (für Photovoltaik oder Solarthermie) können nicht immer im ausreichenden Ausmaß untergebracht werden. Die vorhandenen Flächen zur Erzeugung begrenzen den möglichen Bedarf vor Ort.
- Vor allem im Wohnbau konkurrieren Flächen für die Energieerzeugung und Flächen die für eine ausreichende Belichtung der Innenräume sorgen, „erschwert“ durch die Anforderung der zugeordneten Freiräume je Wohnung (Balkon). Daraus ergeben sich Herausforderungen in der Gestaltung der Fassadenstrukturen, die eine optimale

Anordnung von Photovoltaik erschweren (Schattenwürfe durch Vor- und Rücksprünge) – siehe auch Abbildung 2.

### ANSICHT WEST 1\_200



	vertikales/horizontales Fassadenmodul (gut besont)	97,6m <sup>2</sup>
	vertikales Fassadenmodul Balkon/Laubengang	428,9m <sup>2</sup>
	vertikales Fassadenmodul (Fenster)	198,2m <sup>2</sup>
	vertikales Fassadenmodul (weniger gut besont)	28,8m <sup>2</sup>
<b>Gesamtfläche Fassade West: <u>753,5m<sup>2</sup></u></b>		
	Brüstung Balkone (gut besont)	100,5m <sup>2</sup>

*Abbildung 2*  
 Ansicht West eines typischen Mehrfamilienwohnhauses in Österreich. Die Studie zeigt, dass dauerhaft gut besontete Flächen (rote Schraffur) in Konkurrenz mit der Integration von Fenster- und Balkonflächen stehen. Vor allem Vorsprünge strukturieren das Fassadenbild und sorgen für Schattenwürfe im Tagesverlauf. Die Nutzung der Dachfläche in diesem Gebäude würde ca. 42% des Haushaltsstromes abdecken können. (Quelle Plandarstellung: Nussmüller Architekten)

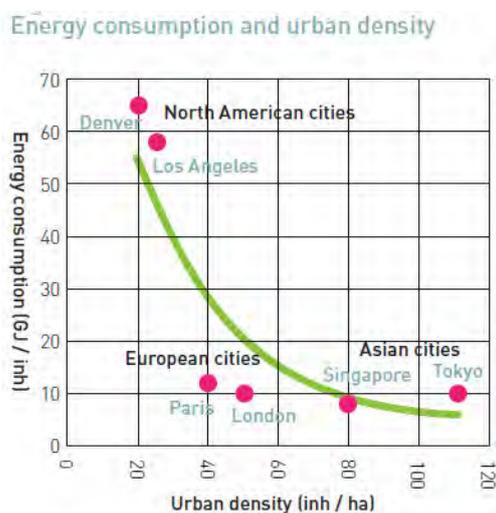
In der Schweiz wurde im Minergie-A<sup>®</sup> Gebäudestandard, der im Frühjahr 2010 veröffentlicht wurde, darauf Rücksicht genommen, dass die Gebäudetechnik zwar optimiert aber nicht „übertechnisiert“ wird. Vorgaben für die Wärmeproduktion bedingen eine gewisse Größe von Solaranlagen, es muss aber nicht notwendigerweise Photovoltaik als zusätzliche Technologie eingesetzt werden, wenn andere Rahmenbedingungen eingehalten werden (Primäranforderung Heizwärmebedarf, energieeffiziente Geräte, Nutzung von Biomasse). [11] Der konzeptionelle Ansatz, dass nicht zwingenderweise Null- oder Plusenergie vor Ort erreicht werden muss, da der Einsatz von „Low-Tech“ Technologiekombinationen und intelligente Integration in bestehende Strom- und Wärme- Netze ebenso zu nachhaltigen Gebäudekonzepten führt, findet im Schweizer Modell seinen Niederschlag.

In Deutschland sind seit der geänderten Energieeinsparverordnung EnEV [12] und der Auslegung durch das DIBT [3] sogenannte „Quartierslösungen“ möglich. Das sind gemeinsam eingerichtete Erzeugeranlagen, die für die Übertragung innerhalb des Quartiers keine öffentlichen Verteilnetze nutzen.

Die Performance von „Null- oder Plusenergiegebäuden“ sollte über dem von der EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie geforderten „*nearly zero energy*“ oder „*Niedrigstenergiegebäude*“-Standard liegen, doch ein genauer Blick auf die bisherigen Umsetzungen zeigt, dass einige „Null- oder Plusenergiegebäude“ [13] ihren selbst gestellten Ansprüchen nicht entsprechen und eigentlich „nur“ die Performance des zukünftig geforderten Gebäudestandard erreichen.

#### 2.1.4 Gebäudekonzepte im städtischen Bereich

Die Entwicklung der Urbanisierung im 20. und 21. Jahrhundert beeinflusst immer stärker auch unsere Gebäude. Weltweit wurde 2008 ein Meilenstein überschritten: mehr Menschen leben in urbanen Ballungsräumen als in ländlichen Gebieten. [14] Auch in Österreich hält der Zuzug in die Städte an: mehr als 50% der Bevölkerung leben im städtischen Bereich, 45% in Städten mit mehr als 10.000 Einwohner/-innen. Zwischen 2001 und 2009 sind die Stadtregionen um 6,2% gewachsen. [15]



Source: Newman P., Kenworthy J. and Theys J.

#### Abbildung 3

Eine Studie der Europäischen Kommission zeigt, dass die Bevölkerungsdichte zu einem gewissen Grad auch mit der Höhe des Energieverbrauches korreliert. Während in Denver dieser bei ca. 65 GJ/ Einwohner/-in liegt, genügen in Tokyo bereits 10 GJ.

Quelle: European Commission [16]

In Zukunft werden Gebäude vermehrt nicht auf der „grünen Wiese“ als isoliertes Einzelkonzept entwickelt werden müssen, sondern in dichter bebautem Kontext. Während die bereits erwähnten begrenzten Flächenressourcen in Konkurrenz zur Erzeugung von Energie aus erneuerbaren Quellen stehen, zeigt die Korrelation zwischen Bebauungsdichte und Höhe des Energieverbrauches, dass die Erhöhung der Dichte mit einer Reduktion des Energieverbrauches pro EinwohnerIn einhergeht (siehe Abbildung 3).

Der gedankliche Ansatz durch die Nutzung von Synergien innerhalb eines Gebäudeverbandes, eines „Quartiers“ oder dergleichen ist auch in der Formulierung der EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie festzustellen: „[...] einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird – [...]“<sup>3</sup> Der Begriff der „Nähe“ ist im weiteren nicht erläutert, da es aber „[...] ausschließlich Sache der Mitgliedstaaten ist, [...] dass ein kostenoptimales Verhältnis zwischen den zu tätigen Investitionen und den über die

<sup>3</sup> Siehe [1], Artikel 2 Pkt. 2

Lebensdauer des Gebäudes eingesparten Energiekosten erreicht wird [...]“<sup>4</sup> sollte der Begriff der „Nähe“ und dem daraus resultierenden Potenzial Aufmerksamkeit gewidmet werden.

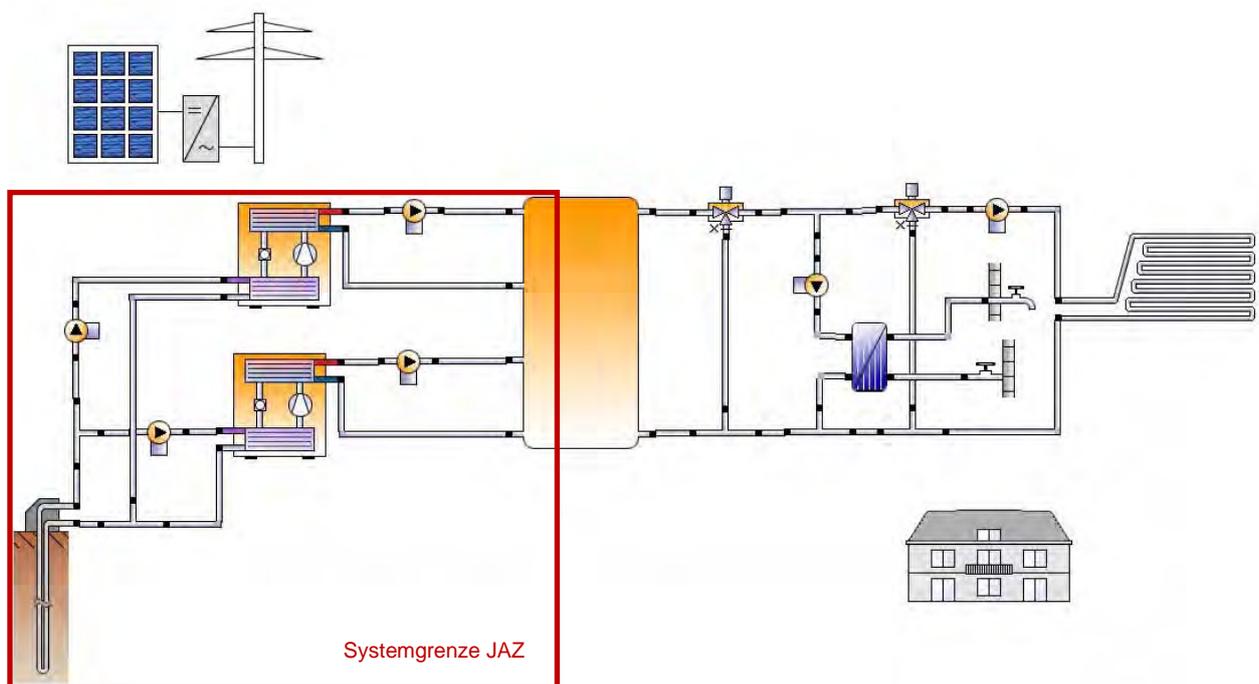
## 2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

### 2.2.1 Energieträgerwahl und Energieversorgungsvarianten

Folgende Energieträger sollten zur Beheizung und Energieversorgung eingesetzt und untersucht werden; dabei wurden bewusst nur Systeme mit Erneuerbaren Energieträgern ausgewählt:

Solarthermie (ST), Photovoltaik (PV), Biomasse (Biom) und Sole-Wärmepumpe mit Tiefensonde(n) (WP)

Die Heizungssystemvarianten wurden über Schemen skizziert und für jedes Gebäude oder jeden Gebäudeverband definiert. Es wurden für alle Varianten Pufferspeicher verwendet, dabei lagen die Speichergrößen zwischen 500 Liter und 140 m<sup>3</sup> - jeweils angepasst an den jeweiligen Bedarf des Systems. Abbildung 4 gibt ein Beispiel für ein Energieversorgungs- und Heizungsschema eines Mehrfamilienhauses mit PV- und Wärmepumpenversorgung.



**Abbildung 4** Ein Mehrfamilienhaus wird mit zwei Wärmepumpen (Grund-, Spitzenlastdeckung) mit Tiefensonden und unterschiedlichem Anteil an Photovoltaikstrom aus Erzeugung am Gebäude versorgt (Schema: Polysun)

Für die Nutzung der Solarthermie wurden folgende Rahmenbedingungen festgelegt:

- Flachkollektor „gut“ (aus der Auswahl des Programms „Polysun“)

<sup>4</sup> Siehe [1], Einleitende Begründung Absatz 10

- Bruttofläche eines Kollektors 2 m<sup>2</sup>
- Nutzung der Solarthermie hat Vorrang vor der Photovoltaik-Nutzung
- Vorrangige Erzeugung auf der Fassade, erst wenn die Fassade nicht reicht auf dem Dach
- Solare Deckung (SD) 100% meint inklusive einer Toleranz von bis zu -5%
- Solare Deckung (SD) 50% meint inklusive einer Toleranz +/- 2,5%
- Die auf 50 oder 100% solare Deckung fehlende Wärmemenge wird aus einer Biomasse- oder Wärmepumpenheizung bereitgestellt (siehe unten)
- Bei den 100% Solarthermie(ST)-Varianten in Kombination mit Biomasseheizung wird die Restenergie bei EFH10, EFH50 und MFH10-Gebäuden immer direkt-elektrisch bereitgestellt;

Für die Nutzung der Photovoltaik wurden folgende Rahmenbedingungen festgelegt:

- Modultyp YL 245P-29b (polykristallin)
- Modulfläche beträgt 1,6 m<sup>2</sup> mit 245 W<sub>p</sub>
- Modulwirkungsgrad beträgt 15%
- Stromausbeute von ca. 146 kWh/m<sup>2</sup> Modulfläche
- Vorrangige Erzeugung auf dem Dach, erst wenn die Dachfläche nicht reicht und an der Fassade noch Platz nach der Solarthermienutzung besteht dann auch Nutzung der Fassade
- Jährliche solare Deckung (SD) von 50% oder 100% meint inklusive einer Toleranz von +/- 2,5%
- Die auf 50 oder 100% fehlende PV-Deckung wird vom allgemeinen Stromnetz (zentral) abgedeckt

Für die Nutzung der Wärmepumpentechnologie wurden folgende Rahmenbedingungen festgelegt:

- Pro Heizsystem werden je nach Anforderung ein bis zwei Sole/Wasser-WP mit Tiefensonden verwendet
- Der Abstand der Sonden zueinander muss mindestens 6 m betragen
- Die Entzugsleistung beträgt 30-66 W/m und pro Betriebsstunde der WP

- Als Kältemittel wird R 407c verwendet
- 6 bis 8 Tiefenbohrungen zu je 110 m Tiefe sind beispielsweise für die MFH-Varianten notwendig
- Die Systemgrenze für die Ermittlung der Jahresarbeitszahl ist in Abbildung 4 eingezeichnet

Für die Nutzung der Biomasseheizungstechnologien wurden folgende Rahmenbedingungen festgelegt:

- Pelletkessel im Einsatz in den Einzelgebäuden mit mindestens 12 kW Leistung
- Hackgutheizungen im Einsatz in den Gebäudeverbänden mit mindestens 56 kW Leistung
- Brennstofflager sollte Brennstoffbedarf für 1 Jahr lagern können
- Heizwert Pellets 4,8 kWh/kg, Heizwert Hackschnitzel 750 kWh/srm

Zur Beschreibung der verschiedenen Varianten der Energieversorgung und Heizungssysteme wurden folgende Abkürzungen (hier in 3 Beispielen) verwendet:

**MFH10 Biom-50-100** (Mehrfamilienwohnhaus mit HWB 10 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFA</sub> und Biomasse-Heizsystem, 50% solare Deckung (SD<sub>ST</sub>) Solarthermie und 100% solare Deckung (SD<sub>PV</sub>) Photovoltaik über ein Jahr bilanziert)

**EFH50 WP-100-50** (Einfamilienwohnhaus mit HWB 50 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFA</sub> und Wärmepumpen-Heizsystem, 100% solare Deckung Solarthermie und 50% solare Deckung Photovoltaik über ein Jahr bilanziert)

**MonoEFH10 Biom-23-0** (Monofunktionaler – d.h. nur Wohnnutzungs-Gebäudeverband aus 9 EFH mit jeweils HWB 10 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGFA</sub> und zentralem Heizhaus inkl. Brennstofflager mit Biomasse-Heizsystem, max. 23% solare Deckung Solarthermie auf der südorientierten Fassade und dem Dach des Heizhauses möglich und 0% solare Deckung durch Photovoltaik auf den Einzelhäusern bei dieser Variante, über ein Jahr bilanziert)

Eine Übersicht der Anzahl von Varianten, die mit den unterschiedlichen Energieversorgungs- und Heizungstechnologien gerechnet und simuliert wurden, gibt Tabelle 1. Für jedes der beiden untersuchten Systeme

- Biomasseheizung und unterschiedliche Anteile von Solarthermie und Photovoltaik (Biom-ST-PV) oder
- Tiefensonden-Wärmepumpenheizung und unterschiedliche Anteile von Solarthermie und Photovoltaik (WP-ST-PV)

fällt die jeweilige Anzahl der Varianten aus Tabelle 1 an.

	Gebäude	HWB	SD <sub>ST</sub>	SD <sub>PV</sub>		Gebäude	HWB	SD <sub>ST</sub>	SD <sub>PV</sub>				
Einzelgebäude	EFH	10	0	0	Gebäudeverbände	MonoEFH	10	0	0				
				50					50				
				100					100				
			50	50				0	50				
								50	50				
								100	100				
		MFH	10	0			0	MonoMFH	10	0	0		
							50				50		
							100				100		
				50			50			0	50		
										50	50		
										100	100		
	Anzahl Varianten			12		36	Anzahl Varianten			12	36		

**Tabelle 1** Übersicht und Anzahl der berechneten und simulierten Energieversorgungsvarianten je Heizsystem (Biom- oder WP-Heizung) für Einzelwohngebäude und Wohngebäudeverbände

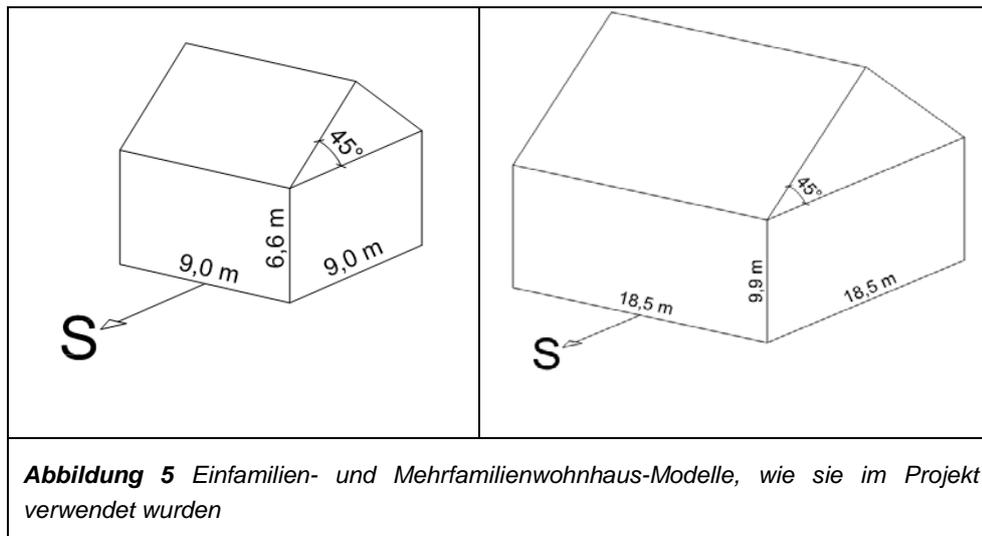
Die Berechnungen und Simulationen wurden von Studierenden zweier Fachhochschulen ausgeführt.

### 2.2.2 Beschreibung der Einzelgebäude

Als erster Schritt wurden die zu untersuchenden Einzelgebäude definiert und deren Energieausweise nach OIB RL 6 [17] berechnet. In Abbildung 5 finden sich die zwei Modellwohnhäuser des Projektes, die auf den unverschattet angenommenen, genau nach Süden orientierten Dach- und Fassadenfläche Solarenergie produzieren sollten. Die Flächenpotenziale dazu finden sich in Tabelle 2.

Solarflächen in m <sup>2</sup>	Fassade 90°	Dach 45°
EFH10	36	57
EFH50	36	57
MFH10	110	242
MFH50	110	242

**Tabelle 2** Potenzielle Flächen zur Solarnutzung an den Modellhäusern



Damit wurde bei den Einzelgebäude-Energieversorgungsvarianten die Systemgrenze der Energieerzeugung „am Standort“ als „am Gebäude selbst“ mittels ST oder PV definiert.

Für die Lastprofile des Warmwasser- und Strombedarfs wurden durchschnittliche für EFH und MFH aus anderen Projekten angenommen. Das Referenzklima wurde aus einem angepassten Klimadatensatz für Wien erstellt. Tabelle 3 fasst weitere Annahmen und Festlegungen für die Einzelgebäude zusammen.

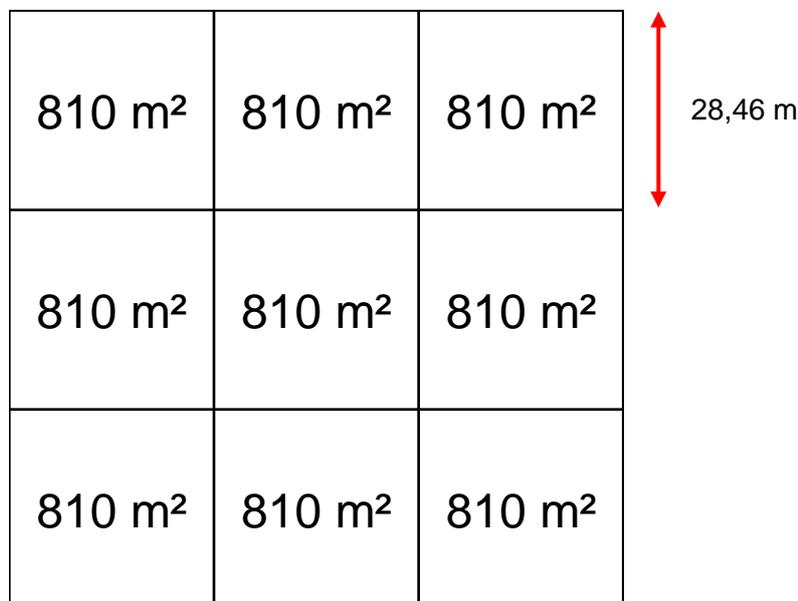
	EFH	MFH
<b>Bruttogrundfläche BGF</b>	162 m <sup>2</sup>	1.027 m <sup>2</sup>
<b>Bezugs-Grundfläche</b>	130 m <sup>2</sup>	821 m <sup>2</sup>
<b>Fensteranteil Südfassade</b>	40%	40%
<b>Stockwerke</b>	2	3
<b>Höhe</b>	6,6 m	9,9 m

<b>Dachfläche 45°-Neigung nach Süden</b>	57 m <sup>2</sup>	242 m <sup>2</sup>
<b>Haushaltsgröße</b>	2,28 Personen	2,28 Personen
<b>Wohneinheiten</b>	1	10
<b>WWWB Ø</b>	2.070 kWh/HH.a	
<b>HH-Strombedarf Ø</b>	2.800 kWh/HH.a	
<b>HWB Referenzklima</b>	10 und 50 kWh/m <sup>2</sup> a	
<b>Heizungsvorlauf/-Rücklauftemperaturen</b>	bei HWB10: 35/28, bei HWB50: 40/30	
<b>Strombedarf bei Lüftungsanlage mit WRG bei HWB 10-Häusern</b>	520 kWh/a	4.041 kWh/a

**Tabelle 3** Annahmen und Festlegungen für die beiden Modellgebäude EFH und MFH

### 2.2.3 Beschreibung der Gebäudeverbände

Die Gebäudeverbände wurden als Verbände mit je 9 Einzelgebäuden definiert. Die Größe der Grundstücke wurde so berechnet, dass für die EFH-Verbände eine Bebauungsdichte von 0,2 und für die MFH-Verbände eine Bebauungsdichte von 1,25 erreicht wurde (siehe auch Abbildung 6).



**Abbildung 6** Grundstücksgröße in einem Gebäudeverband für EFH und MFH

Das Heizhaus bzw. die Heizzentrale des jeweiligen Gebäudeverbandes sollte ebenfalls innerhalb dieser Grundstücksgrenzen Platz finden, was bedeutete, dass diese Heizzentrale einem oder zwei Wohngebäude-Grundstücken Fläche wegnimmt. Die südorientierten

Fassaden- und Dachflächen des Heizhauses werden für die Solarthermienutzung verwendet, die Photovoltaik wird jeweils auf den Einzelgebäudedächern und wenn notwendig -fassaden genutzt.

Damit wurde bei den Gebäudeverbands-Energieversorgungsvarianten die Systemgrenze der Energieerzeugung „am Standort“ als „am Gebäude selbst“ mittels PV und „in der Nähe“ innerhalb der Verbandsgrundstücke mittels ST am Heizhaus definiert.

Für die Lastprofile des Warmwasser- und Strombedarfs wurden durchschnittliche, geglättete ohne Unterschied zwischen EFH- und MFH-Verband, aus anderen Projekten angenommen. Das Referenzklima wurde wie bei den Einzelgebäuden verwendet.

## **2.2.4 Konversions- und Primärenergiefaktoren**

Konversionsfaktoren dienen der Charakterisierung von Treibhausgasemissionen.

Konversionsfaktoren beschreiben in dieser Studie die Treibhausgasemissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen pro Kilowattstunde (kWh) Endenergie. Konversionsfaktoren werden auf Basis des Life-Cycle-Assessments errechnet und berücksichtigen somit – im Unterschied zu den Emissionsfaktoren – den gesamten Lebensweg eines Produktes bzw. Energieträgers.

Konversionsfaktoren dienen der Veranschaulichung und einheitlichen Berechnung von charakteristischen Emissionen aus Produkten, Dienstleistungen und Prozessen der Energiebereitstellung. Durch Konversionsfaktoren wird eine Darstellung der Emissionen ermöglicht, basierend auf gesicherten Daten und fundierten Methoden. Die Berechnung der LCA-Emissionen im vorliegenden Fall erfolgte mit GEMIS Version 4.8 für unterschiedliche Energieträger. [18]

Es wurden Konversionsfaktoren für die Energieträger Kohle, Heizöl, Erdgas, Flüssiggas, Stückholz, Energiehackgut, Pellets, Wärmepumpen und Sonnenkollektoren ermittelt. Des Weiteren wurden durchschnittliche Emissionen für Fernwärme in Österreich, für Fernwärme aus Biomasseheizwerken, für den österreichischen Kraftwerkspark, Photovoltaiksysteme und für die Gesamtstromaufbringung in Österreich errechnet. Die Gesamtstromaufbringung berücksichtigt neben den österreichischen Kraftwerksparks noch die Importe und Exporte von Strom. [19]

Unter Primärenergie (bzw. unter Primärenergieträgern) werden Energieformen verstanden, die noch keiner technischen Umwandlung unterworfen wurden (z. B. Rohsteinkohle, Roherdöl, Rohbiomasse, Windkraft, Solarstrahlung, Erdwärme). [20] Der Primärenergiefaktor, auch kumulierter Energieaufwand (KEA) genannt, ist die Summe aller Energieaufwendungen, die zur Herstellung und Nutzung eines Produktes bzw. Energieträgers oder einer Dienstleistung benötigt werden. Primärenergiefaktoren zeigen die Energieintensität eines Prozesses. Der Primärenergiefaktor ist in dieser Studie als Verhältnis von Primärenergie ( $kWh_{\text{primär}}$ ) zu Endenergie ( $kWh_{\text{end}}$ ) ausgewiesen.

In Abhängigkeit der verfügbaren Datenbasis lässt sich der Primärenergiefaktor auch nach der Art der eingesetzten Energieträger (fossil oder regenerativ) in den nichterneuerbaren

Primäraufwand (fossile und nukleare Energieträger) und den erneuerbaren Primärenergieaufwand (z. B. Biomasse, Sonnenenergie, etc.) unterteilen.

Unter Endenergie bzw. Endenergieträgern werden die Energieformen verstanden, die die/der EndverbraucherIn bezieht (z.B. Heizöl oder Rapsöl, Holzhackschnitzel, elektrische Energie beim Stromzähler, Fernwärme an der Hausübergabestation). Sie resultieren aus Primär- oder ggf. Sekundärenergieträgern bzw. -energien, vermindert um die Umwandlungs- und Verteilungsverluste, den Eigenverbrauch und den nicht-energetischen Verbrauch. Sie sind für die Umwandlung in Nutzenergie verfügbar. [20]

### **2.2.5 Systemgrenzen Primärenergie- und Treibhausgasemissionsfaktoren**

Die österreichweiten Primärenergie- und Treibhausgasemissionsfaktoren für Strom bzw. Fernwärme wurden berechnet, indem mit GEMIS für verschiedene Brennstoffe und Anlagentypen separate Faktoren ermittelt wurden. Diese wurden nach dem jeweiligen Anteil an der Strom- bzw. Fernwärmeproduktion gewichtet und unter Berücksichtigung des Imports zu einem durchschnittlichen Konversionsfaktor zusammengefasst. Zur Berechnung der Direktmissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) in den Erzeugungsanlagen wurden auf Basis der Österreichischen Luftschadstoffinventur (OLI) konsistente nationale Emissionsfaktoren verwendet. [21]

Biomasse-Endenergie wird als CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet, da die Pflanzen im Laufe ihres Lebens jene Menge an CO<sub>2</sub> aufgenommen haben, welche bei der Verbrennung vor Ort wieder freigesetzt (emittiert) wird. [22] Die Emissionen anderer Treibhausgase wie CH<sub>4</sub> werden jedoch bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente berücksichtigt. Bei der Ermittlung der Konversionsfaktoren wurden ebenfalls die Emissionen sämtlicher Treibhausgase, inkl. CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen, in der Vorkette bilanziert.

In den Energiebilanzen muss der Gesamtwirkungsgrad eines Kraft-Wärme-Kopplungs-Prozesses (KWK) definitionsgemäß mindestens 75 % betragen. Wird dieser Wert bei einer KWK-Anlage unterschritten, wird die produzierte Strommenge und der dafür benötigte Umwandlungseinsatz solange reduziert, bis 75 % erreicht werden. Die produzierte Strommenge, um die der KWK-Prozess reduziert wird, wird als Strom aus Wärmekraft definiert. Bei Anlagen, die diesen Wirkungsgrad auch im KWK-Betrieb nicht erreichen, wird angenommen, dass auch bei voller Fernwärmeauskopplung ein gewisser Anteil an Kondensationsstrom erzeugt wird.

Auf diese Weise konnte ein Datensatz für die Strom- und Fernwärmeproduktion, sowie die entsprechenden Umwandlungseinsätze in Kraftwerken, KWK-Anlagen und Heizwerken definiert werden. Die österreichische Energiebilanz weist die Bruttoproduktionsdaten aus, zur Berechnung der Nettoproduktion wurde der Eigenverbrauch der Erzeugungsanlagen abgezogen, welcher als Durchschnittswert für die einzelnen Energieträger auf Basis von Anlagendaten angesetzt wurde. Für die Kraftwerke sowie die Heizwerke konnte der Strom- bzw. Wärmewirkungsgrad direkt errechnet werden, für die KWK-Anlagen war dazu jedoch eine Aufteilung der Umwandlungseinsätze auf die Strom- und Wärmeproduktion erforderlich. Es existieren dazu verschiedene Allokationsverfahren, wobei im Rahmen dieser Studie die

so genannte *Finnische Methode* eingesetzt wurde. Diese definiert zwei Referenzanlagen, die jeweils getrennt Strom und Wärme produzieren. Bei der gekoppelten Produktion im Heizkraftwerk sind die Wirkungsgrade für Strom und Wärme geringer als bei der getrennten Produktion in Referenzanlagen. In Summe kommt es zu einer Reduktion des Brennstoffeinsatzes.

Die Finnische Methode ist eine Mischung aus Wirkungsgradmethode und Restwertmethode bei welcher der aktuelle Stromwirkungsgrad einer KWK-Anlage auf einen Referenz-Stromwirkungsgrad eines Stand der Technik-Kraftwerks und der aktuelle Wärmewirkungsgrad einer KWK-Anlage auf einen Referenz-Wärmewirkungsgrad eines Stand der Technik-Heizkessels bezogen wird. [23]

Diese Methode wird in der EU-Richtlinie 2004/8/EG für Gesamtwirkungsgrade und Primärenergieeinsparung und im EIWOG Österreich (Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetz) empfohlen. Die finnische Methode sowie einige alternative Methoden werden in der Studie „Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme“ [24] dargestellt.

Die Aufteilung der Brennstoffeinsparung der gekoppelten Erzeugung gegenüber der getrennten Erzeugung erfolgte proportional im Verhältnis der über die Referenzwirkungsgrade ermittelten Brennstoffeinsätze für Strom und Wärme. Die Brennstoffeinsparung durch die gekoppelte Erzeugung wurde daher sowohl der Strom- als auch der Wärmeproduktion in Teilen zugeschrieben. Auf diese Weise wurden die auf die Strom- bzw. Wärmeproduktion entfallenden Brennstoffmengen und die entsprechenden Wirkungsgrade eruiert.

GEMIS liefert für eine Vielzahl von Prozessen entsprechende Treibhausgasemissionswerte. Für jene Prozesse, die nicht in GEMIS abgebildet sind, wurde auf vergleichbare Prozesse zurückgegriffen.

Bei der Erstellung einer Treibhausgasbilanz werden für die eingesetzten Materialien jene Treibhausgasemissionen (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) die in den vorgelagerten Herstellungsprozessen entstehen ermittelt. Bei eingesetzter Energie (Fernwärme, Strom, Brenn- und Treibstoffe) werden die vorgelagerten und direkten Emissionen berücksichtigt.

In den vorliegenden Berechnungen wurden Leitungsverluste von der zentralen Erzeugung zum Endverbraucher in Höhe von 6 % bei Strom und 12 % bei Wärme berücksichtigt. Die Erdgasverluste von Russland nach Österreich (0,018 % / 100 km) wurden als CH<sub>4</sub>-Schlupf interpretiert.

Die Stromaufbringung setzt sich aus dem Strompark in Österreich und den Stromimporten aus dem Ausland zusammen. Die gemittelte Stromaufbringung des Jahres 2011 zeigt einen steigenden Anteil an Stromimporten nach Österreich. Diese Importmengen waren erforderlich, um die Stromversorgung zu gewährleisten. Daher wurde bei den Berechnungen ein durchschnittlicher Importanteil von 17,8 % bei der Stromaufbringung in Österreich berücksichtigt. [19] Die größten Stromimportländer sind Deutschland und Tschechien, deren

Atomkraft-Anteile sind erheblich. Auf die Konversionsfaktoren wirkt die Stromproduktion aus Atomkraftwerken mindernd auf die Treibhausgasemissionen.

Der Stromaufbringung steht (in gleicher Höhe) die Stromverwendung gegenüber. Diese setzt sich aus Stromexporten, Pumpspeicherung, Eigenbedarf der Kraftwerke, Netzverlusten und dem energetischen Endverbrauch, einschließlich des Stromverbrauchs des nicht-elektrischen Energiesektors, zusammen.

Bei der Stromerzeugung aus Wasserkraft wird in der österreichischen Energiebilanz eine Nettoverrechnung vorgenommen. Das heißt, dass der aus gepumptem Zufluss erzeugte Strom nicht in die Bilanzrechnung aufgenommen und anstelle des gesamten Pumpstroms nur die Pumpstromverluste (= Pumpstrom - aus gepumptem Zufluss erzeugter Strom) dem Verbrauch des Sektors Energie zugerechnet werden.

Stromimporte und -exporte werden an den Übergabestellen zu benachbarten Ländern erfasst. Allfällige Stromtransite werden daher sowohl als Stromimport als auch als Stromexport bilanziert. Stromtransite erfolgen aus wirtschaftlichen Überlegungen und sind nicht für die Energieversorgung von Österreich erforderlich. Daher werden die Stromtransitmengen nicht in die Berechnungen aufgenommen.

Es ist anzumerken, dass die Wasserkraftproduktion im Jahr 2011 außergewöhnlich gering war. Während im Mittel der Jahre 2005-2010 der Gesamtstromverbrauch zu 55 % durch Wasserkraft gedeckt werden konnte, lag dieser Wert 2011 nur bei 49 %; der Erzeugungskoeffizient der Laufkraftwerke betrug 0,88. Diese Minderproduktion wurde vorwiegend durch Stromimporte ausgeglichen, welche im Jahr 2011 einen historischen Höchstwert erreichten.

Je niedriger der Anteil der Wasserkraft zur Stromproduktion in Österreich, desto höher wird der Primärenergiefaktor; hier vor allem der nichterneuerbare Primärenergiefaktor, da mit fossilen Energieträgern die fehlende Wasserkraft kompensiert werden muss.

Die österreichische Fernwärmebilanz ist einfacher als die Strombilanz, da einerseits keine Importe und Exporte aufscheinen und andererseits kein Verbrauch des Sektors Energie angegeben wird. Die Fernwärmeaufbringung entspricht daher der Produktion in österreichischen KWK-Anlagen und Heizwerken; die Fernwärmeverwendung setzt sich aus den Transportverlusten und dem energetischen Endverbrauch zusammen.

## **2.2.6 Verwendete Primärenergie- und Treibhausgasemissionsfaktoren**

Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt die Primärenergie- und Treibhausgasemissionsfaktoren pro kWh Endenergie getrennt nach Energieträgern wie sie in diesem Projekt erstellt wurden. Der Primärenergiefaktor unterteilt sich in einen erneuerbaren Anteil (z.B. Wasserkraft, Biomasse, Sonnenenergie, etc.) und in einen nichterneuerbaren Anteil (z.B. Kohle, Erdöl, Erdgas, etc.). In den erneuerbaren Primärenergiefaktoren findet sich bei den Energieträgern Sonnenkollektoren (Solarthermie), Photovoltaik und Wärmepumpe (gespeicherte Sonnenenergie in der Erde) die Energiemenge, die aus der Sonne stammt. Die solaren Erträge sind vom Potenzial nicht limitiert, daher muss diese Energiemenge nicht im

Primärenergiefaktor berücksichtigt werden. Alle anderen erneuerbaren Energieträger haben begrenzende Faktoren (z. B. Fläche für Biomasse, etc.).

Energieträger	Primärenergie-faktoren in kWh/kWh <sub>Endenergie</sub>	Primärenergie-faktor Anteil gesamte erneuerbar in kWh/kWh <sub>Endenergie</sub>	Primärenergiefaktor Anteil Sonne* erneuerbar in kWh/kWh <sub>Endenergie</sub>	Primärenergie-faktor Anteil nichterneuerbar in kWh/kWh <sub>Endenergie</sub>	CO <sub>2</sub> -Äquivalent-Emissionen in g/kWh <sub>Endenergie</sub>
Erdgas	1,202	0,009		1,193	251,67
Heizöl (EL)	1,127	0,019		1,108	301,83
Holz-Pellets	1,187	1,038		0,149	52,02
Hackgut	1,126	1,000		0,126	36,95
Stückholz	1,078	1,016		0,062	26,29
Fernwärme in Österreich (Durchschnitt) 2011	1,506	0,594		0,912	210,95
Fernwärme mittels Biomasse (Durchschnitt)	1,622	1,364		0,258	69,22
Stromerzeugung in Österreich 2011	1,571	0,813		0,758	252,62
Stromerzeugung in Österreich – Sommerhalbjahr	1,267	0,850		0,417	109,40
Stromerzeugung in Österreich – Winterhalbjahr	1,667	0,628		1,039	319,06
Stromaufbringung in Österreich (inkl. Importe)	1,833	0,707		1,126	322,13
Stromaufbringung in Österreich (inkl. Importe) - Winterhalbjahr	1,912	0,555		1,357	376,74
Stromerzeugung ENTSO-E-Mix 2020 (vormals UCTE-Mix)	2,533	0,381		2,152	313,73
PV Stromerzeugung (multikristallin 1200 kWh/m <sup>2</sup> Einstrahlung - sehr guter Standort) Lebensdauer 30	1,382	1,022	1,00	0,360	87,24
Solarthermie (Flachkollektoren)	1,143	1,022	1,00	0,121	33,35
Wärmepumpe monovalent Erdreich JAZ 3,43 (ENTSO-E-Mix 2020)	1,808	1,252	1,00	0,556	106,16
Wärmepumpe monovalent Erdreich JAZ 3,39 (ENTSO-E-Mix 2020)	1,816	1,254	1,00	0,562	107,24
Wärmepumpe monovalent Erdreich JAZ 3,35 (ENTOS-Mix 2020)	1,825	1,257	1,00	0,568	108,35
Wärmepumpe monovalent Erdreich JAZ 3,30 (ENTOS-Mix 2020)	1,836	1,260	1,00	0,576	109,77
Wärmepumpe monovalent Erdreich JAZ 3,23 (ENTSO-E-Mix 2020)	1,853	1,266	1,00	0,588	111,83
Wärmepumpe monovalent Erdreich JAZ 3,18 (ENTSO-E-Mix 2020)	1,866	1,270	1,00	0,596	113,36
Wärmepumpe monovalent Luft JAZ 3,13 (ENTSO-E-Mix 2020)	1,878	1,274	1,00	0,604	114,93

\* Der Anteil Primärenergiefaktor Sonne ist im Primärenergiefaktor inkludiert!

**Tabelle 4** Primärenergiefaktoren in kWh pro kWh<sub>Endenergie</sub> und CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen in g pro kWh<sub>Endenergie</sub>

Die jeweiligen Faktoren für Holz-Pellets, Hackgut, Stromerzeugung ENTSO-E-Mix 2020, PV-Stromerzeugung, Solarthermie und Wärmepumpe Monovalent Erdreich JAZ 3,18 bis 3,43 wurden für das vorliegende Projekt verwendet.

## 2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)

Der wesentliche Unterschied zu den Projekten bisher die Energieversorgungs- und Heizsysteme miteinander verglichen haben besteht in der durchgehend verwendeten Bewertung der verschiedentlich eingesetzten Energieversorgungsvarianten nach

primärenergetischen Gesichtspunkten, die die Erzeugung von Energie vor Ort und die Deckung des Energiebedarfs vor Ort einschließt. Es werden im Vergleich zu ähnlichen Arbeiten Konversions- und Primärenergiefaktoren eingesetzt, die eine Unterscheidung von „endlich“ und „unendlich“ zur Verfügung stehenden Erneuerbaren Energieträgern treffen sowie Zukunftsentwicklungen wie ENTSO-E-Mix 2020 berücksichtigen. Die Energieerzeugung wurde im Übrigen konsequent stündlich bilanziert und dem stündlichen Bedarf gegenübergestellt. Der deshalb zu liefernde Rest-Primärenergiebedarf wurde exakt ermittelt und die Energieversorgung danach bewertet.

Das führt zu teilweise anderen Ergebnissen als erwartet. Zum Beispiel was die eigentliche Energiegewinnung eines über's Jahr 100% PV-versorgten Gebäudes betrifft, das dann stündlich bilanziert „nur“ etwa 30% an Energie zeitlich übereinstimmend mit dem Energiebedarf liefern kann.

Mit der Abbildung von hohen solaren Deckungen bei den Energiekonzepten mit Solarthermie ist dies eines der ersten Projekte, die sich diesem Thema systematisch angenommen hat, nämlich wie sind hohe Deckungsraten bei ST überhaupt zu schaffen, und mit welchen primärenergetischen Aufwänden ist dies unter Einrechnung des Kollektorerzeugungs- und Speicheraufwandes zu schaffen.

## **2.4 Verwendete Methoden**

### **2.4.1 Vergleich der Energieversorgungsvarianten mittels Simulationen**

Die Energieversorgungsvarianten basierend auf den beiden Heizungssystemen Biomasse und Wärmepumpe wurden jeweils dynamisch mittels Polysun und TRNSYS simuliert und auf stündliche solare Deckung und Energiebedarfsdeckung berechnet. Diese Arbeiten wurden vor allem von den Studierenden zweier Fachhochschulen (FH Burgenland, Standort Pinkafeld, und FH Technikum Wien) in 3 Masterarbeiten durchgeführt.

Die zugehörigen Haustechniksysteme wurden möglichst realitätsnah dem jeweiligen Modellgebäude oder Gebäudeverband angepasst abgebildet und für die Wärmebilanz über ein Jahr simuliert. Um verschiedene solar-thermische Deckungsgrade (0%/50%/100%) zu erreichen, wurden die verwendeten Anlagen in der Größe (vor allem hinsichtlich Kollektor- und Speichervolumen) variiert.

Analog wurde die Stromerzeugung am Standort behandelt. Der Haushaltsstrombedarf sollte entweder zu 100% über das allgemeine Stromnetz oder über unterschiedlich große Photovoltaikanlagen in der Jahresbilanz zu 50% und 100% gedeckt werden. Neben der Darstellung der jeweiligen erforderlichen Anlagengröße wurde auch die Berechnung des stündlichen Eigenbedarf-Deckungsgrads bei der Nutzung mit PV durchgeführt.

Mit den Simulationen sollten parallel mehrere Fragen untersucht werden, die aber nicht alle Teile der Ergebnisdiskussion, weil zu umfangreich, waren:

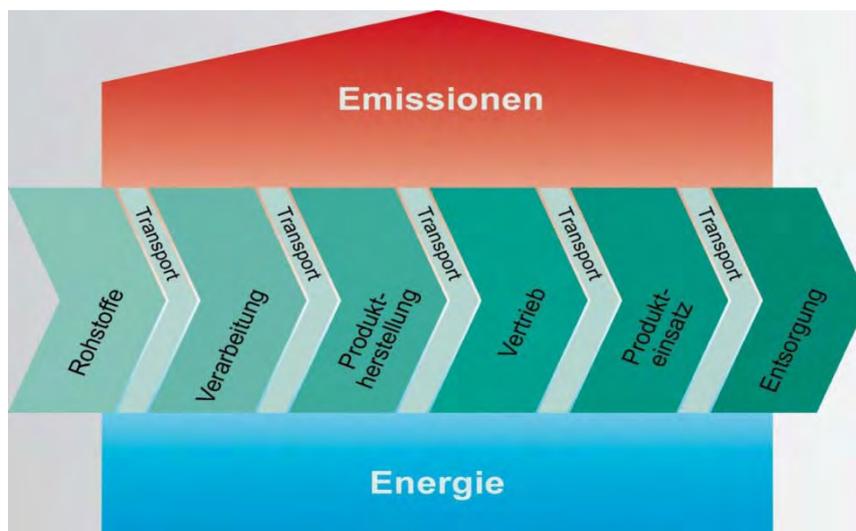
- Welche Anlagengrößen sind zur Erreichung der gewünschten solaren Deckungsgrade erforderlich?
- Welchen Primärenergiebedarf haben die simulierten Varianten?
- Wie schneiden die Verbandsvarianten im Vergleich zur gleichen Anzahl an Einzelgebäuden ab?
- Wie verhalten sich einzelne Varianten in einer klimatischen Extremwoche?
- Wie wirken sich Veränderungen der zugrunde liegenden Annahmen und Parameter durch eine Sensitivitätsanalyse aus?
- Wie groß sind die benötigten solaren Energieerzeugungs-Flächen, Pufferspeicher oder Heizzentralen bei den verschiedenen Varianten?

Die Endenergieeinsätze bzw. Energieerträge wurden mit den Primärenergie- und Treibhausgasemissionsfaktoren multipliziert und zur Bewertung von Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen verwendet. Und zum Nachweis, ob Null- oder Plusenergie bei einzelnen Varianten möglich wäre bzw. wie weit die Energieversorgung beiträgt, diese überhaupt zu erreichen. Die ökologische Bewertung wurde mittels GEMIS durchgeführt.

#### 2.4.2 GEMIS-Österreich

Das Umweltbundesamt hat aufbauend auf deutschen Forschungsarbeiten das Modell GEMIS (Gesamt Emissionsmodell Integrierter Systeme für Österreich) zur Erstellung von Umweltbilanzen für Österreich entwickelt, welches es ermöglicht, Systembetrachtungen in vereinfachter Weise durchzuführen. GEMIS ist ein computergestütztes Instrument, mit dem die Umweltauswirkungen von unterschiedlichen Systemen einfach, präzise und vor allem umfassend berechnet und miteinander verglichen werden können (vgl. Kap.2.2.5).

Die folgende Abbildung 7 gibt einen Überblick über die Modellstruktur von GEMIS.



**Abbildung 7** Funktionsweise einer Lebenszyklusanalyse

Auf Basis österreichspezifischer Daten berücksichtigt GEMIS wesentliche Prozesse, angefangen von der Primärenergie- und Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie und Stoffbereitstellung, so z. B. auch den Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen. Es bietet somit die Möglichkeit, neben den direkten Emissionen auch die vorgelagerten Prozessemissionen zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse dieser Bewertung gingen dann in die Ergebnisdiskussion innerhalb des Projektteams ein. Es war klar, dass nicht alle Ergebnisse relevant sind, daher wurde vor allem auf die bedeutenden in der Darstellung gegenüber der Öffentlichkeit fokussiert. Diese finden sich auch in Kap. 3.

## **2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung**

### **2.5.1 Bewertung von unterschiedlichen Gebäudetypen**

Die Endenergieeinsätze der unterschiedlichen Gebäudetypen und Heizungsformen wurden wie erwähnt im Rahmen von Master- bzw. Diplomarbeiten generiert. Diese gliedern sich nach

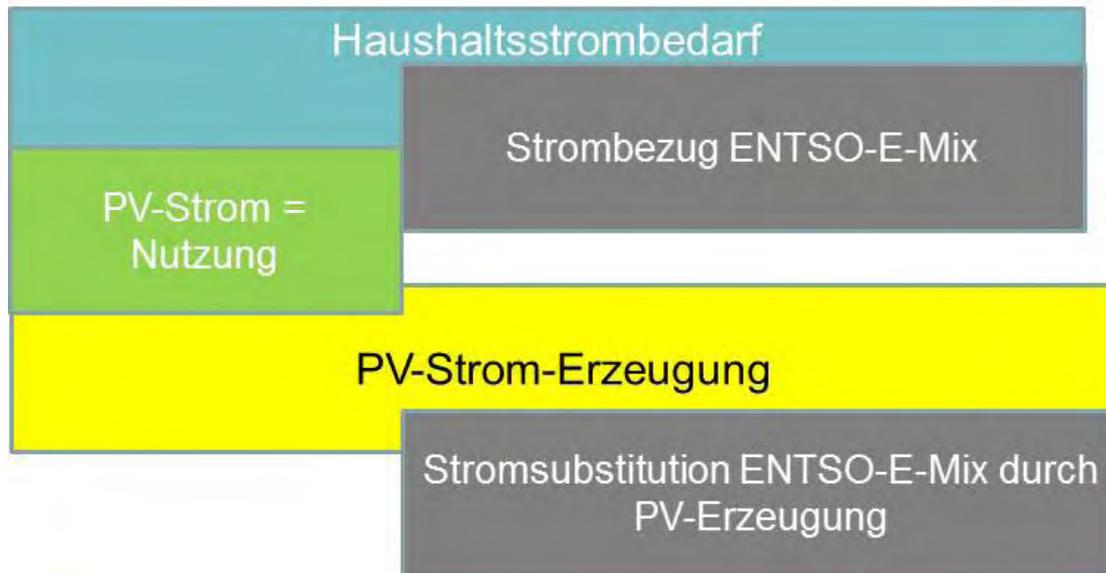
- Raumwärmeeinsatz (inkl. Warmwasser)
- Stromeinsatz

Im Rahmen der Diplomarbeiten wurden die solaren Erträge von Sonnenkollektoren und PV-Modulen simuliert. Der Raumwärmeeinsatz der nicht durch Sonnenkollektoren erbracht und in den erforderlichen Wärmespeichern gespeichert wird, wird durch biogene Brennstoffe (Holz-Pellets oder Hackschnitzel) oder Wärmepumpen bereitstellt.

Der Eigenstrom wird mit Photovoltaikanlagen erzeugt. Die PV-Modulfläche wurde so dimensioniert dass ein Jahresstrombedarf des Modellgebäudes damit gedeckt werden könnte. Die tatsächliche Produktion richtet sich natürlich nach dem Energieangebot der Sonne und der Umwandlung über die Modulflächen in elektrischen Strom; nur ein Teil des Ertrags der PV-Anlagen kann zeitgleich im Haus eingesetzt werden – es wurden keine Stromspeicher in den Modellgebäuden vorgesehen. Stromüberschüsse werden in das Stromnetz eingespeist. Jene Strommengen, die nicht durch die PV-Anlage zeitgleich bereitgestellt werden können, müssen aus dem Stromnetz bezogen werden. Die Stromüberschüsse der PV substituieren aber jenen Strompark, der die Energieversorgung in den Gebäuden über das allgemeine Stromnetz bereitstellt, wenn kein PV-Strom zur Verfügung steht.

Die Modellgebäude werden in dieser Studie mit dem sogenannten ENTSO-E-Mix 2020 (europäischer Strom-Mix) versorgt. Der Bezug der ENTSO-E-Mix-Strommenge wird durch den Output der PV-Anlagen reduziert. Im Idealfall wird jene Strommenge die vom Stromnetz bezogen werden muss, zu einem anderen Zeitpunkt durch PV-Strom-Überschüsse substituiert (siehe Abbildung 8). Die Einflussnahme auf die Ökobilanzergebnisse von

Strombezug und Stromsubstitution ist dann am geringsten, wenn dieselbe Stromproduktion betrachtet wird.



**Abbildung 8** Darstellung der Stromerzeugung für den Haushaltsstrom mittels PV, Stromsubstitution und Strombezug aus dem Netz (hier mit ENTSO-E-Mix)

Abbildung 8 zeigt, dass bei der Konzeption der Stromversorgungsvarianten nur auf eine jährlich bilanzierte 100%ige (oder 50%ige) Stromversorgung durch PV geachtet wurde. Dadurch ergibt sich eine etwa nur 30% Übereinstimmung von stündlicher PV-Strom-Direktnutzung im Vergleich zur PV-Strom-Erzeugung.

### 2.5.2 Bewertung von Infrastruktur

Die Herstellungsmaterialien (z.B. Heizkessel, Verrohrungen, Wärmespeicher, PV-Anlage, Solarthermie) sind in der Bewertung mittels GEMIS-Österreich berücksichtigt und auf die Lebensdauer bezogen.

Die Herstellung der Gebäudehülle (Außenwände, Dach, Dämmung, etc.) und die Einrichtung sind nicht Teil der Bilanzierung. Straßeninfrastruktur (Gehwege, Stellplätze für Fahrzeuge und Straßenbeleuchtung sind ebenfalls nicht in der Bilanzierung berücksichtigt.

Die Einsatzmenge von Kältemittel bei Wärmepumpen liegt bei einem Einfamilienhaus zwischen 1,8 bis 2,1 Liter bei einem Mehrfamilienhaus zwischen 3 bis 4,5 Liter. Das Global Warming Potential (GWP) liegt für das Kältemittel R 407c bei 2.107, die Dichte ist 1,136 kg/Liter. Der Verlust von 1 kg Kältemittel R 407c bedeutet somit 2.107 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emission. Der BINE-Bericht [25] gibt bei Wärmepumpenanlagen eine jährliche Verlustrate von 2,5 % laut Deutschem Umweltbundesamt an. Pro Anlage bedeutet dies eine Verlustmenge von 0,05 bis 0,13 kg Kältemittel. Die resultierenden jährlichen CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen belaufen sich auf 108 kg (Einfamilienhaus) bis 266 kg (Mehrfamilienhaus) und wurden berücksichtigt.

### 3 Ergebnisse des Projektes

Wie in Kap. 2.4 erwähnt, wäre es zu umfangreich, über alle Ergebnisse des Projektes und der Masterarbeiten zu berichten. Die Ergebnisse zu den Endenergiebilanzen und Simulationen sind über die jeweiligen Diplomarbeiten nachzulesen, die jede für sich sehr umfangreich ist:

**Auguste („Gusti“) Mandl** – „Energetische Bewertung von Energieversorgungskonzepten für Gebäude mittels TRNSYS“, FH Technikum Wien (Betreuer: DI Thomas Zelger)

**Jürgen Ullmann** – „Energetische Bewertung von Energieversorgungskonzepten für Gebäude und Gebäudeverbände mittels Polysun (Schwerpunkt Solarthermie und Biomasse)“, FH Burgenland (Standort Pinkafeld; Betreuer: DI Ernst Blümel)

**Peter Trauner** – „Energetische Bewertung von Energieversorgungskonzepten für Gebäude und Gebäudeverbände mittels Polysun (Schwerpunkt Wärmepumpensysteme)“, FH Burgenland (Standort Pinkafeld; Betreuer: DI Ernst Blümel)

Im Folgenden werden daher die wichtigsten Erkenntnisse und Ergebnisse, die aus der ökologischen Bewertung und aus der Ergebnisdiskussion hervorgegangen sind, zusammengefasst.

#### 3.1 Generelle Ergebnisse

Generell können einige interessante Ergebnisse über alle Variantenberechnungen hinweg festgehalten werden:

Die dezentralen Einzelgebäude-Energieversorgungs- und Heizungsvarianten sind den zentralen Energieversorgungsvarianten im kleinen Gebäudeverband ökologisch relativ gleichwertig trotz optimierter, verringerter Netzverluste. Bei Einsatz von Solarthermie und/oder 2 Wärmepumpen (jeweils für Niedrig- und Hochtemperaturwärme) in der Heizzentrale sind die Gebäudeverbände im Vergleich zu den Einzelgebäude-Versorgungsvarianten ohne zusätzliche Solarthermie- oder WP-Nutzung im Einzelgebäude selbst ökologisch noch im Vorteil.

Die Biomasseheizungsvarianten sind bei der primärenergetischen Bewertung im Vergleich zur Wärmepumpenheizung im Nachteil, aber bei der CO<sub>2</sub>-Emissionsbewertung in gleichem Maß im Vorteil gegenüber der Wärmepumpe. Keine der untersuchten Gebäude- oder Gebäudeverbandsvarianten schafft es unter den gegebenen Voraussetzungen (nur südorientierte, unverschattete am Gebäude selbst liegende Flächen der Energiegewinnung, HWB 10 der 50 Häuser nach OIB RL 6, nicht optimierte Lastprofile, Vorrang Solarthermie vor Photovoltaik-Flächen bei der Flächenbelegung, Stunden-, nicht Jahresbilanzierte Energieproduktion, etc.) Null- oder Plusenergiestandard zu erreichen. Die besten Varianten mit vollbelegten Flächen zur Solarthermie und Photovoltaik-Produktion bleiben bei ca. 20 kWh/m<sup>2</sup>a Primärenergiebedarf und bei CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen von etwa 4 kg/m<sup>2</sup>a.

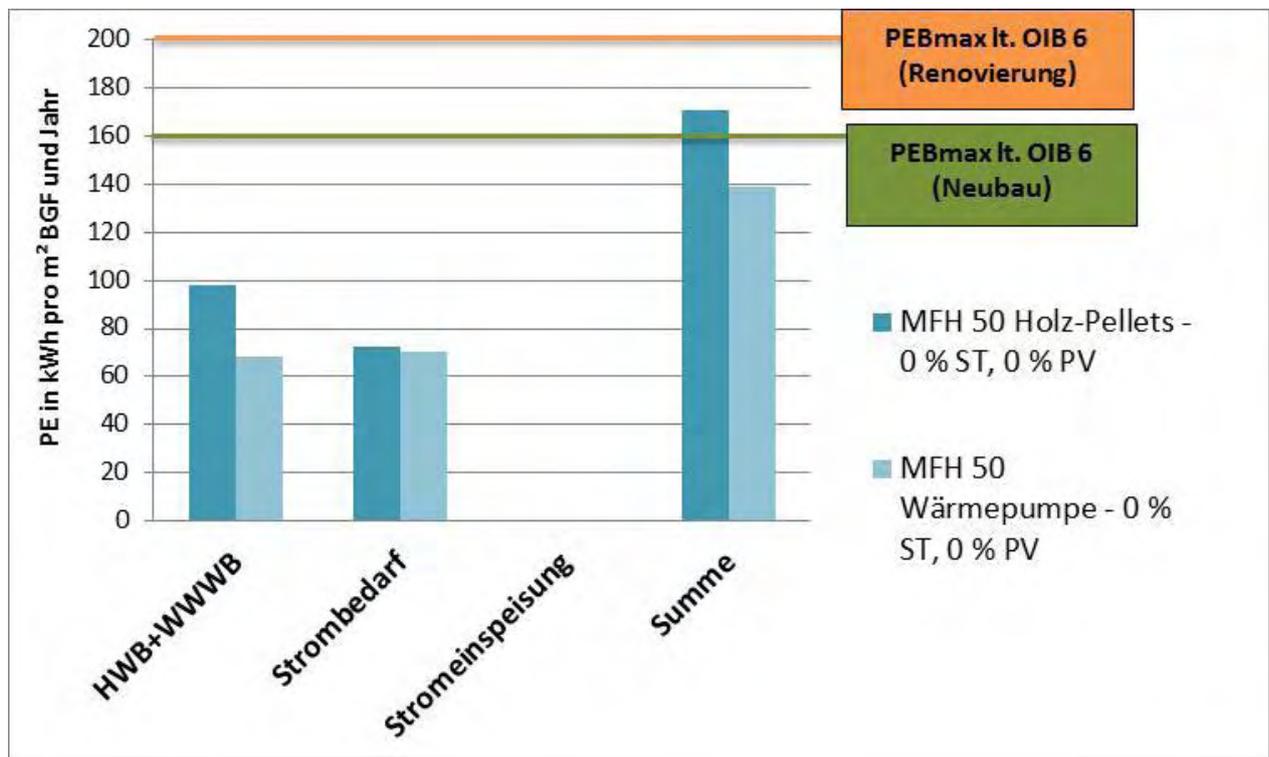
## 3.2 Ergebnisse im Speziellen für MFH-Varianten

Da die Varianten zur Energieversorgung der Mehrfamilienwohnhaus-Einzelgebäude die ökologisch interessantesten sind, und vom Trend her alle anderen Varianten „mitnehmen“ können, werden im Folgenden die Ergebnisse der ökologischen Bewertung derselben vorgestellt.

### 3.2.1 Primärenergetische Bewertung

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Wärmebereitstellung für Mehrfamilienhäuser mittels Holz-Pellets und Wärmepumpen miteinander verglichen.

Der gesamte verbleibende Primärenergiebedarf setzt sich aus den Anteilen für den Heizenergiebedarf (inkl. Warmwasserbedarf), dem Strombedarf und der Stromeinspeisung zusammen.

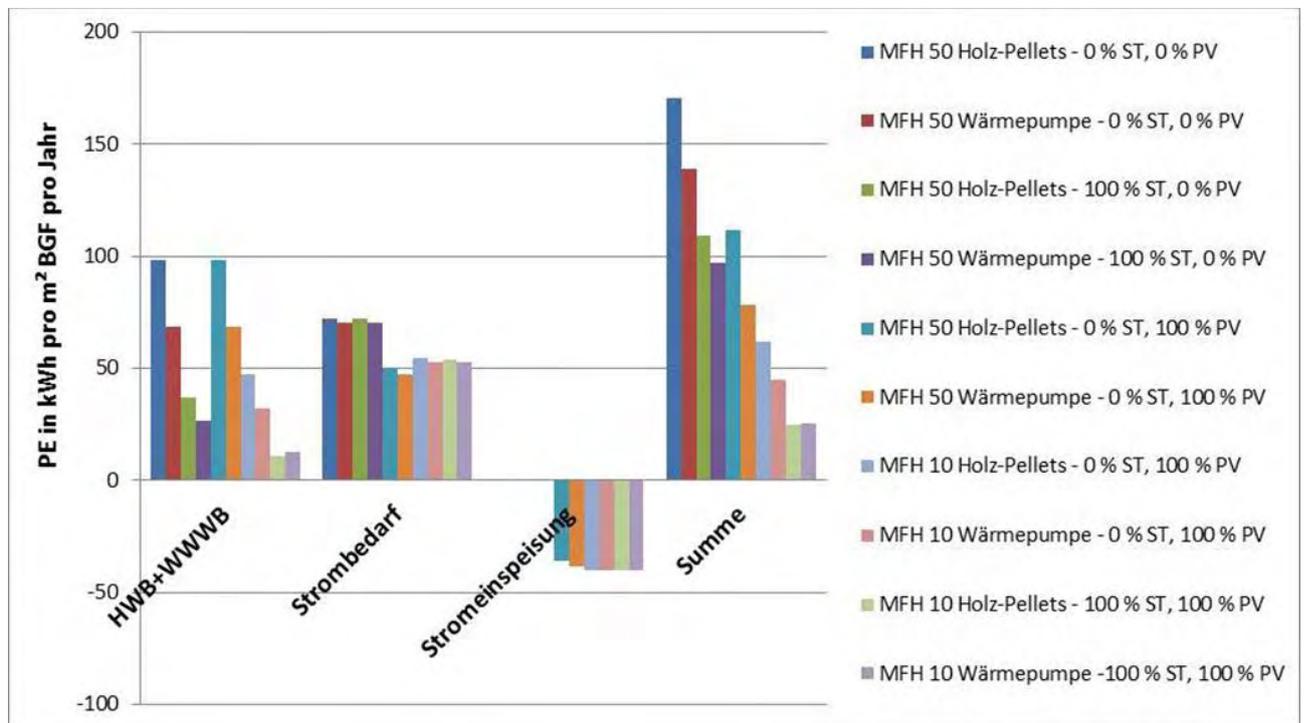


**Abbildung 9** Primärenergiebedarf pro m<sup>2</sup> BGF für Mehrfamilienhäuser HWB 50 – kein Einsatz von Solarthermie und Photovoltaik

Primärenergetisch sind alle Varianten der Wärmepumpenheizungen interessanter und schneiden besser ab als die Biomassevarianten. Das liegt vor allem in der günstigeren Bewertung der WP beim Primärenergiefaktor („endlich“ gegen „unendlich“ verfügbarer Erneuerbarer Energieträger!). In Abbildung 9 wird der spezifische Primärenergiebedarf pro m<sup>2</sup> BGF und Jahr des OIB-Nationalen Plans für Renovierungen und Neubau für das Jahr 2020 [27] im Vergleich zu den Mehrfamilienhäusern beheizt mit Holz-Pellets und

Wärmepumpe angeführt. Gut ersichtlich ist, dass die Anforderungen sogar für das Jahr 2020 fast bzw. erreicht werden, mit einem mittelmäßig energieeffizienten Gebäude und ohne irgendeine Form der aktiven Energieerzeugung vor Ort. Dies war das Referenzszenario der ökologischen Bewertungen im Projekt. Abbildung 10 zeigt die möglichen erreichbaren Primärenergiebedarfswerte bei unterschiedlichem Einsatz von Solarthermie und/oder Photovoltaik.

Im besten Fall kann der Einsatz von Solarthermie und Photovoltaik in einem Mehrfamilienhaus mit HWB 10 den Primärenergiebedarf auf rund 25 kWh (Holz-Pellets-Heizung) bzw. 25,2 kWh (Wärmepumpenanlage) pro m<sup>2</sup> BGF und Jahr reduzieren (siehe Abbildung 10). Das ist nur mehr etwa ein Sechstel des Primärenergieaufwandes der Referenzsituation und damit ökologisch sehr interessant.



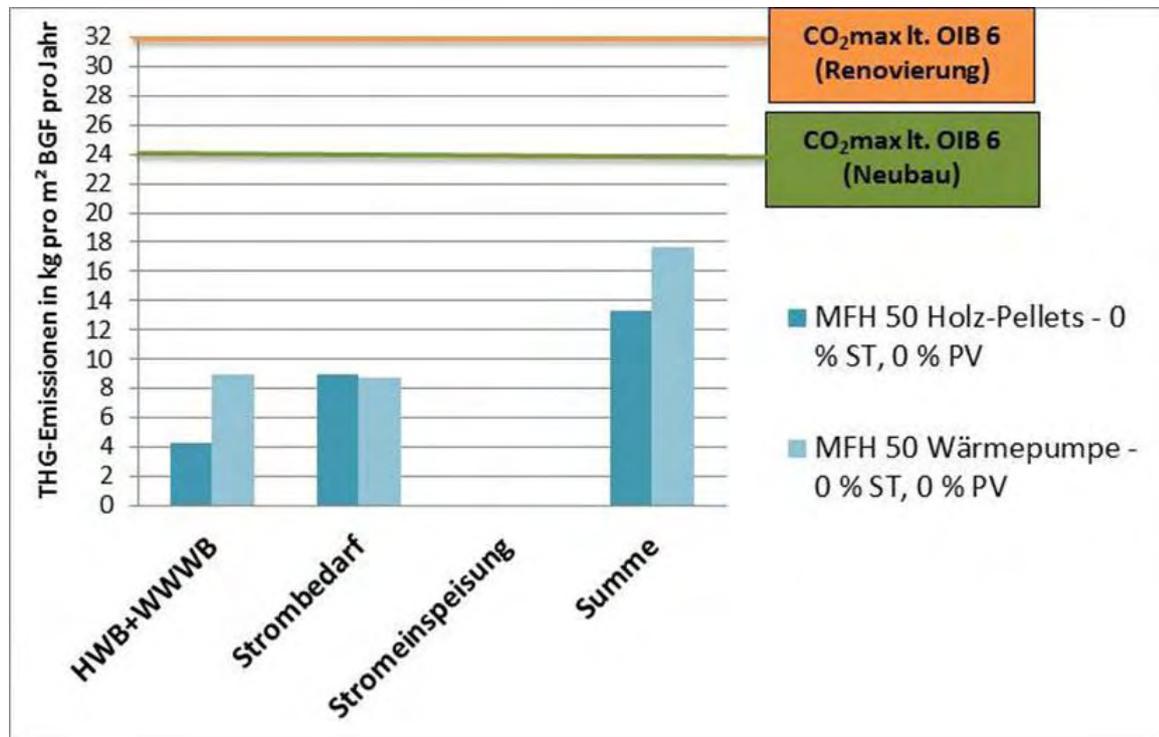
**Abbildung 10** Primärenergiebedarf pro m<sup>2</sup> BGF für Mehrfamilienhäuser mit HWB 50 und HWB 10 je nach Einsatz von Solarthermie und von Photovoltaik in Biomasse- oder Wärmepumpenheizungsvarianten

### 3.2.2 Bewertung der Treibhausgasemissionen

Die gesamten Treibhausgasemissionen von Holz-Pellets-Heizungen sind niedriger als von Wärmepumpenheizungen, da die Verbrennungsemissionen CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet werden. Bei der Verbrennung entstehen jene Kohlendioxid-Emissionen, die während des Wachstums der Pflanze gebunden wurde.

Die nachfolgende Abbildung 11 zeigt die Treibhausgasemissionen in kg pro Jahr pro Bruttogeschoßfläche für ein Mehrfamilienhaus HWB 50 (Referenzsituation) ohne

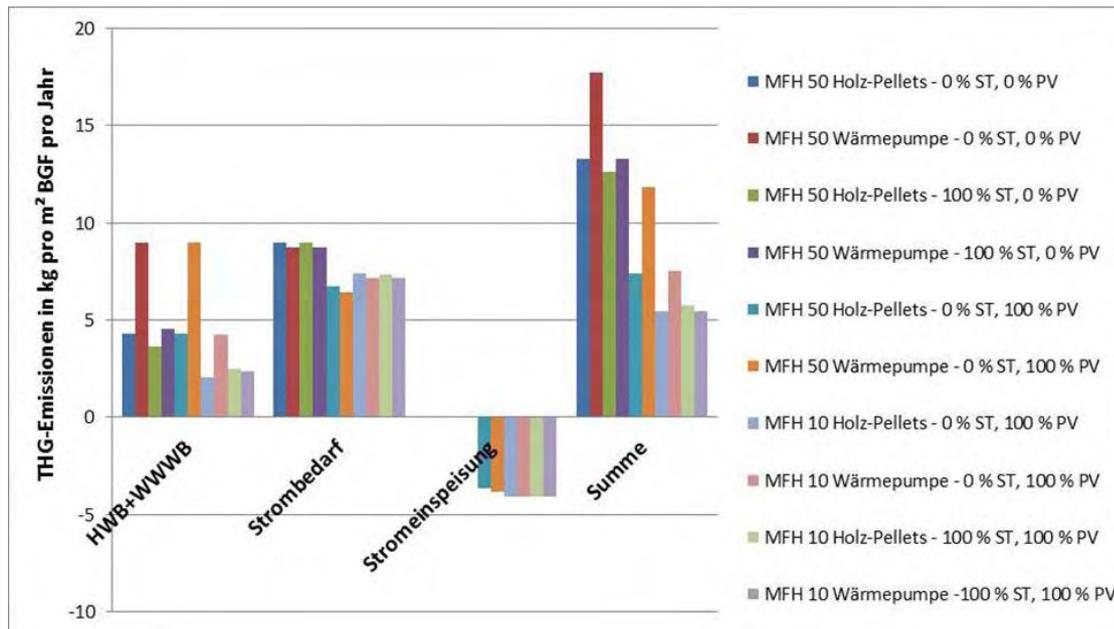
Solarthermie- und Photovoltaikproduktion. Die Richtwerte laut OIB-Nationalem Plan für 2020 [27] die für Sanierung oder den Neubau zu erreichen sind, werden ebenfalls angeführt.



**Abbildung 11** THG-Emissionen in kg pro m<sup>2</sup> BGF für Mehrfamilienhäuser HWB 50 – kein Einsatz von Solarthermie und Photovoltaik

Gut ersichtlich ist, dass die Anforderungen sogar für das Jahr 2020 um mindestens ein Viertel unterschritten werden, mit einem nicht ambitioniert energieeffizienten Gebäude (HWB 50) und ohne irgendeine Form der aktiven Energieerzeugung vor Ort. Dies war das Referenzszenario („Maximalszenario“) der ökologischen Bewertungen im Projekt. Abbildung 12 zeigt die möglichen erreichbaren CO<sub>2</sub>-Reduktionswerte bei unterschiedlichem Einsatz von Solarthermie und/oder Photovoltaik.

Im besten Fall kann der Einsatz von Solarthermie und Photovoltaik in einem energieeffizienten Mehrfamilienhaus mit HWB 10 die CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen auf rund 5,5 kg (Holz-Pellets-Heizung) bzw. 5,8 kg (Wärmepumpenheizung) pro m<sup>2</sup> BGF und Jahr reduzieren (siehe Abbildung 12). Das ist um etwa das 2,5-fache weniger als in der Referenzsituation und damit weit unter den derzeitigen Nationalen Zielen des OIB.



**Abbildung 12** THG-Emissionen in kg pro m<sup>2</sup> BGF für Mehrfamilienhäuser mit HWB 50 und HWB 10 je nach Einsatz von Solarthermie und von Photovoltaik in Biomasse- oder Wärmepumpenheizungsvarianten

### 3.3 Ergebnisinterpretation

Die Simulation der Gebäude im Rahmen der Diplomarbeiten umfasste die Betrachtung von Einfamilienhäusern (1 Wohneinheit), Mehrfamilienhäusern (10 Wohneinheiten) und von Netzen von Einfamilienhäusern (9 Wohneinheiten) und Mehrfamilienhäusern (90 Wohneinheiten). Die Ökobilanzen wurden für alle Gebäudetypen, beheizt mit Holz-Pellets oder Wärmepumpen, versorgt mit Energie aus ST und/oder PV erstellt.

Die Einfamilienhäuser weisen pro Bruttogeschoßfläche niedrigere Emissionen und Primärenergiefaktoren als Mehrfamilienhäuser auf. Das liegt jedoch ausschließlich daran, dass Einfamilienhäuser mit 162 m<sup>2</sup> BGF pro Wohneinheit und Mehrfamilienhäuser mit 103 m<sup>2</sup> BGF pro Wohneinheit berücksichtigt werden. Würde der verbleibende Primärenergiebedarf der Energieversorgungsvarianten auf Personen oder in einer zu entwickelnden Verhältniszahl auf die Bebauungsdichte und nicht auf Brutto-Grundfläche bezogen, so steigen die meisten MFH-Varianten vergleichsweise besser aus.

Dies trüfe umso mehr zu je mehr in Zukunft auch die graue Energie der Gebäude und der Infrastruktur für das Gebäude (Kanal-, Straßennetz, etc.) miteingerechnet würden.

Die Errichtung einer gemeinsamen Energieversorgung über einen Gebäudeverband ist im direkten Vergleich mit der dezentralen Versorgung der Einzelgebäude noch kein Gewinn für die Primärenergiebilanz. Gebäudeverbände führen im Vergleich zu einzelnen Mehrfamilienhäusern nur dann zu einer Reduktion der Treibhausgase von rund 4 % pro Bruttogeschoßfläche und zu einer Reduktion des Primärenergiebedarfs von rund 3,4 % pro

Bruttogeschoßfläche, wenn die Netzverluste über – wie in diesem Zahlenbeispiel - die zentrale Solarthermienutzung an der Heizzentrale abgefangen werden.

Die Änderung der Strombereitstellung hat kaum Einfluss auf das Gesamtergebnis. Je niedriger der Primärenergieeinsatz pro kWh Strom bei der Bereitstellung ist, desto geringer sind die Substitutionseffekte bei der Einspeisung von PV-Strom ins Stromnetz.

Zusammenfassend kann behauptet werden, dass ein Plusenergiehaus bei den betrachteten Gebäudemodellen und Annahmen weder beim Primärenergieeinsatz noch bei den Treibhausgasemissionen möglich ist. Keine der betrachteten Haustypen mit keiner der eingesetzten Energieträger und Strombezüge bzw. Stromsubstitution erreicht den Plusenergiehaus-Status. Voraussetzung für die potentielle Erreichung ist in jedem Fall ein energieeffizientes Gebäude mit einem HWB von rund 10 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr.

Die Stromerträge aus den PV-Anlagen sind zu gering, um die Wärme- und Stromaufwände zu kompensieren, der Haushaltsstrom verursacht zu hohe Umweltauswirkungen.

Plusenergiehaus-Status unter Berücksichtigung von THG-Emissionen und Primärenergie ist möglich, wenn der Haushaltsstrombedarf reduziert wird und/oder die Erträge erhöht werden. Die Haushaltsstrommengen können vor allem durch Änderung des Lebensstils bzw. des NutzerInnenverhaltens im Plusenergiehaus erfolgen. Hier liegt noch viel primärenergetisches Potenzial.

Die Wärmeerträge könnten durch die Nutzung von Wärmeüberschüssen (z.B. aus Solarthermie, Biomasse) mit Mikronetzen und deren Ausgleichs- und Speichermöglichkeiten erhöht werden. Für höhere Stromüberschüsse durch PV-Anlagen müssten zusätzliche Flächen am Gebäude oder dessen Umfeld genutzt werden.

## **4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms**

### **4.1 Einpassung in das Programm**

Das Projekt wurde im Rahmen der 3. Ausschreibung des Programms „Haus der Zukunft Plus“ bewilligt und durchgeführt. Die Schwerpunkte in der Ausschreibung die adressiert wurden, waren die schon genannten Wege und Präzisierungen zur Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie 2010 und Beiträge für einen zu entwickelnden „Österreichischen Gebäudestandard“, basierend auf ökologische Auswirkungen der Gebäude im Lebenszyklus und der nachhaltigen Energieversorgung derselben.

Diese Punkte waren wichtige Faktoren in der Planung des Projektes und seiner Ziele.

## 4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Die Website von „Haus der Zukunft“ des BMVIT führt unter der Vision und den Zielen des Programms „Haus der Zukunft Plus“ folgende Punkte an:

„Die langfristige Vision für das „Gebäude der Zukunft“ ist, die energetische Effizienz bezüglich Produktion und Betrieb derart zu erhöhen, dass über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden die treibhausrelevanten Emissionen in Summe auf Null reduziert werden.

Mit „Haus der Zukunft Plus“ wird das Ziel verfolgt, jene technologischen Voraussetzungen zu schaffen, die die Herstellung von Gebäuden ermöglichen, die nicht Energie verbrauchen, sondern Energie erzeugen.

Folgende Anliegen werden im Programm vorrangig verfolgt:

1. Schaffung der technologischen Basis für das Gebäude der Zukunft, insbesondere das Plus-Energie-Haus. Das Programm setzt einen weiteren Schwerpunkt auf Büro- und Betriebsgebäude sowie auf Gebäudemodernisierung;
2. Überleitung innovativer Technologien und Produkte zur Serien- bzw. industriellen Fertigung;
3. Initiierung von Demonstrationsprojekten (Gebäude, Siedlungen, Netze ...), um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten;
4. Unterstützung der internationalen Vernetzung der österreichischen KompetenzträgerInnen, Verstärkung des internationalen Know-how-Transfers sowie Aufbau von Humanressourcen und Integration vorhandenen Wissens in entsprechende Ausbildungsangebote“

Das Projekt Smart ABC trug folgendermaßen zu diesen Zielen bei:

Ad 1. Das Plusenergiehaus wurde auf Herz und Nieren geprüft und die 100% Energieerzeugung ökologisch untersucht.

Ad 2. Die Voraussetzungen und Möglichkeiten, diese Gebäude zu prüfen wurden hier dargelegt, als Anstoß für den Markt dies ebenso „regelmäßig“ zu tun bzw. seine Konzepte zu prüfen.

Ad 3. Demogebäude wurden direkt keine geschaffen, aber Modellgebäude zur guten Vergleichbarkeit verschiedenster Haustechniksysteme.

Ad 4. Die Ergebnisse des Projektes werden in internationale Konferenzen (z.B. 9th Masonry Conference 2014) und Projekte wie die der IEA-Kooperation oder in die Concerted Action EPBD (z.B. Certification Schemes) auf EU-Ebene miteinfließen.

### **4.3 Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt**

Ziel war hier die Studienergebnisse innerhalb des Projektteams abzustimmen und dann mit relevanten österreichischen VertreterInnen der Baubranche und Zertifizierungsorganisationen zu diskutieren. Da die Zielgruppen auch im Projektteam vertreten waren (inkl. der berufsbegleitenden Studierenden und deren Betreuer an den FHs), wurden interne Diskussionen zur Methodik und vorbereitenden Arbeiten auch zu relevanten Test für die Diskussionen mit Personen außerhalb des Projektteams.

Die Zielgruppen wie klima:aktiv-VertreterInnen wurden parallel zu den Entwicklungen im Projekt informiert und auch persönlich Rückmeldungen eingeholt. Die persönliche Diskussion der Ergebnisse mit der Zielgruppe wurde dann in einem öffentlichen Workshop am 11.12.2013 in Wien mit dem Titel „Plusenergiegebäude als Mogelpackung? Vorstellung und Diskussion neuer Ergebnisse zur ökologischen Bewertung von Plusenergiegebäuden aus dem HdZ Plus – Projekt Smart ABC“ mit etwa 80 TeilnehmerInnen gesucht. Der Erfolg der Veranstaltung gab dem Projektteam Recht, die ökologisch motivierte Diskussion von Energieversorgungs- und Gebäudekonzepten neben der wirtschaftlichen offen und wissenschaftlich basiert zu führen. Dies kommt viel zu oft am Markt zu kurz.

Das Programm, die Vorträge und eine Zusammenfassung der Veranstaltung finden sich in der Rubrik „News“ auf der AEE INTEC-Website [www.aee-intec.at](http://www.aee-intec.at). Die Vorträge befinden sich außerdem im elektronischen Anhang dieses Berichtes (siehe Kap.8). Im März 2014 erschien ein Artikel in der Zeitschrift „erneuerbare energie“ und sollte eine Einladung an die Zielgruppe sein, sich über das Projekt zu informieren. [26]

Der direkte Kontakt der einzelnen ProjektpartnerInnen zur Zielgruppe in ihren Netzwerken, wie Solarthermie-, Gebäudezertifizierungs- und Umweltbewertungsbranchen werden dazu beigetragen, die Projektergebnisse auch in Details weiterzugeben. Ein Beispiel, wo schon auf Bedürfnisse der Zielgruppe eingegangen wurde, ist, dass nun Gebäude mit hoher solarer Deckung aufgrund ihrer ökologisch guten Gesamtprimärenergie- und CO<sub>2</sub>-Emissionswerte in nächster Zukunft auch klima:aktiv zertifiziert werden können.

### **4.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse**

Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, in Zukunft gut zu überlegen, wo dezentrale und zentrale Energieversorgungskonzepte ökologisch Sinn machen, abseits der ständigen Wirtschaftlichkeitsdiskussionen. Nicht nur die Versorgung über Energienetze kann vernünftig und ökologisch interessant sein, sondern auch die dezentrale Versorgung energieeffizienter Gebäude. Das war schon länger klar, muss aber wieder stärker in den Vordergrund rücken.

Der Markt könnte mit gut durchdachten und ehrlichen „Aktivhaus“-Konzepten (Smart Active Buildings) antworten, die nicht nur die „Plusenergie“ hinausposaunen, die es oft nur theoretisch gibt. Und die bestehenden Plus- oder Nullenergiegebäude am Markt sollten ihr wahres Potenzial und ihren wahren Beitrag zu einem ökologischen Gebäudestandard herausstreichen, als generell mit nicht erfüllbaren realen Eigenproduktionsanteilen zu werben. Und natürlich gibt es noch jede Menge Möglichkeiten, Plusenergiegebäude für den Markt zu planen und zu bauen, dies sollte jedoch auf realistischen Abschätzungen und Berechnungen über den Lebenszyklus der Energiekonzepte basieren.

## 5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Ein Plusenergiegebäude in unseren Breiten heißt eben nicht, dass der gesamte Energieverbrauch dieses Gebäudes zu jeder Zeit vor Ort produzierbar ist (vgl. auch Kap. 3.3). Dies wird am Markt suggeriert und das muss hinterfragt werden. Dass trotzdem ökologisch „Smart Active Buildings“ rauskommen können, wenn hohe Energieeffizienz des Gebäudes (in diesem Projekt definiert als HWB von  $10 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ ) und hohe Deckungsgrade von Solarenergie gekoppelt werden, ganz ohne auch immer auf Netze in herkömmlichem Sinn zurückgreifen zu müssen, das hat das Projekt gezeigt.

Die großen Herausforderungen der Zukunft zur Erreichung von Nahezu-Null- oder Plusenergiegebäuden liegen wie erwartet bei der Minimierung des (Haushalts-) Strombedarfs, bei der zeitlichen Übereinstimmung von Energie-Angebot und -Nachfrage und bei der Flächenbereitstellung für die Energieproduktion aus Erneuerbaren Energieträgern vor Ort oder in der Nähe bzw. deren Effizienzsteigerung bei der Produktion. Dies trifft noch stärker zu, wenn nicht nur der Endenergiebedarf, sondern der gesamte Primärenergiebedarf gegen die stündlich erzeugte Primärenergie menge von Erneuerbaren Energieträgern „vor Ort“ oder „in der Nähe“ bilanziert wird. Ebenso schwer sind die CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen auf null zu reduzieren. Insofern wäre es bei vielen Gebäuden „gemogelt“, in ökologischem Sinne von Plusenergiegebäuden zu sprechen. Hier müssen die nächsten nationalen Regelwerke wie OIB-Richtlinien oder Normen weiter verändert werden, um diesen Herausforderungen gerecht zu werden. Da liegt noch viel Arbeit vor den zuständigen Gremien und auch der Forschungs-Community.

Das Projekt hat aber auch gezeigt, dass dezentrale Energieversorgung mit hohem solarem Deckungsanteil, neben den Vorteilen von zentralen Energienetzen, wie größere Zwischenspeichermöglichkeiten für gerade vor Ort unbrauchbare Gewinne, nicht „out“ ist. Sie ist nahe an der VerbraucherIn und laut den Projektergebnissen eine ökologisch interessante Variante, weil Verluste bei direkter Erzeugung und Verbrauch vor Ort niedrig gehalten werden. Der Energie- und Ressourcenaufwand bei der Wärmeverteilung in Wärmenetzen ist primärenergetisch nicht so einfach auszugleichen. Trotzdem wird in vielen Fällen die Nutzung von Wärme- und/oder Stromnetzen zur Verteilung von Überschüssen aus Erneuerbaren Energie-Anlagen „vor Ort“ oder „in der Nähe“ notwendig und sinnvoll sein, um (Nahe-)Null- oder Plusenergie in niedriger zeitlicher Übereinstimmung von Energie-

Nachfrage und Angebot überhaupt zu ermöglichen. Dazu sollte es aber weitere Studien und Untersuchungen geben.

## 6 Ausblick und Empfehlungen

In Anlehnung an das vorige Kapitel kann festgehalten werden:

Nahezu-Null- oder Plusenergiegebäude liegen im Trend und sind prinzipiell positiv zu sehen, da sie das Potenzial haben, die Energieversorgung unseres Gebäudebestandes insgesamt positiv zu beeinflussen, indem sie in manchen Fällen Energieproduzenten sein können. Andere Gebäude denen dies durch ungünstige Lage oder bautechnische Gegebenheiten nicht möglich ist, profitieren wenn sie im Netzverbund mit solchen Gebäuden liegen. Dazu gilt es aber noch einige Herausforderungen zu bewältigen und technische Rahmenbedingungen zu schaffen wie:

- Minimierung des (Haushalts-) Strombedarfs
- Optimierung der zeitlichen Übereinstimmung von Energie-Angebot und -Nachfrage im Gebäude und auch im Austausch mit dem Netz
- Flächenbereitstellung für die Energieproduktion aus Erneuerbaren Energieträgern vor Ort oder in der Nähe rechtlich und organisatorisch klären
- Energie- und Ressourceneffizienz bei der Produktion von Erneuerbaren Energieträgern steigern

Vor allem die DEZENTRALE Energieproduktion mit hohem solaren Deckungsgrad mittels Solarthermie und Photovoltaik hat, neben all den Vorteilen die zentrale Energienetze wie größere Zwischenspeichermöglichkeiten bieten, Zukunft und Ausbaupotenzial in Richtung Erreichung von „Plusenergie“, das hat das Projekt eindeutig gezeigt. Das trifft vor allem zu, wenn die ökologische Bewertung herangezogen wird. Hier sollten Energiekonzepte mit hohen solaren Deckungsgraden zu deren Versorgungsbeitrag systematisch untersucht werden.

Ein Heizungssystem wird bis zu 25 Jahre eingesetzt, bevor dieses erneuert wird. Eine Entscheidung hin zu einem Energieträger hat somit weitreichende Folgen. Die vorliegende Studie zeigt, dass die Stromerzeugung der hauseigenen PV-Anlagen und der Strombedarf für die Wärmepumpen kaum deckungsgleich sind. Die Auswirkungen auf die Stromerzeugung in Österreich, die Stromversorgungssicherheit (Stichwort Engpässe) und die Erhöhung der Stromimportrate sollten in einem zukünftigen Projekt Beachtung finden. Die ökologischen Auswirkungen daraus sollten mittels Lebenszyklusanalyse (LCA) sowohl für ein Haus, als auch für ganz Österreich bewertet werden.

Die Nutzung von Wärme- und/oder Stromnetzen zur Verteilung von Überschüssen aus Erneuerbaren Energie-Anlagen „vor Ort“ oder „in der Nähe“ ist Gegenstand verschiedener

Forschungsprojekte, und notwendig und sinnvoll, um (Nahe-)Null- oder Plusenergie in niedriger zeitlicher Übereinstimmung von Energie-Nachfrage und Angebot überhaupt zu ermöglichen. Dazu sollte es aber wie erwähnt weitere Studien und Untersuchungen geben, auch im Bereich der ökologisch sinnvollen Wärmenetze.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] Richtlinie 2010/31/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung), im Amtsblatt der Europäischen Union vom 18. Juni 2010
- [2] Siehe "European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities (EIP-SCC)", unter <http://ec.europa.eu/eip/smartcities/>, abgerufen am 28.03.2014, 13:40
- [3] Achelis J.: „Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz, Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung“ – Teil 11, DIBT, Dezember 2009
- [4] Siehe „Qualitätsanforderungen an Passivhäuser“, unter [http://www.passiv.de/de/02\\_informationen/02\\_qualitaetsanforderungen/02\\_qualitaetsanforderungen.htm](http://www.passiv.de/de/02_informationen/02_qualitaetsanforderungen/02_qualitaetsanforderungen.htm), abgerufen am 28.03.2014, 13:50
- [5] ESTTP – European Solar Thermal Technology Platform: „Solar Heating and Cooling for a Sustainable Energy Future in Europe. Vision, Potential, Deployment Roadmap, Strategic Research Agenda“, Revised Version, Seite 38; unter [http://www.estif.org/no\\_cache/projects/completed\\_projects/secestpp/?sword\\_list\[\]=Europe](http://www.estif.org/no_cache/projects/completed_projects/secestpp/?sword_list[]=Europe), abgerufen am 28.03.2014, 13:55
- [6] Weiss W., et al.: „Forschungsagenda Solarthermie“; Berichte aus Energie- und Umweltforschung 14/2010. Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. S. 23
- [7] Sonnenhaus-Institut: „Baukonzept eines Sonnenhauses und die richtige Orientierung zur Sonne“; [www.sonnenhaus-institut.de/baukonzept.html](http://www.sonnenhaus-institut.de/baukonzept.html), abgerufen am 28.03.2014, 14:55
- [8] Berlakovich N., Mitterlehner R.: „EnergieStrategie2010“. Wien 2010. Seite 01-7
- [9] Richtlinie 2012/27/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG“, im Amtsblatt der Europäischen Union vom 14. November 2012
- [10] Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB): „Leitfaden energietechnisches Verhalten von Gebäuden“, Ausgabe Dezember 2011
- [11] Siehe [http://www.minergie.ch/standard\\_minergie.html](http://www.minergie.ch/standard_minergie.html), abgerufen am 31.03.2014, 8:30

- [12] EnEV 2009: Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung . Bonn, Berlin: Bundesanzeiger Verlag, 29. April 2009
- [13] IEA Joint Project SHC Task 40 /EBC Annex 52: „Towards Net Zero Energy Solar Buildings“; Ergebnisse unter [www.iea-shc.org/task40/](http://www.iea-shc.org/task40/), abgerufen am 31.03.2014, 8:35
- [14] United Nations Population Fund: “State of the world population 2007“; siehe <http://www.unfpa.org/swp/2007/english/introduction.html>, abgerufen am 31.03.2014, 8:40
- [15] Statistik Austria: „Österreichs Städte in Zahlen 2009 - Aktuelle Ergebnisse und Analysen“, Wien 2009
- [16] European Commission, Directorate-General for Research : “World and European Sustainable Cities, Insights from EU research“, Brussels 2010
- [17] Österreichisches Institut für Bautechnik: „OIB-Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz“, OIB-330.6-094/11. Ausgabe Oktober 2011
- [18] Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS): „Globales Emissions-Modell integrierter Systeme“; download unter <http://www.iinas.de/gemis-de.html>, abgerufen am 31.03.2014, 11:45
- [19] Statistik Austria: „Energiebilanz Österreich 2011“ und „Energiebilanz Niederösterreich 2011“; abrufbar unter [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_und\\_umwelt/energie/energiebilanzen/](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/)
- [20] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. & Hofbauer, H.: „Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren“. Springer, Berlin 2009
- [21] Umweltbundesamt: „Austria’s National Inventory Report 2012“. AutorInnen: Pazdernik, K.; Anderl, M.; Freudenschuß, A.; Friedrich, A.; Haider, S.; Jobstmann, H.; Köther, T.; Kriech, M.; Kuschel, V.; Lampert, C.; Poupa, S.; Purzner, M.; Sporer, M.; Schodl, B.; Stranner, G.; Schwaiger, E.; Seuss, K.; Weiss, P.; Wieser, M.; Zechmeister, A. & Zethner, G.; Reports, Bd. REP-0381. Wien 2012
- [22] UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change: “Kyoto Protocol Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amount“. Bonn 2008. Unter [http://unfccc.int/resource/docs/publications/08\\_unfccc\\_kp\\_ref\\_manual.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf), abgerufen am 31.03.2014, 11:55
- [23] Ageb – AG Energiebilanzen e.V.: „Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland“. Berlin 2008.

- [24] Umweltbundesamt Dessau: „Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme“. Hrsg: Fritsche, U. & Rausch, L. Nr. 08/2008, UBAFBNr 001145. Darmstadt 2008.
- [25] In BINE: „Elektrisch angetriebene Wärmepumpen. Aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Feldtests“; Themeninfo 1/2013, Seite 7/8; unter [http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/I\\_2013/themen\\_0113\\_internetx.pdf](http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/I_2013/themen_0113_internetx.pdf), abgerufen am 31.03.2014, 14:00
- [26] AEE (Hrsg.): „Plusenergiegebäude als Mogelpackung“, in „erneuerbare Energie“ Nr. 2014-1, abrufbar unter [http://www.aee.at/aee/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14&Itemid=113](http://www.aee.at/aee/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid=113)
- [27] Österreichische Institut für Bautechnik (OIB): „OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU“; Wien im Dezember 2012

## 8 Anhang

Im elektronischen Anhang finden sich die Vorträge des Abschlussworkshops am 11.12. 2013 in Wien. Dort finden sich weitere Details der Ergebnisse zum Projekt „Smart ABC“ und sind deshalb wichtiger Bestandteil dieses Berichtes.

Der Anhang steht auf <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id6843> zum Download bereit.