

Möglichkeiten und Grenzen von Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard

Know-How-Plus

P. Maydl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

18/2013

Impressum:

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

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

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

Möglichkeiten und Grenzen von Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard

Know-How-Plus

DI Danilo Schuler, DI Guido Cresnik, Univ.-Prof. DI Dr. Peter Maydl
Technische Universität Graz - Institut für Materialprüfung und
Baustofftechnologie

DI Dr. Karl Höfler, DI Sonja Geier
AEE INTEC – Institut für Nachhaltige Technologien

Graz, November 2012

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 <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

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

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis.....	3
2	Kurzfassung /Abstract.....	6
2.1	Ausgangssituation/Motivation	6
2.2	Inhalte und Zielsetzungen.....	6
2.3	Methodische Vorgehensweise	6
2.4	Ergebnisse	6
3	Einleitung	7
3.1	Allgemeine Einführung in die Thematik	7
3.2	Ausgangssituation/Motivation des Projektes	8
3.3	Zielsetzungen des Projektes.....	8
3.4	Kurzbeschreibung des Aufbaus des Endberichts	9
3.4.1	Bauteil-Ebene	9
3.4.2	Gebäude-Ebene	9
3.4.3	Ebene-Österreichischer Gebäudebestand	10
3.4.4	Zusammenfassung & Ausblick:	10
4	Hintergrundinformationen zum Projektinhalt.....	10
4.1	Beschreibung des Standes der Technik	10
4.2	Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema	11
4.3	Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projektes)	12
4.4	Verwendete Methoden.....	12
4.4.1	LCA-Bauteilebene.....	12
4.4.2	LCA-Gebäudeebene.....	13
4.4.3	LCA- österreichischer Gebäudebestand.....	13
4.5	Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung	13
4.5.1	Erhebung – österreichischer Gebäudebestand	13
4.5.2	Erhebung – Sanierungsaufwand für Plusenergiehausstandard	14
4.5.3	Modellierung - Referenzgebäude	14
4.5.4	Modellierung des österreichischen Gebäudebestands.....	15
4.5.5	Erforderliche Berechnungsannahmen - Referenzgebäude	16
4.5.6	Berechnung – Heizwärmebedarf (HWB)	18
4.5.7	HWB-Einsparpotential - österreichischer Gebäudebestand – Wohngebäude ..	18
4.5.8	Solarurbanes und technisches Flächenpotential	19
4.5.9	Berechnungsannahmen – Solarthermie- und PV-Potential	20
4.5.10	LCA-Gebäudeebene.....	22
4.6	LCA - österreichischer Gebäudebestand.....	24
4.7	Zusammenfassung – Methodische Vorgangsweise	25
5	Ergebnisse des Projektes	27

5.1	Übersicht über Sanierungstechnologien in Hinblick auf Plusenergiehausstandard	27
5.2	Bewertungsraster für Lebenszyklusbewertung	29
5.3	Lebenszyklusbewertung – Bauteilebene	31
5.3.1	Allgemein	31
5.3.2	Wandaufbauten	31
5.3.3	Dachaufbauten	32
5.3.4	PV- & Solarthermieaufbauten	32
5.3.5	Zusammenfassung - Bauteilebene	33
5.4	Ergebnisse – HWB-Berechnung	34
5.4.1	Gewichtete HWB-Kennzahlen	34
5.4.2	HWB - Einsparpotential	34
5.4.3	Nutzenergiebedarf – Variante 1 - Wohngebäudebestand	35
5.4.4	Nutzenergiebedarf – Variante 2 & 3 – Gesamter Gebäudebestand	36
5.5	Ergebnis – solar nutzbares Flächenpotential	36
5.5.1	Ergebnisse - technisches Flächenpotential	37
5.5.2	Ergebnisse - solarurbanes Flächenpotential	38
5.5.3	Ergebnisse – PV-Flächen	38
5.5.4	Ergebnisse - Flachkollektorflächen	39
5.6	PV-Stromerzeugungspotential	40
5.6.1	Solarurbanes Flächenpotential - Variante 1 - Wohngebäudebestand	40
5.6.2	Technisches Flächenpotential - Variante 1 - Wohngebäudebestand	41
5.6.3	PV-Stromerzeugungspotential - Variante 2 – Gesamter Gebäudebestand	42
5.6.4	PV-Stromerzeugungspotential - Variante 3 – Gesamter Gebäudebestand	43
5.6.5	Zusammenfassung – PV-Stromerzeugungspotential	43
5.7	Dominanzanalyse - Stromerzeuger	44
5.8	Auswertung –Einsparpotential	45
5.8.1	Einsparpotential – Variante 1	46
5.8.2	Einsparpotential – GWP - Variante 1	47
5.8.3	Einsparpotential – CED n.r. - Variante 1	48
5.8.4	Einsparpotential – CED r. - Variante 1	49
5.8.5	Abfallaufkommen - Variante 1	50
5.8.6	Einsparpotential – Variante 2	51
5.8.7	Einsparpotential – GWP - Variante 2	51
5.8.8	Einsparpotential – CED n.r. - Variante 2	52
5.8.9	Einsparpotential – CED r. - Variante 2	53
5.8.10	Abfallaufkommen - Variante 2	54
5.8.11	Einsparpotential – Variante 3	55
5.8.12	Einsparpotential – GWP - Variante 3	55
5.8.13	Einsparpotential – CED n.r. - Variante 3	56
5.8.14	Einsparpotential – CED r. - Variante 3	57
5.8.15	Abfallaufkommen - Variante 3	58
5.8.16	Zusammenfassung – Einsparpotential	58

5.9	Auswertung – Potentialanalyse bzgl. Restbedarfs.....	59
5.9.1	Ökobilanz – Variante 1 nach Sanierung - Wohngebäudebestand.....	61
5.9.2	Ökobilanz – Variante 2 nach Sanierung – Gesamter Gebäudebestand.....	62
5.9.3	Ökobilanz – Variante 3 nach Sanierung – Gesamter Gebäudebestand.....	63
5.9.4	Zusammenfassung – Potentialanalyse bzgl. Restbedarf.....	64
5.10	Relevanz der Kreislaufwirtschaft.....	65
6	Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms	66
6.1	Einpassung in das Programm.....	66
6.2	Beitrag zum Gesamtziel des Programms	66
6.3	Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt	67
6.4	Beschreibung der Umsetzungs-Potentiale für die Projektergebnisse	67
7	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	68
7.1	Was sind die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse für das Projektteam?	68
7.2	Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?	69
7.3	Für welche anderen Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?	69
8	Ausblick und Empfehlungen.....	70
8.1	Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.....	70
8.2	Gegebenenfalls: Potential für Demonstrationsvorhaben	70
9	Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis	71
9.1	Literaturverzeichnis.....	71
9.2	Abbildungsverzeichnis	73
9.3	Tabellenverzeichnis	74
10	Anhang	74
11	Glossar	75

2 Kurzfassung /Abstract

2.1 Ausgangssituation/Motivation

Der Paradigmenwechsel in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung führt im Bauwesen zu einer ständigen Verbesserung der Gebäude-Energiestandards von Niedrigenergiehaus über Passiv- hin zum Plusenergiehaus. Die Folge dieser energieeffizienten Gebäudestandards ist, dass der graue Energiebedarf für Instandhaltungs- und Entsorgungsprozesse im Vergleich zum Energieaufwand für das Heizen immer mehr an Bedeutung gewinnt. Folglich müssen die lebenszyklusweit anfallenden Bauprozesse verstärkt betrachtet werden, um eine Verlagerung der Energie- und Klimaschutzproblematik in vor- bzw. nachgelagerte Prozessketten zu vermeiden.

2.2 Inhalte und Zielsetzungen

- Forcierung qualitativ hochwertiger Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard unter ganzheitlichen Gesichtspunkten.
- Identifizierung der signifikanten Einflussfaktoren auf den grauen Energiebedarf bzw. auf CO₂-Emissionen aus der Nutzungs- und Entsorgungsphase zur Ableitung von Optimierungspotentialen in den einzelnen Handlungsfeldern.
- Erhöhung der Energie- **und** Ressourceneffizienz durch Anwendung des baukonstruktionsorientierten Leitfadens für die interdisziplinäre Systementwicklung, das bedeutet reparatur-, instandhaltungs- und kreislaufoptimierte Konstruktionen.

2.3 Methodische Vorgehensweise

1. Übersicht über erprobte Sanierungstechnologien bezüglich Plusenergiehausstandard
2. Qualitative und quantitative Lebenszyklusbewertung von ca. 180 Aufbauten auf Bauteil-Ebene mittels Bewertungsraster und Erstellen eines baukonstruktionsorientierten Leitfadens
3. Modellierung des österreichischen Gebäudebestands
4. Abschätzung des Einsparpotentials durch Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard

2.4 Ergebnisse

- **Baukonstruktionsorientierter Leitfaden**, der umfassende Informationen über Sanierungsvarianten, einschließlich der Möglichkeiten und Grenzen sowie die jeweiligen Lebenszyklusergebnisse beinhaltet.

- Das entwickelte **Modell des österreichischen Gebäudebestands** wurde zur Berechnung der Flächen der thermischen Gebäudehülle und solar nutzbaren Flächen herangezogen.
- Die **Einsparungen beim Heizwärmebedarf (HWB)** wurden mit dem Energieausweis-Rechner für die jeweiligen Referenzgebäude in Abhängigkeit von der Bauepoche und vom Gebäudetyp ermittelt.
- Das bedeutende Potential hinsichtlich solarer Energieerzeugung und HWB-Einsparung durch Gebäudesanierungen des österreichischen Gebäudebestands auf Plusenergiehausstandard wurde mittels Dominanz- und Szenarioanalysen aufgezeigt.

3 Einleitung

3.1 Allgemeine Einführung in die Thematik

Das ambitionierte Ziel, im Gebäudebestand energetische Standards wie Niedrigst-, Null- oder Plusenergiegebäude zu erreichen, ist oft nur durch hohen stofflichen und energetischen Aufwand erreichbar. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung bedarf es einer ganzheitlichen Betrachtung aller Energie- und Stoffströme über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes, d.h. von der Herstellung bis Entsorgung. Zusätzlich sind die bautechnischen Randbedingungen in den Vordergrund zu stellen, um die Grenzen einer Sanierung auf Plusenergiehausstandard in Abhängigkeit von der Bauepoche und Gebäudetyp aufzeigen zu können. Bisher wurde der Energiebedarf für das Heizen (HWB) als nahezu einziger Kennwert zur energetischen Bewertung des Gebäudes herangezogen. Die Entwicklung hin zum Plusenergiehaus führt dazu, dass nun ein Gebäude nicht nur ein Verbraucher, sondern auch ein Erzeuger von Energie wird. Folglich muss im Rahmen einer energetischen Bilanzierung auch die vor Ort erzeugte Energie berücksichtigt werden, wodurch die Komplexität hinsichtlich einer Lebenszyklusbewertung von Gebäuden erhöht wird. Bislang wird eine sogenannte „Plusenergie“-Bilanzierung durch die Gegenüberstellung des energetischen Energiebedarfes oder -verbrauches und der Energieerzeugung durchgeführt. Die Folge dieser energielastigen Betrachtungsweise ist, dass stoffliche Aufwendungen bisher vernachlässigt wurden, wie beispielsweise die erforderlichen Bauprodukte für eine thermische Sanierung eines Bestandgebäudes. Die laufende Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden hat zur Folge, dass der graue Energiebedarf für Instandhaltungs- und Entsorgungsprozesse im Vergleich zum operativen Energieaufwand immer mehr an Bedeutung gewinnt. Aus diesem Grund müssen die über den gesamten Lebenszyklus aufgewendeten Ressourcen eingehend betrachtet werden, um eine Verlagerung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Emissionen in vor- bzw. nachgelagerte Prozessketten, die bei der Plus-Energiebilanzierung bisher nicht berücksichtigt werden, zu vermeiden.

3.2 Ausgangssituation/Motivation des Projektes

Nachhaltiges Bauen bedeutet verkürzt, die langfristige Funktionalität und Zufriedenheit der Nutzer mit minimalen Umweltwirkungen und optimierten Lebenszykluskosten zu erfüllen. Auf diese Maxime ist künftig bei der Entwicklung von Bauprodukten und Bauteilen unbedingt Rücksicht zu nehmen. Folglich sind besonders Bauprodukte und Bauteile der thermischen Gebäudehülle hinsichtlich Ihrer architektonischen Qualität und der Erfüllung der bauphysikalischen Anforderungen von Bedeutung, wie beispielsweise in Fassaden eingebaute Bauprodukte aufgrund ihrer exponierten Lage am Gebäude. Der verstärkt auftretende Trend zur Integration neuer Technologien in die Fassade, wie z.B. Photovoltaik, solarthermische Anlagen oder haustechnische Komponenten (sogenannten „aktiven“ Fassaden) steht oftmals im Widerspruch mit einer ganzheitlichen Lebenszyklusbetrachtung. Nachhaltigkeit für Fassaden aus nicht energetischer Sicht bedeutet, dass zum einen Einzelkomponenten kontrollierbar, austauschbar und rezyklierbar sind und zum anderen die Fassade als Ganzes wartungs- und reparaturfreundlich ist. Am Beispiel dieser „aktiven“ Fassaden wird deutlich, dass ein fächerübergreifendes Zusammenwirken von Ingenieuren unterschiedlichster Fachrichtungen (Bauwesen, Gebäudetechnik, Maschinenbau, technische Physik, Elektrotechnik) und Architekten erforderlich ist. Gerade in der Systementwicklung von Bauteilkomponenten führt eine Vernachlässigung von interdisziplinären Planungsschnittstellen zu einer Vielzahl an negativen Folgewirkungen in technischer, ökonomischer und ökologischer Hinsicht. Während ein erhöhter Montageaufwand oder Improvisationen für Anschlüsse oder Übergänge bereits in der Ausführungsphase sichtbar werden, treten eine Reihe an Auswirkungen erst langfristig nach vielen Jahren im Betrieb auf, wie beispielsweise Schimmelbildung durch Kondensation, Bauteilrisse durch Zwängungsspannungen, ein deutlich erhöhter Wärmebedarf oder erhöhter Instandhaltungs- und Entsorgungsaufwand.

3.3 Zielsetzungen des Projektes

Folgende Projektziele werden angestrebt:

- Forcierung qualitativ hochwertiger Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard unter ganzheitlichen Gesichtspunkten mittels einer Potentialanalyse der Plusenergiehaustechnologie bezogen auf den österreichischen Gebäudebestand (Basis: Lebenszyklusbewertungen von ca. 180 Aufbauten).
- Kenntnis der signifikanten Einflussfaktoren auf den grauen Energiebedarf bzw. auf Emissionen aus der Nutzungs- und Entsorgungsphase zur Ableitung von Optimierungspotentialen in den einzelnen Handlungsfeldern.
- Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz durch Anwendung des baukonstruktionsorientierten Leitfadens für die interdisziplinäre Systementwicklung, das bedeutet reparatur-, instandhaltungs- und kreislaufoptimierte Konstruktionen.

3.4 Kurzbeschreibung des Aufbaus des Endberichts

Der Aufbau des Endberichts entspricht im Wesentlichen der zugrunde gelegten Projektstruktur, die in drei Ebenen unterteilt ist, beginnend von der Bauteile-Ebene über Gebäude-Ebene bis zur Ebene „österreichischer Gebäudebestand“ (siehe Abbildung 1).

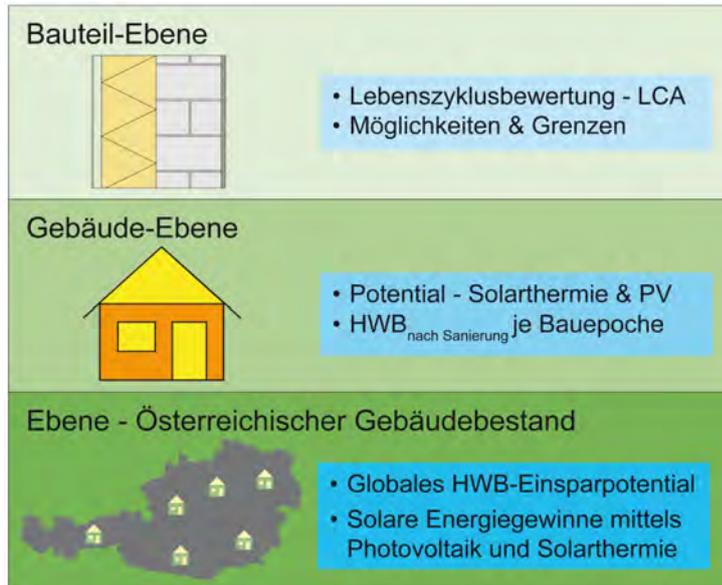


Abbildung 1 Projektstruktur

3.4.1 Bauteil-Ebene

Die Basis für den gewählten Bottom-up-Ansatz bilden repräsentative Bauteile des österreichischen Gebäudebestandes, wobei eine Untergliederung nach Bauepoche und Gebäudetyp getroffen wurde. Dadurch sollten die bei einer Sanierung am wahrscheinlichsten anzutreffenden Konstruktionen prinzipiell analysiert und bewertet werden. Die Entwicklung passender Sanierungsvarianten für die ausgewählten Aufbauten wurde auf das Erreichen des Plusenergiestandards für das Gesamtgebäude ausgerichtet. Die Sanierungsvarianten und die Erläuterungen zu den Möglichkeiten und Grenzen wurden in Datenblättern für jede Bauepoche zusammengestellt. Darauf aufbauend wurde die Lebenszyklusbewertung nach ökologischen Gesichtspunkten durchgeführt. Die Ergebnisse werden einerseits für den baukonstruktionsorientierten Leitfadens verwendet und andererseits als Eingangsparameter für die Potentialanalyse herangezogen.

3.4.2 Gebäude-Ebene

Auf Gebäude-Ebene wurde aufbauend auf den Erkenntnissen der Bauteil-Ebene das Einsparpotential bezogen auf den Heizwärmebedarf (HWB) für die maßgebenden Bauepochen und Gebäudetypen ermittelt. Für diesen Arbeitsschritt war es notwendig, die Flächen der thermischen Gebäudehülle und das solar nutzbare Flächenpotential mittels unterschiedlicher Literaturquellen, wie beispielsweise die Ecofys-Studie (Ecofys GmbH et al., 2004); Statistik Austria (Statistik Austria, 2009), (Statistik Austria, 2004); IWU-Datenbank (Ebel, et al., 1991) zu modellieren, da die Statistik Austria-Daten nur die beheizte Nutzflächen je Bauepoche und Gebäudetyp ausweisen.

3.4.3 Ebene-Österreichischer Gebäudebestand

Zur Ermittlung des österreichweiten Einsparpotentials wurden die Ergebnisse der Bauteil- und Gebäude-Ebene mit dem entwickelten Modell des österreichischen Gebäudebestands zusammengeführt. Zusätzlich wurden jene Randbedingungen mittels Literaturdaten erhoben, die für die Potentialanalyse von Bedeutung sind, wie beispielsweise die auf den österreichischen Gebäudebestand bezogene maximal nutzbare thermische Energie (Solarthermie). Die angestrebte Potentialanalyse soll den Nachweis erbringen, ob die CO₂-Emissionen über den Lebensweg von sanierten Gebäuden auf Plusenergiehausstandard in Summe Null sind bzw. ob ein Energieüberschuss erreicht wird. Natürlich kann auch ein Wechsel auf erneuerbare Energieträger (Biomasse, Wind, etc.) ihren Beitrag zum Plusenergieziel leisten, dieser wurde aber für dieses Forschungsprojekt nicht näher berücksichtigt, um den Mehrwert einer Gebäudesanierung auf Plusenergiehausstandard klar aufzeigen zu können. Trotzdem mussten die Ergebnisse der Potentialanalyse aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren mittels Bandbreiten dargestellt werden, wobei die Obergrenze als „Best-Case“ und die Untergrenze als „Worst-Case“ definiert wurde.

3.4.4 Zusammenfassung & Ausblick:

Abschließend werden die wesentlichen Erkenntnisse entsprechend der Projektstruktur zusammengefasst und der weitere Handlungsbedarf abgeleitet. Der erarbeitete baukonstruktionsorientierte Leitfaden soll künftig zur Vermittlung des ganzheitlichen und langfristigen Nutzens nachhaltiger Konstruktionen beitragen, und als Einstiegshilfe für die Kommunikation zwischen Entscheidungsträger und Endverbraucher (B2B, B2C) dienen. Außerdem soll durch die einfache und verständliche Form des baukonstruktionsorientierten Leitfadens die breite Öffentlichkeit angesprochen werden, damit jeder für sich erkennen kann, welche Bandbreite an Möglichkeiten in jeder Sanierung bestehen und welches Potential sich österreichweit ableiten lässt.

4 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

4.1 Beschreibung des Standes der Technik

Im Programm „Haus der Zukunft“ wurden zumeist anhand von ausgewählten Gebäuden ökologische Sanierungsvarianten zur Erreichung der Passivhaus-Niveaus erarbeitet und publiziert. Die gewählten Systemgrenzen der Ökobilanzierung reichen oft nur bis zur Errichtungs- bzw. Sanierungsphase. Was bislang fehlte, war eine umfassende Lebenszyklusbewertung von der Bauprodukterzeugung bis hin zur Entsorgungsphase sowie die Integration von PV und Solarthermie im Gebäudebestand. Zusätzlich wurde eine hohe Durchdringung von qualitativ hochwertigen Gebäudesanierungen durch die oft objektbezogenen Projektergebnisse erschwert. Abhilfe kann hier nur eine einfache und übersichtliche Darstellung der möglichen Sanierungsmaßnahmen in Abhängigkeit von der Bauepoche und vom Gebäudetyp schaffen.

Die aktuelle und oftmals emotional geführte Diskussion hinsichtlich des Einsparpotentials im Gebäudebestand, einschließlich des Potentials zur solaren Energieerzeugung durch PV und Solarthermie gehört durch wissenschaftlich abgesicherte Modellberechnungen auf eine sachliche Ebene übergeführt. Bisher wurden zwar Potentialanalysen für einzelne Themenbereiche wie beispielsweise über das Potential zur solaren Energieerzeugung publiziert. Eine Gegenüberstellung aller lebenszyklusweiten stofflichen und energetischen Aufwendungen einer Gebäudesanierung auf Plusenergiehausstandard mit den Erträgen aus der solaren Energieerzeugung fehlt bisher, wodurch zuverlässige Aussagen über die Gesamtenergieeffizienz aller in Frage kommenden Sanierungsmaßnahmen verhindert werden.

Um eine möglichst realistische Abschätzung des Einsparpotentials zu erreichen, müssen die Grenzen von Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard erfasst werden. Darunter fallen beispielsweise die Einschränkungen durch Auflagen des Denkmalschutzes oder Verschattung durch Nebengebäude. Aber auch die Einflüsse auf den Heizwärmebedarf, wie beispielsweise der Standort oder die Gebäudegeometrie gehören bei einer Potentialanalyse berücksichtigt.

4.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Die im Jahr 2007 veröffentlichte WIFO-Studie (Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, 2007) hinsichtlich innovativer Klimastrategien für die österreichische Wirtschaft war der erste Impuls für die Projektidee eine umfassende Potentialanalyse für Gebäudesanierungen zu erstellen. Es wurde das CO₂-Einsparpotential für unterschiedliche Sanierungsquoten, einschließlich eines 20%-igen Energieträgerwechsel aufgezeigt. Der stoffliche und energetische Aufwand der erforderlichen Sanierungsmaßnahmen mittels Lebenszyklusbewertungen wurde aber nicht berücksichtigt. Gerade dies ist aber von Interesse, um generelle Aussagen zur Energie- und Ressourceneffizienz von Sanierungsmaßnahmen, einschließlich des Abfallaufkommens treffen zu können. Die für die WIFO-Studie (Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, 2007) verwendeten HWB-Kennzahlen in Abhängigkeit von der Bauepoche und vom Gebäudetyp wurden aufgrund des Vergleichs zwischen den jeweiligen Bauepochen aus Sicht des Projektteams kritisch hinterfragt, weshalb für die vorliegende Studie eine HWB-Berechnung mittels Excel-Schulungs-Tool (Pöhn, et al., 2008) für alle zugrunde gelegten Referenz-Gebäude durchgeführt wurde.

Innovative und ökologische Sanierungsmaßnahmen wurden in einer Vielzahl von Publikationen, welche im Rahmen des Programms „Haus der Zukunft“ publiziert. Eine übersichtliche Darstellung möglicher Sanierungsmaßnahmen in Abhängigkeit von der Bauepoche und vom Gebäudetyp ist bis zum jetzigen Zeitpunkt ausständig, wodurch eine wichtige Informationsquelle in der Entwurfs- und Planungsphase hinsichtlich nachhaltiger Sanierungsmaßnahmen ungenützt bleibt. Grundsätzlich wurden bisher nur

Sanierungsmaßnahmen auf Passivhaus-Niveau betrachtet und eine Ökobilanzierung nur bis zur Errichtungs- bzw. Sanierungsphase durchgeführt. Für die Lebenszyklusbewertung wurde das generelle Alterungsmodell herangezogen, welches in der Forschungsinitiative Nachhaltig massiv mit dem Titel „AP 02 Lebensdauer von Bauteilen und Bauprodukten“ (Schulter, et al., 2009) entwickelt wurde, wobei einige Vereinfachungen aufgrund der großen Anzahl an Aufbauten vorgenommen wurden.

Die im Jahr 2009 veröffentlichte Studie über regenerative Energien in Österreich von (Kaltschmitt, 2009) beinhaltet unter anderem eine Top-down-Analyse über PV und Solarthermie-Anlagen. Einige Erkenntnisse dieser Studie wurden als wesentliche Randbedingungen für die Modellberechnung im Rahmen der Know How Plus-Studie zugrunde gelegt. Dies betrifft die Einstrahlungsverhältnisse in Österreich, die maximal nutzbare thermische Energie (Solarthermie) bezogen auf den österreichischen Gebäudebestand, die Speicherverluste der jeweiligen Solarthermie-Anlage sowie die Berücksichtigung der Leitungsverluste des mittels PV erzeugten Stroms.

4.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projektes)

Mit dem vorliegenden Forschungsprojekt werden erstmals umfassende Lebenszyklusbewertungen von Sanierungsmaßnahmen auf Plusenergiehausstandard, einschließlich der Berücksichtigung Ihrer Möglichkeiten und Grenzen durchgeführt. Die darauf aufbauende Potentialanalyse ermöglicht die Gegenüberstellung aller stofflichen und energetischen Aufwendungen mit den solaren Energiegewinnen mittels PV und Solarthermie, wodurch in einfacher und überschaubarer Form der Sinn und Nutzen von Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard aufgezeigt werden kann. Für eine weite Verbreitung und hohe Durchdringung der Projektergebnisse soll der baukonstruktionsorientierte Leitfaden dienen, der einerseits alle relevanten Sanierungsvarianten für die Bauteile der thermischen Gebäudehülle, einschließlich Erläuterungen über Bauphysik, Detailausbildung und Grenzen der Anwendung sowie andererseits die Ergebnisse der Lebenszyklusbewertungen in Abhängigkeit von der jeweiligen Bauepoche und Gebäudetyp beinhaltet. Dadurch wird eine Schnittstelle zwischen den Ergebnissen der Potentialanalyse und den dafür erforderlichen Sanierungsmaßnahmen auf Bauteil-Ebene geschaffen, welche die Effizienz der jeweiligen Sanierungsmaßnahme in ökologischer Hinsicht aufgezeigt.

4.4 Verwendete Methoden

4.4.1 LCA-Bauteilebene

Die Übersicht über die repräsentativen Bestandsaufbauten je Bauepoche und Gebäudetyp wurde mittels Literaturrecherche erstellt. Anschließend erfolgte eine Zuordnung der möglichen Sanierungsvarianten auf Plusenergiehausstandard, die für diese Studie entwickelt

wurden. Zusätzlich wurden alle relevanten Informationen (Bauphysik, Detailausbildung etc.) in Form von Datenblättern systematisch gesammelt und zu einem baukonstruktionsorientierten Leitfadens zusammengefasst, der auch als Grundlage für die Lebenszyklusbewertung herangezogen wird.

4.4.2 LCA-Gebäudeebene

Die Lebenszyklusbewertung der über 180 Aufbauten der thermischen Gebäudehülle wurde entsprechend der ÖNORMEN EN ISO 14040 ff durchgeführt. Als Datengrundlage wurde die ECOINVENT-Datenbank (ecoinvent Centre, 2007) herangezogen, da diese LCA-Daten für alle in Frage kommenden Bauprodukte und Energiesysteme beinhaltet. Alle sonstigen erforderlichen Informationen, wie die Bandbreite der Lebensdauer von Bauprodukten, Entsorgungswege oder Materialaufwand je m² wurden durch Literaturrecherchen erhoben. Der bauphysikalische Nachweis wurde mit dem Programm ArchiPHYSIK geführt.

4.4.3 LCA- österreichischer Gebäudebestand

Die Modellierung des österreichischen Gebäudebestands wurde mit Literaturdaten durchgeführt und umfasst die Flächen der thermischen Gebäudehülle, das solar nutzbare Flächenpotential, den eingesetzten Energieträgermix für Warmwassererzeugung und einen gewichteten gebäudespezifischen Heizwärmebedarf nach der Sanierung je Bauepoche. Plausibilitätsprüfungen der Ergebnisse der Bottom-up-Analyse wurden durch Vergleich mit Literaturdaten von TOP-down-Analysen durchgeführt. Ein Abgleich des berechneten „HWB vor der Sanierung“ wurde mit publizierten Statistik-Daten (Statistik Austria, 2009), (Statistik Austria, 2004) vorgenommen, um ein möglichst realistisches Einsparpotential durch thermische Gebäudesanierungen ermitteln zu können. Eine Anpassung der ECOINVENT-Datensätze (ecoinvent Centre, 2007) hinsichtlich der solaren Einstrahlung in Österreich musste vorgenommen werden. Es wurden insgesamt neun Varianten berechnet, um einerseits eine Abgrenzung zwischen Wohn- und Nichtwohngebäude vollziehen und andererseits den Einfluss der für die Solarthermie-Nutzung zur Verfügung stehenden Flächen berücksichtigen zu können.

Die Darstellung der Potentialanalyse erfolgt in übersichtlicher Form mittels Bandbreiten, einschließlich der Angabe der maßgebenden Einflussfaktoren.

4.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung

4.5.1 Erhebung – österreichischer Gebäudebestand

Die Übersicht über die Bestandsaufbauten des österreichischen Gebäudebestands wurden mit den publizierten Katalog „regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualtersklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten“ vom Zentrum für Umweltbewußtes Bauen (Klauß, et al., 2009) erstellt, wobei Anpassung an österreichische Randbedingungen vorgenommen wurden. Eine Übersicht über Sanierungsvarianten wurde

mit einer Vielzahl von Veröffentlichungen zusammengestellt, wobei der Schwerpunkt auf Veröffentlichungen aus dem Programm „Haus der Zukunft“ gelegt wurde.

4.5.2 Erhebung – Sanierungsaufwand für Plusenergiehausstandard

Der Materialaufwand der entwickelten Sanierungsvarianten wurde mit Herstellerinformationen (Produktdatenblätter, Hersteller-Richtlinie etc.), Forschungsberichten und ähnlichem ermittelt. Der Materialinput wurde im Zuge der Lebenszyklusbewertung mit den Datensätzen der Ecoinvent-Datenbank (ecoinvent Centre, 2007) zur Berechnung der Ökobilanz-Kennwerte verknüpft. Als Ökobilanz-Kennwerte wurde im Sinne des Leitfadens zur 1. Ausschreibung „Haus der Zukunft Plus“ das Treibhauspotential (GWP), der kumulierte Energiebedarf aus nicht erneuerbarer und erneuerbarer Energie (CED n.r. und CED r.) und das Abfallaufkommen als Sachbilanz-Indikator festgelegt. Für die Ermittlung der Bandbreite der Lebensdauer von Bauprodukten wurden vier voneinander unabhängige Studien herangezogen: Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“ (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2001), Nutzungsdauerkatalog der allgemein beeideten und gerichtlich zertifizierten Sachverständigen Österreichs (Hauptverband der Allgemein Beeideten und Gerichtlich Zertifizierten Sachverständigen Österreichs / Landesverband Steiermark und Kärnten, 2006), Zwischenauswertung vom Bundesministerium für Verkehr Bau und Wohnungswesen – Deutschland (Bundesministerium für Verkehr Bau und Wohnungswesen - Deutschland, 2008) und Bund technischer Experten - BTS (Bund Technischer Experten e.V., 2008).

4.5.3 Modellierung - Referenzgebäude

Die Referenz-Gebäude für die jeweilige Bauepoche wurden mit der IWU-Datenbank (Ebel, et al., 1991), basierend auf der IKARUS-Studie (IKARUS-DB, 1999) festgelegt und als Eingangsparameter für die HWB-Berechnung vor und nach der Sanierung herangezogen. Der HWB vor und nach der Sanierung wurde mit dem Excel-Schulungs-Tool (Pöhn, et al., 2008) ermittelt, wobei zusätzlich eine Gewichtung nach Klimazone und Seehöhe vorgenommen wurde. Das solarurbane Flächenpotential wurde mit den publizierten Kennwerten der ECOFYS-Studie (Ecofys GmbH et al., 2004) und den Statistik-Austria-Daten (Statistik Austria, 2009), (Statistik Austria, 2004) ermittelt und mit den TOP-Down-Studien (Regenerative Energien in Österreich (Kaltschmitt, 2009), IEA-Studie (IEA International Energy Agency, 2002) und Defaix (Defaix, 2009)) auf Plausibilität hin geprüft. Die zu sanierenden Flächen der thermischen Gebäudehülle wurden mit den zugrunde gelegten Referenz-Gebäuden der IWU-Datenbank (Ebel, et al., 1991) und den Statistik-Austria-Daten (Statistik Austria, 2009), (Statistik Austria, 2004) ermittelt.

Zur Modellbildung des Bestands von Wohngebäuden wurden folgende Literaturquellen herangezogen (siehe Abbildung 2):

- Studie vom Bremer Energie-Institut (Kleemann, et al., 2000) basierend auf der Ikarus-Studie (IKARUS-DB, 1999) und IWU-Datenbank (Ebel, et al., 1991) und die Ikarus-Studie (IKARUS-DB, 1999) über den Bestand und Typologie beheizter

Nichtwohngebäude in Westdeutschland (Gierga, et al., 1993) zur Definition der A/V, Bruttovolumen je Gebäudetyp und Bauepoche

- OIB-Default-Werte (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2007) für die Definition der U-Werte des Bestands
- ECOFYS-Studie (Ecofys GmbH et al., 2004) zur Abschätzung des solarurbanen und technischen Flächenpotentials für solare Energieerzeugungssysteme
- Statistik-Austria-Daten (Statistik Austria, 2004) zur Abbildung der Wohnnutzflächen je Bauepoche, Gebäudetyp und Bundesland
- Der bauphysikalische Nachweis der ausgewählten Sanierungsmaßnahmen mit ArchiPHYSIK (ArchiPHYSIK, 2011) erfolgte durch den Projektpartner AEE INTEC.
- Berechnung des HWB vor und nach der Sanierung je Bauepoche und Gebäudetyp mittels Excel-Schulungs-Tool (Pöhn, et al., 2008).

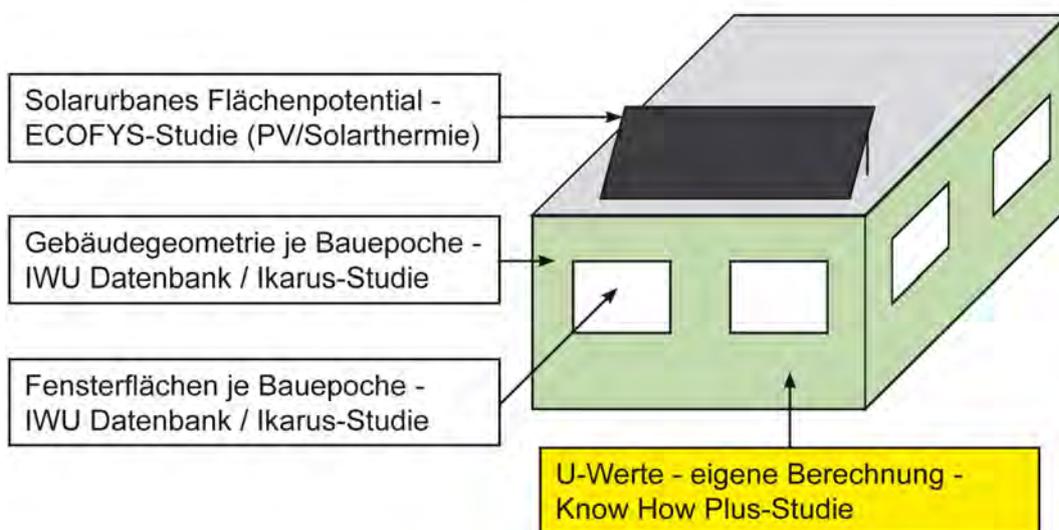


Abbildung 2 Modellierung – Referenzgebäude (Schulter, 2012)

4.5.4 Modellierung des österreichischen Gebäudebestands

Zur Berechnung des HWB-Einsparpotentials und der maximal nutzbaren solaren Flächen musste eine Modellierung des österreichischen Gebäudebestands mittels Literaturquellen der Statistik Austria (Statistik Austria, 2009), (Statistik Austria, 2004) durchgeführt werden. Einschränkungen mussten aufgrund fehlender statistischer Daten von Nutzflächen und Nutzungsart je Bauepoche von Nichtwohngebäuden gemacht werden. Für Wohngebäude konnte hingegen eine wesentlich genauere Auswertung vorgenommen werden, weshalb extra eine getrennte Auswertung für den Wohngebäudebestand vorgenommen wurde (Variante 1). Die Varianten 2 und 3 beinhalten hingegen beide Gebäudemodelle, um den gesamten österreichischen Bestand abbilden zu können (siehe 5.5).

Weiters musste eine Allokation für Flach- und Steildächer sowie Gebäude mit und ohne Dachgeschoßausbau vorgenommen werden. Laut den Statistik-Austria-Daten (Statistik Austria, 2004) existieren 156.744 Dachgeschoßwohnungen. Für eine Abschätzung hinsichtlich der Gebäudeanzahl mit Dachgeschoßausbauten wurde vereinfachend angenommen, dass jeweils eine Wohnung im ausgebauten Dachgeschoß befindet, wodurch

sich die Gebäudeanzahl mit Dachgeschoßausbau im Vergleich zur tatsächlichen, aber nicht bekannten Anzahl erhöht, da ein Dachgeschoßausbau in MFH vermutlich mehr als eine Wohnung ergibt. Bei einem Wohngebäudebestand von ca. 1,8 Mio. Gebäuden entspricht dies einen Anteil von ungefähr 9 %. Der Flachdachanteil beträgt laut der Kaltschmitt-Studie (Kaltschmitt, 2009) ungefähr 155 km². Dieser Anteil wurde auf die gesamten Dachflächen, die nach 1970 errichtet wurden anteilmäßig umgelegt und bei der Modellberechnung hinsichtlich des thermischen Sanierungsaufwands und der erforderlichen PV-Unterkonstruktion berücksichtigt (siehe Abbildung 3).



Abbildung 3 Allokationsschlüssel – Flach- und Steildach mit und ohne Dachgeschoßausbau (Schulter, 2012)

Die Modellierung des Nichtwohngebäude-Bestands ist aufgrund der derzeitigen Datenlage nicht in dem Ausmaß möglich gewesen, wie für Wohngebäude. Trotzdem wurde eine Abschätzung mit den vorhandenen Statistik-Daten (Statistik Austria, 2009), (Statistik Austria, 2004) durchgeführt, um Plausibilitätsprüfungen mit anderen TOP-down-Studien zu ermöglichen. Nach Auskunft der Statistik Austria werden ab Juli 2013 die Registerdaten zusammengeführt, womit erstmalig detaillierte Informationen über den Nichtwohngebäudebestand verfügbar wären (Statistik Austria, 2011).

4.5.5 Erforderliche Berechnungsannahmen - Referenzgebäude

- Für die vorliegende Studie wurden folgende in Abbildung 4 dargestellte Ziel-U-Werte angestrebt.

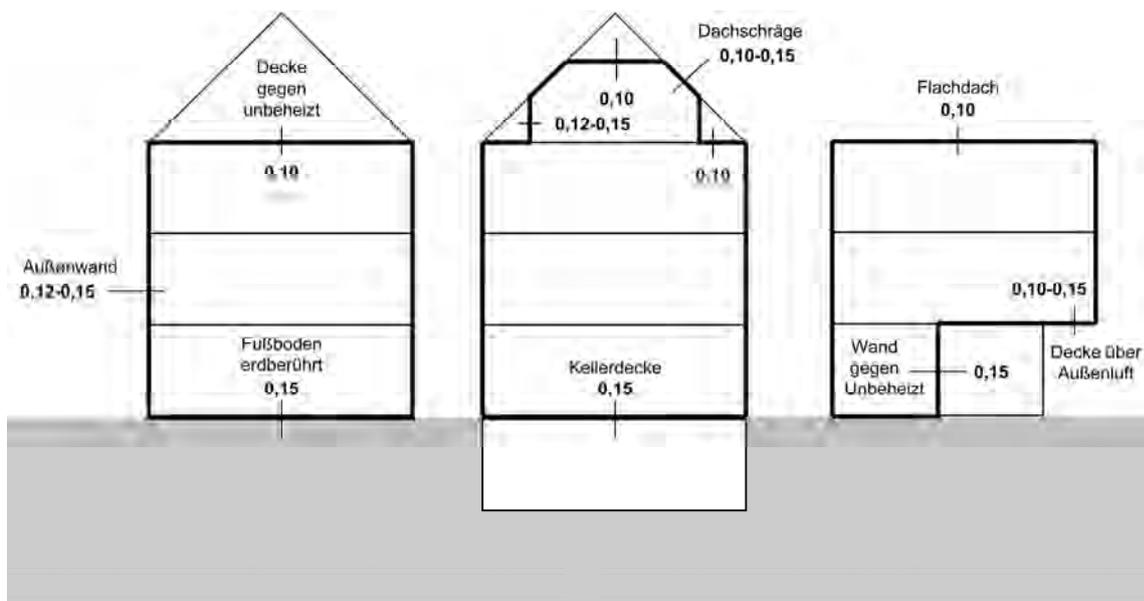


Abbildung 4 Angestrebte Ziel-U-Wert (AEE INTEC - Geier 2012)

- Es wurde eine dezentrale Wärmerückgewinnung (50%-iger Wirkungsgrad) für Wohngebäude und eine zentrale Wärmerückgewinnung (75%-iger Wirkungsgrad) für Nichtwohngebäude bilanziert
- Holz-, Holz/Alu-, Alu- oder PE-Fensterrahmen mit 3-facher Fensterverglasung (U-Wert-Gesamt von 0,8 W/m²K).
- Eine Gewichtung der OIB-Default-U-Werte (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2007) nach Nutzflächen je Bundesland und nach den geforderten U-Wert für die Bauepochen ab 1960 musste aufgrund der unterschiedlichen bundesländerspezifischen Anforderungen und des nicht zu vernachlässigenden Einflusses auf den HWB durchgeführt werden. Zusätzlich wurde ein Abgleich zwischen den berechneten HWB-Kennwerten des Gebäudebestands mit den Statistik-Austria-Daten (Statistik Austria, 2009) vollzogen.
- Zur klimazonenspezifischen Berechnung des „HWB vor der Sanierung“ und des „HWB nach der Sanierung“ ist die Ermittlung einer mittleren Seehöhe für die jeweilige Klimazone (siehe Abbildung 5) erforderlich. Dies wurde mit den Klimadaten des OIB-Leitfadens (Österreichisches Institut für Bautechnik - OIB., 1999) berechnet.

$$\text{Mittlere Seehöhe}_{\text{Klimazone}} = \frac{\sum \text{Seehöhe je pol. Bezirk} \times \text{Wohnnutzfläche}}{\text{Gesamte Wohnnutzfläche je Klimazone}}$$

Mittlere Seehöhe je Klimazone							
Klimazone	W	NF	ZA	SB	N	N/SO	S/SO
NAT [°C]	-11,7	-13,4	-13,8	-13,3	-13,1	-12,7	-11,9
Seehöhe [m]	453	472	653	504	240	255	342

NAT Normaußentemperatur

Abbildung 5 Berechnungsergebnisse - mittlere Seehöhe je Klimazone

4.5.6 Berechnung – Heizwärmebedarf (HWB)

Die Abschätzung des Einsparpotentials des Heizwärmebedarfs (HWB) durch eine thermische Sanierung der Gebäudehülle wurde mit dem Excel-Schulungs-Tool (Pöhn, et al., 2008) durchgeführt. Die erforderlichen Eingabewerte für die jeweiligen bauepochenspezifischen Referenzgebäude entsprechen jenen Literaturdaten, welche bereits zur Modellierung des österreichischen Gebäudebestands herangezogen wurden.

Die wichtigsten Arbeitsschritte zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs sind in der Abbildung 6 dargestellt. Die Kennzahlen werden in Abhängigkeit von der Bauepoche, Klimazone und vom Gebäudetyp ermittelt. Damit lässt sich der Heizwärmebedarf des österreichischen Gebäudebestands abbilden.



Abbildung 6 Ablauf – Heizwärmebedarfsberechnung (Schulter, 2012)

4.5.7 HWB-Einsparpotential - österreichischer Gebäudebestand – Wohngebäude

Grundlage für die Berechnung des Einsparpotentials hinsichtlich potentieller Umweltwirkungen bzw. des kumulierten Energieaufwands durch thermische Gebäudesanierungen von Wohngebäuden sind die Statistik-Austria-Daten (Statistik Austria, 2004) über die Heizträgerverteilung in Abhängigkeit von der Bauepoche und vom Gebäudetyp (Wohnungsanzahl).

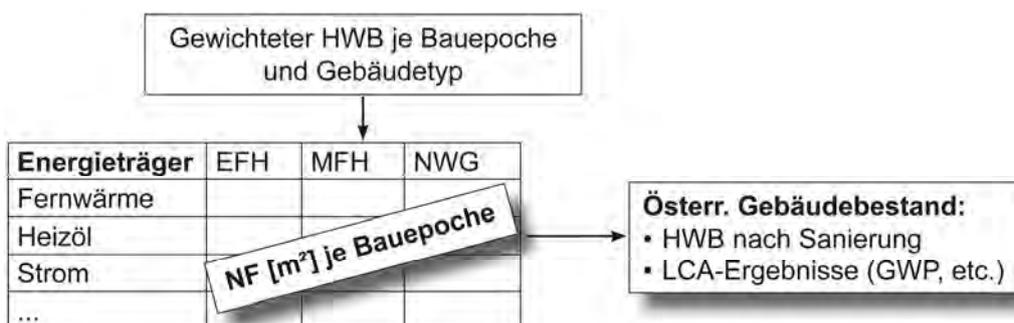


Abbildung 7 LCA-Kennwerte – Heizwärmebedarf (Schulter, 2012)

Anschließend werden die oben genannten Statistik-Austria-Daten (Statistik Austria, 2004) mit den berechneten bauepochen- und gebäudespezifischen HWB-Werten verknüpft und die Ökobilanz-Kennwerte (GWP, KEA) ermittelt (siehe Abbildung 7). Für die HWB-Berechnung wurden auf die Grenzen der thermischen Sanierung (siehe Datenblätter – Allgemeine Beschreibung der Aufbauten) Rücksicht genommen, wie beispielsweise die thermische Sanierung von Gründerzeitgebäude mit Innendämmung. Für Nichtwohngebäude (NWG) wurde aufgrund mangelnder Datenlage vereinfachend die Energieträgerverteilung bezogen auf den Wohngebäudebestand zugrunde gelegt.

Für die Ökobilanzierung des Fernwärme-Netzes wurden die Ökobilanz-Kennzahlen der Gemis-Datenbank (Öko-Institut e.V., 2011) herangezogen, da die Ecoinvent-Datenbank (ecoinvent Centre, 2007) keine diesbezüglichen Informationen ausweist.

4.5.8 Solarurbanes und technisches Flächenpotential

Das solar nutzbare Flächenpotential wurde mit den bauepochen- und gebäudespezifischen ECOFYS-Kennzahlen (Ecofys GmbH et al., 2004) und dem Gebäudemodell (Nutzflächen je Gebäudetyp und Bauepoche) ermittelt (siehe Abbildung 8).

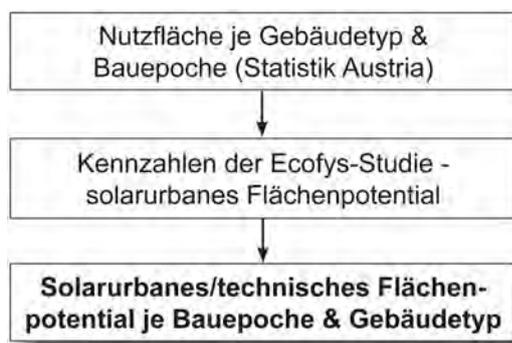


Abbildung 8 Modellberechnung – solarurbanes und technisches Flächenpotential (Schulter, 2012)

Aufgrund der mangelnden Datenlage über den Bestand der Nichtwohngebäude (NWG) wurde eine Trennung zwischen dem Flächenpotential von Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden gemacht. Grund ist einerseits, dass eine thermische Sanierung aufgrund der Datenlage (Nutzflächen je Bauepoche) für Wohngebäude wesentlich detaillierter bilanziert werden konnte und andererseits nur eine grobe Untergliederung der NWG-Flächen in unterschiedliche Nutzungsarten (Büro, Handel, Industrie etc.) vorliegt.

Eine grobe Abschätzung der “NWG-Flächen ohne Wohnnutzflächen” in Österreich konnte trotzdem mit den Statistik-Austria Daten von der Probezählung 2006 (Statistik Austria, 2009) durchgeführt werden, welche pauschal die Nutzflächen für Büro-, Verwaltungs- und Handelsgebäude ausweisen. Eine Hochrechnung der restlichen NWG-Flächen erfolgte näherungsweise über die publizierte Gebäudeanzahl in Österreich laut Statistik Austria, da

diese auf die Nutzungsart bezogen ist. Folglich konnte das solarurbane und technische Flächenpotential für Nichtwohngebäude in Österreich grob abgeschätzt werden.

Das **technische Flächenpotential** wurde lt. Ecofys-Studie (Ecofys GmbH et al., 2004) anhand von 20 Stadtraumtypen (Wohngebäude, Industrie-, Gewerbebauten) unter Berücksichtigung von:

- Eigenverschattung,
- Ausrichtung und
- Nachbarbebauung ermittelt.

Das **solarurbane Flächenpotential** ist das technische Flächenpotential unter Berücksichtigung folgender städtebaulicher Flächenvorbehalte:

- Grünanlagen oder
- Geschützte Gebäude und Strukturen (Denkmalschutz, Schutzzonen) oder
- Ausschlussflächen (aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen).

Folgende Kriterien wurden lt. der Ecofys-Studie (Ecofys GmbH et al., 2004) für das solarurbane Flächenpotential zugrunde gelegt:

1. Alle nach Süden \pm 45 Grad ausgerichteten Fassaden- und Dachflächen sind potentiell nutzbar. Es werden jene Flächen berücksichtigt, die am 21. Dezember unverschattet bleiben.
2. Alle Flächen wurden nach städtebaulichen Kriterien und auf Eingriffsempfindlichkeit überprüft und bei der Festlegung der Kennzahlen berücksichtigt. Generell sind Fassaden für aktive Solarenergiesysteme weniger gut geeignet.
3. Ein ausreichend großer Fensterflächenanteil wird vorausgesetzt, um eine passive Solarenergienutzung zu gewährleisten.
4. Die mittels gebäude- und bauepochenspezifischen Kennzahlen ermittelten Flächen können für die solarthermische Wärmeerzeugung zwecks Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung sowie für die photovoltaischen Stromerzeugung verwendet werden.
5. Den Photovoltaik-Paneele werden jedoch die Flächen mit der maximalen solaren Einstrahlung bevorzugt zugewiesen! Die Begründung ist, dass die Effizienz von Solarthermie-Anlagen bei einer vom Optimum abweichenden Ausrichtung deutlich weniger absinkt als jene von Photovoltaik-Anlagen.

4.5.9 Berechnungsannahmen – Solarthermie- und PV-Potential

Eine wesentliche Randbedingung bei der Ermittlung des Stromerzeugungspotentials durch PV-Anlagen ist die Aussage in der Studie "Regenerative Energien in Österreich" (Kaltschmitt, 2009) zur maximal nutzbaren Solarthermie-Energie bezogen auf den österreichischen Gebäudebestand von 45 PJ/a, wovon 33 PJ/a auf „Trinkwarmwasser und Raumwärme“ und 12 PJ/a auf „Prozesswärme“ entfallen. Gründe sind unter anderem eine fehlende Gebäudezentralheizung (ca. 50% des Gebäudebestands) sowie die Grenzen bei einer

nachträglichen Integration von Niedertemperaturheizsystemen im Gebäudebestand. Diese Kennzahlen wurden als Grenzwert für die Modellberechnung hinsichtlich der solarthermischen Energieerzeugung zugrunde gelegt.

Bei der Berechnung des PV-Stromerzeugungspotentials und Solarthermiepotentials wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Die besten solar nutzbaren Flächen (Dachflächen) wurden für die PV-Module reserviert. Deshalb wurden zuerst die erforderlichen Flachkollektor-Flächen mit den verfügbaren Fassadenflächen abgedeckt und erst bei weiterem Bedarf wurden Dachflächen herangezogen.
- Die unterschiedlichen Nennleistungen der PV-Anlagen wurden entsprechend der Ecoinvent-Datenbank übernommen (siehe Abbildung 9) und bei der Modellberechnung, einschließlich Verluste berücksichtigt.

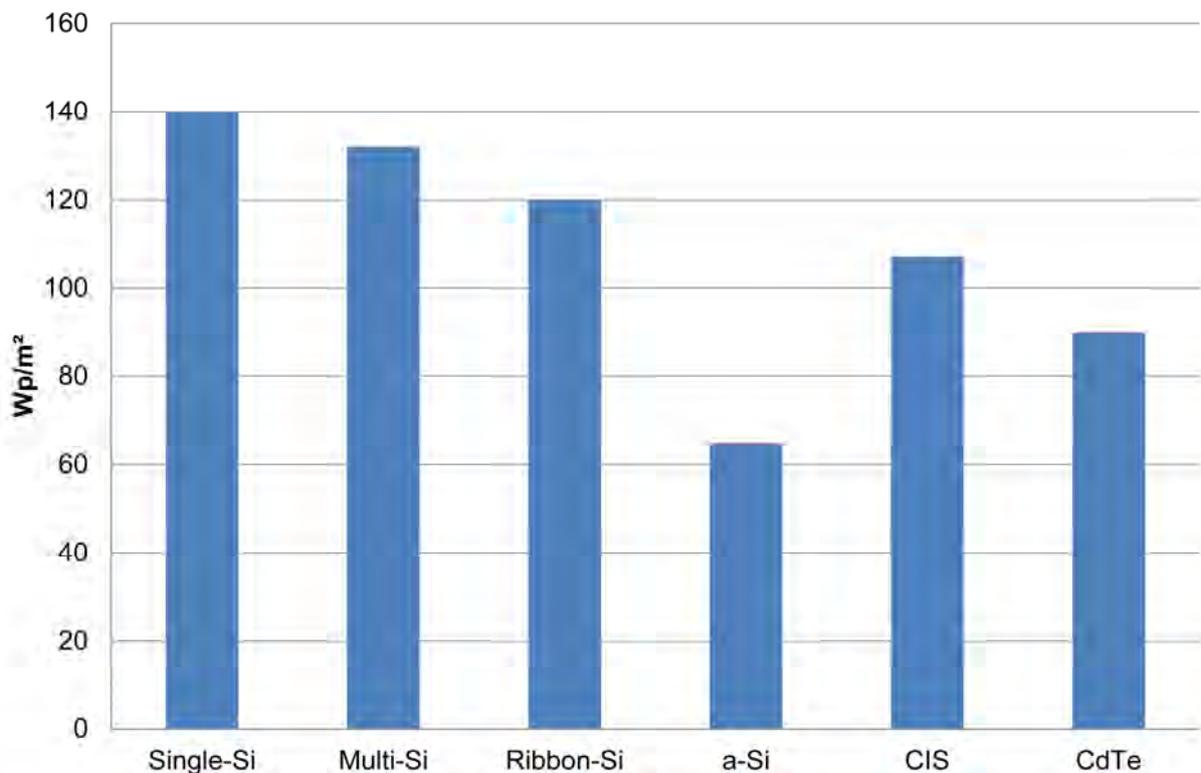


Abbildung 9 Vergleich – Nennleistungen der PV-Anlagen

- Kennzahlen zu Solarthermie-Anlagen für EFH und MFH wurden von der Studie “Regenerative Energie in Österreich” (Kaltschmitt, 2009):
 - EFH: 3 Varianten von Solarthermie-Anlagen mit je 25 m² Kollektorfläche zur Warmwasserbereitstellung und Heizungsunterstützung;
 - MFH: 2 Varianten einmal mit 30 und 60 m²-Kollektorfläche je Gebäude.
 - Aufgrund unterschiedlicher Kollektorenergieeinträge wurden für die drei Varianten 1 bis 3 (nur WHG, WHG mit NWG) Bandbreiten in Form von maximalen, durchschnittlichen und minimalen Kennwerten ermittelt. (z.B. Variante – 1 – MAX; insgesamt 9 Varianten berechnet)

Unterschiede zwischen den spezifischen jahresmittleren Kollektorenergieeinträgen, einschließlich der Berücksichtigung von Speicherverlusten und des Stromverbrauchs der Pumpe werden in den jeweiligen Szenarioauswertungen berücksichtigt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 Bandbreite – Kollektorenergieeinträge in Anlehnung an (Kaltschmitt, 2009)

	EFH			MFH/NWG		
	MIN	MW	MAX	MIN	MW	MAX
Kollektorfläche [m ²]	25	25	25	30	45	60
spez. Kollektorertrag-Dach [MJ/m ² a]	742	857	976	1.512	1.512	1.512
spez. Kollektorertrag-Fassade [MJ/m ² a]	560	647	737	1.141	1.141	1.141
nutzbare solare Wärme - Dach [MJ/m²a]	481	607	735	1.272	1.302	1.332
nutzbare solare Wärme - Fassade [MJ/m²a]	363	458	555	960	983	1.005

- Aufgrund der unterschiedlichen Leistungen der Solarthermie- und PV-Anlagen wurden insgesamt 3 Varianten für das solarurbane und technische Flächenpotential ermittelt.
- Für Variante 1 wurde nur das Potential bezogen auf den Wohngebäudebestand ermittelt. Eine Allokation der solar erzeugbaren Wärmemengen (Raumwärme, Trinkwarmwasser ohne Prozesswärme) wurde nach dem Verhältnis der beheizbaren Nutzflächen von Wohngebäude und Nichtwohngebäuden durchgeführt (Verteilungsschlüssel: 59% Wohnen und 41 % NWG).

Eine Übersicht über die integrierbaren solar erzeugten Wärmemengen für die jeweiligen Varianten ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 Übersicht über die integrierbaren solar erzeugten Wärmemengen (Schulter, 2012)

	Integrierbare solare Wärmemenge [PJ/a]			
	Gesamt	Raumwärme	Trinkwarmwasser	Prozesswärme
Variante 1	19,5	13	6,5	-
Variante 2&3	45	22	11	12

- Variante 2 umfasst Wohnnutzflächen und NWG-Flächen, wobei diese als ein ganzheitliches System betrachtet werden, d.h., ein Transport der solar erzeugten Wärmemengen zwischen Wohn- und Nichtwohngebäude ist möglich.
- In Variante 3 werden Trinkwarmwasser und Raumwärme mit Wohnnutzflächen und die Prozesswärme mit NWG-Flächen getrennt erzeugt und verbraucht, d.h. Erzeuger = Verbraucher.

4.5.10 LCA-Gebäudeebene

Für die Lebenszyklusbewertung auf Gebäudeebene wurden folgende Festlegungen hinsichtlich der Bilanzierungsgrenze für die jeweilige Projektstufe getroffen.

Festlegungen – LCA-Aufbauten

- Sanierungs- und Instandhaltungsaufwand wurde für eine geplante Nutzungsdauer des Bauwerks von 50 Jahren bilanziert.
- Vier unterschiedliche Fenstervarianten (Holz, Holz-ALU, Kunststoff, ALU) wurden bilanziert.

- Der erforderliche Materialinput für die thermische Sanierung entspricht dem Abfallaufkommen auf der Baustelle.

Festlegungen – Lüftungsanlagen

- Einbezug der erforderlichen Gebäudetechnik zur HWB-Reduktion (zentrale oder dezentrale Lüftung mit Wärmerückgewinnung, aber ohne Erdregister)
- Der stoffliche und energetische Aufwand wurde für vier unterschiedliche Lüftungsanlagen ermittelt:
 - Zentrale Lüftungsanlagen für Nichtwohngebäude (75% WRG) entweder mit PE- oder mit Stahlverrohrung
 - Dezentrale Lüftungsanlagen für Wohngebäude (50% WRG) entweder mit PE- oder mit Stahlverrohrung

Festlegungen – Solarthermie & PV

- Eine Anpassung der Ecoinvent-Datensätze (Schweiz!) an österreichische Randbedingungen (solare Einstrahlung auf Dach/Fassade) wurde durchgeführt. Der jährliche Output bezogen auf Dachflächen mit 906 kWh/kWp wurde auf 833 korrigiert (Abminderungsfaktor 0,92 lt. Ecoinvent Report 12 bereits inkludiert). Der jährliche Output bezogen auf Fassadenflächen mit 598 kWh/kWp wurde auf 550 kWh/kWp korrigiert.
- Lebenszyklusbewertungen für Steildach- und Flachdach-Aufbauten mit PV oder Solarthermie mussten global berechnet werden, da sonst die Ökobilanz-Kennzahlen der Ecoinvent-Datensätze (ecoinvent Centre, 2007) für die jeweiligen PV- und Solarthermie-Anlagen direkt ersichtlich sind.
- Entsprechend der Ecoinvent-Vorgangsweise wurde der Wirkungsgrad der PV-Anlage mit einem Abminderungsfaktor von 0,92 bilanziert. Dieser mittels Monitoring-Daten bestimmte Abminderungsfaktor beinhaltet negative Einflüsse, wie beispielsweise Alterungseffekte oder eine weniger optimale Orientierung der PV-Paneele.
- Erträge des solar erzeugten Trinkwarmwassers und Raumwärme wurden mit dem zugrunde gelegten Heizträgermix lt. Statistik Austria (Statistik Austria, 2004) in Form von Gutschriften bilanziert oder von der nachgefragten Warmwassermenge abgezogen.
 - Umweltwirkungen der Fernwärme wurden mit den LCA-Daten der Gemis-Datenbank bilanziert;
 - Berechnung erfolgte untergliedert nach:
 - Bauepochen, untergliedert in 6 Klassen entsprechend der Statistik Austria (Statistik Austria, 2004);
 - Gebäudetyp (A/V, U-Werte vor und nach der Sanierung);
 - Energieträgermix lt. Statistik Austria (Statistik Austria, 2004).
- Reduzierter Heizwärmebedarf durch thermische Sanierung (eingesparte Umweltwirkungen) wurde folgendermaßen bilanziert:
 - Energieträgermix und beheizte Nutzflächen lt. Statistik Austria (Statistik Austria, 2004) zugrunde gelegt;

- Keine Veränderung des aktuellen Energieträgermix für die Beheizung des Gebäudebestands mit Ausnahme der solarthermisch erzeugten Wärmemengen von 45 PJ/a.
- Der erforderliche Installationsaufwand von Solarthermie- oder PV-Anlagen auf Dach- und Fassadenflächen wurde berücksichtigt.
- Berücksichtigung des Reinigungsaufwands und der Betriebsenergie für die installierten Solarthermie- und PV-Anlagen.
- Stromgutschriften für PV-erzeugten Strom wurden in Abhängigkeit vom Energieerzeugungssystem aufgrund des bedeutenden Einflusses auf die LCA-Ergebnisse getrennt bilanziert:
 - Fossile Energieträger (Erdöl, Erdgas, Kohle) werden vorrangig substituiert.
 - Eine Modifizierung der Ecoinvent-Datensätze (ecoinvent Centre, 2007) zur Berechnung der Energiebereitstellung in Österreich für die jeweiligen Energieerzeugungssysteme wurde durchgeführt.

4.6 LCA - österreichischer Gebäudebestand

Die Ergebnisse der Lebenszyklusbewertung wurden in Abhängigkeit von der Bauepoche und dem Gebäudetyp klassifiziert und als Eingangsparameter für die Potentialanalyse herangezogen. Als Ökobilanz-Kennwerte wurde das Treibhauspotential (GWP), der kumulierte Energieaufwand –erneuerbar (CED r.) bzw. nicht erneuerbar (CED n.r.), Materialinput (MI) und das Abfallaufkommen verwendet, um ein ausgewogenes Verhältnis zwischen energie- und stoffbezogenen Kennwerten zu erlangen. Sanierungsmaßnahmen mit dem geringsten Energieaufwand bzw. Umweltwirkungen wurden für die Bilanzierung des Best-Case-Szenarios und jene mit dem höchsten Energieaufwand bzw. Maximum an Umweltwirkungen für das Worst-Case-Szenario zugrunde gelegt.

Für die Auswertung wurden Best- und Worst-Case-Szenarien definiert:

Best-Case (BEC):

- Maximale PV-Stromerzeugung (single-SI-Paneele) und das Maximum an solar nutzbaren Flächen (technisches Flächenpotential);
- Aufbauten mit minimalen Umweltwirkungen (Ausnahme: single-SI-Paneele verursacht die höchsten Umweltwirkungen laut den zur Verfügung stehenden PV-Ökobilanzen, besitzt aber im Gegenzug den höchsten Wirkungsgrad!);
- Holzfenster (minimale Umweltwirkungen) mit 3-facher Verglasung;
- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) und mit Rohrleitungen aus PE (WRG 50 % für Wohngebäude; WRG 75 % für NWG);
- Nicht erneuerbares Energieerzeugungssystem mit den höchsten Umweltwirkungen je Leistungseinheit wird durch den erzeugten PV-Strom substituiert (Gutschrift).

Worst Case (WOC):

- Minimum der PV-Stromerzeugung (a-SI-Paneele mit geringstem Wirkungsgrad) und minimales solarurbanes Flächenpotential;
- Aufbauten mit den maximalen Umweltwirkungen bzw. Energiebedarf;
- Alufenster mit 3-facher Verglasung;
- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) und mit Rohrleitungen aus Stahl (WRG 50 % für Wohngebäude; WRG 75 % für NWG);
- Nicht erneuerbares Energieerzeugungssystem mit den geringsten Umweltwirkungen je Leistungseinheit wird durch den erzeugten PV-Strom substituiert (Gutschrift).

In der Tabelle 3 sind die generellen Festlegungen für eine Szenarioanalyse vereinfacht dargestellt.

Der positive Effekt durch die Warmwassererzeugung mittels Solarthermie wird mit dem laut Statistik-Austria-Daten (Statistik Austria, 2004) in Österreich eingesetzten Energieträgermix für Raumwärme bilanziert. Für diese Studie wird außerdem vorausgesetzt, dass die Nutzung von nicht erneuerbaren Energieträgern durch den erzeugten PV-Strom substituiert wird. Eine Anpassung der verfügbaren Ecoinvent-Datensätze (ecoinvent Centre, 2007) musste aufgrund des nicht zu vernachlässigenden Einflusses des zugrunde gelegten Strommix auf die Ergebnisse der Potentialanalyse durchgeführt werden. Anschließend konnte eine Bilanzierung der Strom-Gutschriften in Abhängigkeit vom jeweiligen Energieerzeugungssystem mit nicht erneuerbaren Energieträgern vorgenommen werden.

Tabelle 3 Szenario – Rahmenbedingungen

	Szenario/Rahmenbedingungen	
	Best-Case (BEC)	Worst-Case (WOC)
Therm. Sanierung Gebäudehülle	Minimale Umweltauswirkungen	Maximale Umweltauswirkungen
Energieerzeugung mittels PV	Maximaler Wirkungsgrad	Minimaler Wirkungsgrad
Energieerzeugung mittels Solarthermie	Wirkungsgrad derzeitiger Stand der Technik	
Heizträgermix	Bestehender Heizträgermix zur Abdeckung des Bedarfs nach Sanierung	

4.7 Zusammenfassung – Methodische Vorgangsweise

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Eckpunkte der gewählten methodischen Vorgangsweise zur Abschätzung des Einsparpotentials durch Gebäudesanierung auf Plusenergiehausstandard zusammengefasst. Aufbauend auf vorhandenen Statistik-Daten (Statistik Austria, 2009), (Statistik Austria, 2004) über den österreichischen Gebäudebestand wurde ein Gebäudemodell mittels einer größeren Anzahl an Referenzgebäuden erstellt (Bottom-Up-Ansatz). Dies erfolgte in iterativen Schritten, da stets ein Abgleich zwischen den

statistisch erhobenen und den berechneten Gebäudenutzflächen bzw. Gebäudeanzahl (siehe Abbildung 10). Erst durch diese Vorgangsweise konnte die zu sanierenden Gebäudehüllflächen sowie das solar nutzbare Flächenpotential für die jeweilige Bauepoche und den jeweiligen Gebäudetyp abgeschätzt werden. Ein weiterer Vorteil war die genauere Ermittlung des HWB-Einsparpotentials durch eine thermische Sanierung der bilanzierten Referenz-Gebäude, einschließlich der Berücksichtigung potentieller Einschränkungen durch beispielsweise Denkmalschutz oder bauphysikalische Randbedingungen. Das entwickelte Gebäudemodell wurde auch für die Abschätzung der solar nutzbaren Flächen mittels den gebäude- und bauepochenspezifischen Kennzahlen der Ecofys-Studie (Ecofys GmbH et al., 2004) herangezogen. Im Anschluss konnte mit den berechneten Eingangsparametern das Einsparpotential sowie der restliche Strom- und Heizwärmebedarf unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Lebenszyklusbewertungen (LCA) ermittelt werden.

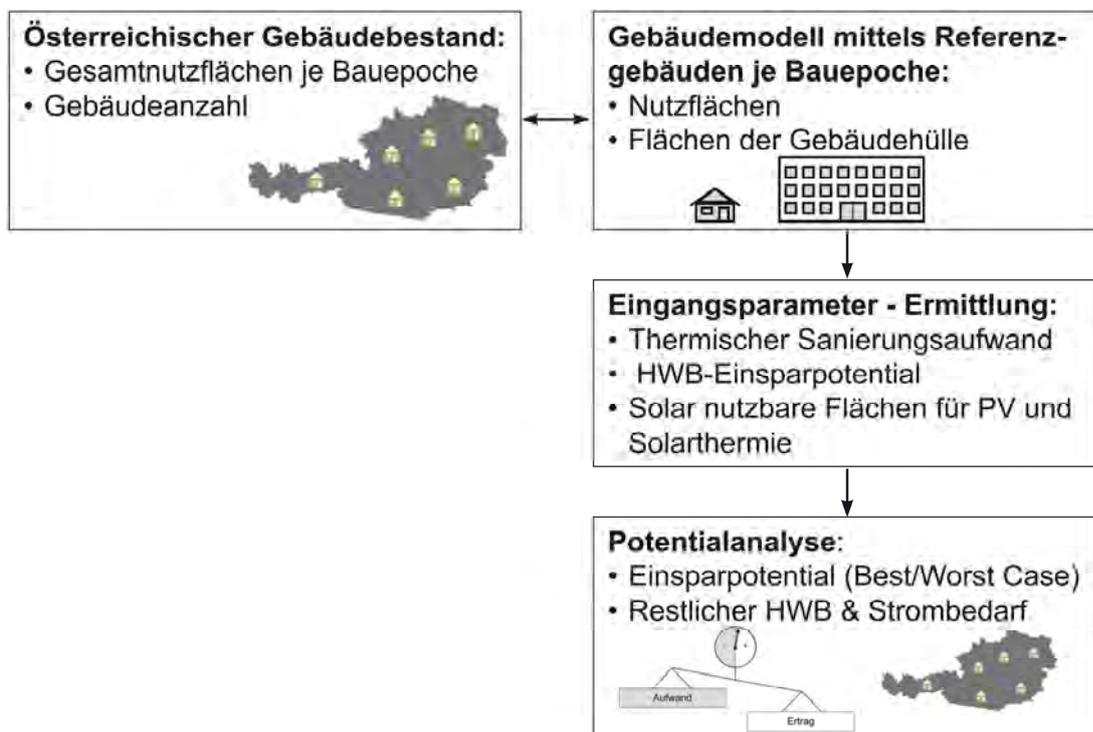


Abbildung 10 Zusammenfassung - Methodische Vorgangsweise (Bottom-Up-Ansatz)

5 Ergebnisse des Projektes

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse entsprechend der Projektstruktur, beginnend von der Bauteil-Ebene über die Gebäude-Ebene bis zur Ebene – Österreichischer Gebäudebestand erläutert (siehe Abbildung 11). Die wichtigsten Ergebnisse sind in den gelb unterlegten Feldern stichwortartig aufgelistet und werden nachfolgend stufenweise erläutert.



Abbildung 11 Dreistufige Projektstruktur mit Ergebnissen (Schulter, 2012)

5.1 Übersicht über Sanierungstechnologien in Hinblick auf Plusenergiehausstandard

Im Rahmen von Know How Plus wurden Konstruktionsdetails für Plusenergiesanierungen in der Praxis für die jeweilige Bauepoche und Gebäudetyp entwickelt. Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Herausforderung bei einer Sanierung darin besteht, auf die Vorgaben aus dem Bestand detailliert einzugehen. Die Festlegung der Sanierungsmethode ist von einer Vielzahl an Rahmenbedingungen abhängig, wobei entscheidend ist, nicht die „richtige“, sondern die „geeignete Technologie richtig“ einzusetzen. Wichtige Fragestellungen hinsichtlich einer richtigen Gebäudesanierung können selten aus der Literatur, sondern oft nur aus der Praxis beantwortet werden. Jedenfalls sind sie für eine nachhaltige, hochwertige Sanierung entscheidend.

Ziel des Projektes „Know How Plus“ ist es nicht, für die Planungsphase einschränkende Leitdetails zu erarbeiten, da dies aufgrund der Vielzahl von unterschiedlichen Bauteilaufbauten und der Vielfalt an Bauprodukten nicht zielführend wäre. Vielmehr sollen durch die Analyse repräsentativer Aufbauten und gängiger Sanierungstechnologien, einschließlich umfassender Lebenszyklusbewertungen der Spielraum hinsichtlich der

Möglichkeiten aber auch der Grenzen für deren Einsatz aufgezeigt werden. Die Evaluierung und Bewertung der Sanierungsmaßnahmen für Bauteile aus der Praxis stellen einen wichtigen Teil dieser Arbeit dar.

Eine Zusammenstellung der wichtigsten Informationen hinsichtlich Bestandsaufbau, Sanierungsvarianten, bauphysikalischer Kennwerte, generelle und detaillierte Angaben über die Möglichkeiten und Grenzen erfolgt in Form von Datenblättern für alle relevanten Bauteile der thermischen Gebäudehülle, untergliedert nach der jeweiligen Bauepoche. In Abbildung 12 ist ein Datenblatt exemplarisch dargestellt. Bauteilschichten des Bestands, die am Bauwerk auch nach der Sanierung verbleiben, wurden zum besseren Überblick grau unterlegt. Für die Studie wurde festgelegt, dass die Lebensdauer einer bereits eingebauten Bauteilschicht verlängert wird, wenn diese durch eine thermische Sanierungsmaßnahme nachträglich geschützt wird, wie beispielsweise eine bestehender Außenputz, der durch die Anbringung eines Wärmedämmverbundsystems (WDVS) vor äußeren Umwelteinwirkungen geschützt wird.

Die generelle Beschreibung der Aufbauten mittels Datenblätter beinhaltet folgende Aspekte:

- Statische Anforderungen;
- Bauphysikalische Anforderungen (Belüftung, Wärmebrücken,...);
- Brandschutzanforderungen;
- Befestigung von PV und Solarthermie-Module;
- Konstruktive Vor- und Nachteile von Sanierungsmaßnahmen (Detailausbildung, Einschränkungen durch Raumhöhe, etc.);
- Hinweise zu Planung und Ausführung.

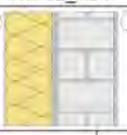
Die detaillierte Beschreibung der jeweiligen Sanierungsmaßnahmen mittels Datenblätter umfasst folgende Punkte:

- Muss-Kriterien für einen schadensfreien Aufbau, einschließlich fachgerechter Ausführung (Luftdichtheit,...);
- Bauproduktauswahl hinsichtlich bauphysikalischer Anforderungen;
- Hinweise für die Planung und Ausführung (Bestandsprüfung, Detailausbildung, Toleranzen, Ebenheit des Untergrunds, Hersteller-Richtlinien, geometrische Randbedingungen).

Die Datenblätter wurden gemeinsam mit den zugehörigen Ergebnissen der Lebenszyklusbewertung zu einem baukonstruktionsorientierten Leitfaden (siehe Anhang A) zusammengefasst, der als Nachschlagewerk für Gebäudesanierungen in Zukunft dient.

Thermische Sanierungen für Außenwandbestandsaufbauten zwischen 1919 und 1945

AW 02	Beschreibung - Bestandsaufbau			
Mauerziegel gelocht mit Außenputz	Kalkzementputz	1,5	cm	
U-Wert Bestand	1,75	W/m ² K		

Thermische Sanierungsvarianten					
AW 02_AD1		AW 02_AD2		AW 02_AD3_ST	
					
Silikatputz	0,2	cm	Silikatputz	0,2	cm
Klebspachtel	0,2	cm			
MW-PT Mineralwolle 100 kg/m ³	25,0	cm	MW-PT Mineralwolle 18 kg/m ³	20,0	cm
Haftmörtel			Haftmörtel	1,0	cm
Kalkzementputz			Kalkzementputz	2,5	cm
Mauerziegel gelocht	25,0	cm	Mauerziegel gelocht	25,0	cm
Kalkzementputz	1,5	cm	Kalkzementputz	1,5	cm
			Fassadenkollektor mit Aluwanne und integr. Kollektordämmung	8,7	cm
			Kalkzementputz	2,5	cm
			Mauerziegel gelocht	25,0	cm
			Kalkzementputz	1,5	cm
U-Wert nach Sanierung	0,15	W/m ² K	U-Wert nach Sanierung	0,16	W/m ² K

Generell:	Möglichkeiten & Grenzen	eingeschränkt sein. Innenseite der Fassade schon, etc.
<ul style="list-style-type: none"> Der Einsatz von Außenputz ist eingeschränkt sein. Der Vorteil von Außenputz ist die Innenseite der Fassade schon, etc. Eine Herausforderung bleibt weiterhin die Beseitigung von Wärmebrücken wie auskragenden, nicht thermisch getrennten Balkon-, Deckenplatten oder Vordächern. 		

Abbildung 12 Auszug aus dem baukonstruktionsorientierten Leitfaden – Übersicht über unterschiedliche Sanierungsvarianten, einschließlich bauphysikalischer Kennwerte

5.2 Bewertungsraster für Lebenszyklusbewertung

Für die angestrebte qualitative und quantitative Lebenszyklusbewertung auf Bauteil-Ebene wurde ein Bewertungsraster entwickelt, der gleichzeitig als Grundlage für den baukonstruktionsorientierten Leitfaden dient.

Der stoffliche und energetische Aufwand für eine Sanierung des österreichischen Gebäudebestands auf Plusenergiehausstandard, einschließlich der potentiellen Umweltwirkungen wurde mittels 180 Aufbauten ermittelt, wobei ausschließlich die Bauteile der thermischen Gebäudehülle bilanziert wurden.

Die Lebenszyklusbewertung umfasst die Produktion, Montage, erforderliche Haustechnik, Betrieb bzw. Wartung von Solarthermie- bzw. PV-Anlagen, Instandhaltung sowie die Entsorgung, einschließlich aller Transportwege. In der Ecoinvent-Datenbank (ecoinvent Centre, 2007) wird eine Rücknahme seitens der PV-Erzeuger angenommen, wodurch eine nahezu vollständige Wiederverwertung der PV-Module bilanziert wird. Diese Annahme wird durch Forschungsprojekte über die Recyclingfähigkeit von PV-Modulen belegt (z.B. BINE Informationsdienst (Hahne, et al., 2010)). Künftig wird jedoch der Aufbau von

umweltschonenden Recyclinganlagen im industriellen Maßstab notwendig sein, wenn die PV-Technologie großflächig zum Einsatz kommt.

Der Bewertungsraster beinhaltet einerseits alle zur Lebenszyklusanalyse relevanten Eingabeparameter (Lebensdauer mit Bandbreiten; prozentuale Verteilung hinsichtlich Recycling, Deponierung und thermischer Verwertung; bauphysikalische Kennwerte; Masseninput; Lösbarkeit/Trennbarkeit; Referenz-Nutzungsdauer des Bauwerks) und andererseits die ermittelten Ergebnisse in Form von Best-, Basis- und Worst-Case-Szenarien. Die Lebenszyklusergebnisse (Ökobilanz-Kennwerte für alle drei Szenarien, einschließlich Abbildungen) sind auf einer A4-Seite übersichtlich dargestellt (siehe Abbildung 13) und wurden mit den dazugehörigen Datenblätter zu einem baukonstruktionsorientierten Leitfaden zusammengefasst. (siehe Anhang A)

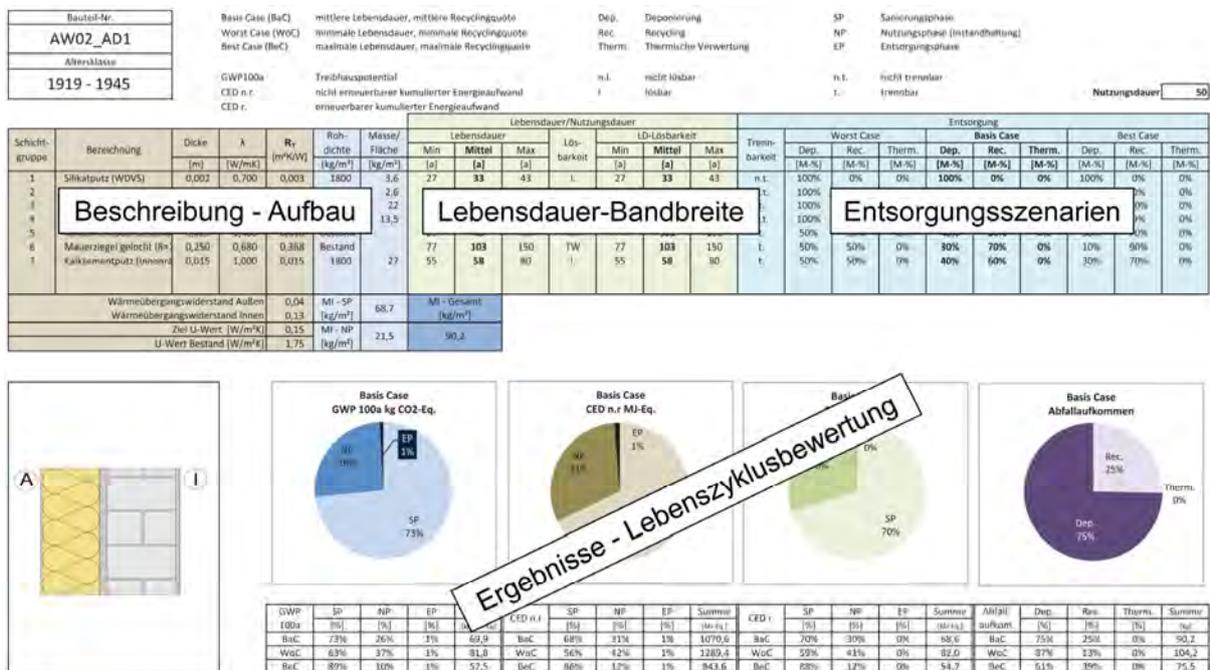


Abbildung 13 Bewertungsraster für Lebenszyklusbewertung

Die zusammengefügten Bauteilschichten wurden hinsichtlich ihrer Lösbarkeit und Trennbarkeit beurteilt, um den Einfluss auf die Ökobilanz-Kennwerte aufzeigen zu können. Eine ungenügende Lösbarkeit führt zu einer Verkürzung der Lebensdauer der betroffenen Bauteilschichten und folglich zu einem höheren stofflichen und energetischen Instandsetzungsaufwand innerhalb der bilanzierten Bauwerks-Nutzungsdauer von 50 Jahren. Eine diesbezügliche Anpassung der jeweiligen Lebensdauern je Bauteilschicht an die geringste Lebensdauer des gesamten Aufbaus wird mittels eines Schichtenmodells erfasst. Im Bewertungsraster ist dies anhand der festgelegten Lebensdauerangaben in der Kategorie „Lebensdauer-Lösbarkeit“ ersichtlich. Damit konnte der Instandsetzungsaufwand durch die Berechnung der erforderlichen Anzahl an Austauschraten für die jeweilige Bauteilschicht bilanziert werden.

5.3 Lebenszyklusbewertung – Bauteilebene

5.3.1 Allgemein

- Eine Erhöhung der Kreislauffähigkeit ist künftig erforderlich, um das Deponieabfallaufkommen so gering wie möglich zu halten. Ansatzpunkte sind leicht lösbare und trennbare Konstruktionen, aber auch eine Weiterentwicklung der Aufbereitungstechnologien von Baurestmassen.
- Die Relevanz der Kreislaufwirtschaft (Lösbarkeit, Trennbarkeit) und Dauerhaftigkeit sind beim Vergleich der Ergebnisse der Lebenszyklusbewertung (LCA Aufbauten) für den Best und Worst Case (siehe Ergebnisse im Kapitel 5.8) ersichtlich.
- Wandaufbauten weisen grundsätzlich einen höheren Deponieanteil als Dachaufbauten auf, wobei eine hinterlüftete Fassade hier eine positive Ausnahme bildet.
- In der Literatur sind für die Dampfsperre kürzere Lebensdauern angegeben, als für die angrenzenden Bauteilschichten, wodurch es zu einer Verkürzung der Lebensdauer im Instandsetzungsfall kommt. Dies führt folglich zu einer Erhöhung der Ökobilanz-Kennwerte.
- Die Verwendung von erneuerbaren Energieträgern als Bauprodukte (Holzfaserdämmplatte etc.) ist aufgrund der thermischen Verwertbarkeit vorteilhaft.
- Bei vergleichbarer Dämmwirkung weisen thermische Sanierungsvarianten bessere Ökobilanz-Werte (CED, GWP) auf, wenn Dämmstoffe mit vergleichsweise niedrigerer Rohdichte eingesetzt werden können (Bsp. Hinterlüftete Fassade). Grund ist der dominante Einfluss der Dämmstoffe auf die Ökobilanz-Kennzahlen von thermischen Sanierungsmaßnahmen, weshalb eine Reduktion des Materialinputs von Dämmstoffen zu einer deutlichen Verbesserung der Ökobilanz-Kennzahlen des Aufbaus führt.
- Trotz gleicher Funktion (Wärmeleitfähigkeit) sind die Ökobilanz-Kennwerte (Umweltwirkungen je kg Bauprodukt) einer Steinwolle-Dämmung im Vergleich zu einer Glaswolle-Dämmung merkbar niedriger, wodurch ein weiteres Einsparpotential durch die Auswahl von Bauprodukten anhand von harmonisierten Ökobilanz-Kennwerten (Umweltproduktdeklarationen - EPD) aufgezeigt wird.
- Negativ wirkt sich die mangelnde Lösbarkeit der zusammengefügte Bauteilschichten im Instandsetzungsfall auf die Lebensdauer und folglich auf die Ökobilanz-Kennwerte aus.
- Der negative Einfluss der schlechteren Trennbarkeit der zusammengefügte Bauteilschichten ist nur beim Vergleich des bilanzierten Indikators „Deponieabfallaufkommen“ klar ersichtlich, nicht jedoch durch eine deutliche Erhöhung der Indikatoren „kumulierter Energieaufwand (CED)“ oder „Treibhauspotential (GWP)“, was die Notwendigkeit eines Indikators für nicht verwertbare Abfälle aufgezeigt.

5.3.2 Wandaufbauten

- Hinterlüftete Fassaden können aufgrund der leichten Trennbarkeit der zusammengefügte Bauprodukte wesentlich sortenreiner rückgebaut werden und folglich kreislauffähiger als Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) sind.

- Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) mit Holzfaserdämmplatten weisen im Vergleich zu WDVS mit EPS oder Mineralwolle annähernd die gleichen Ökobilanz-Kennwerte auf. Grund ist der erforderliche höhere Materialinput des WDVS mit Holzfaserdämmplatten, um die gleiche Dämmwirkung zu erreichen. Nur beim Deponieaufkommen schneidet das WDVS mit Holzfaserdämmplatten aufgrund der guten thermischen Verwertbarkeit besser ab.
- Hinterlüftete Fassaden haben bei gleicher Dämmwirkung aufgrund der Verwendung von relativ leichten Mineralwolle-Dämmungen (15 kg/m³) einen wesentlich geringeren Materialinput und weisen laut den verwendeten Lebensdauerkatalogen auch eine längere Lebensdauer (ca. 10 Jahre Differenz) als WDVS auf.
- Beim Vergleich der Ökobilanz-Kennzahlen schneidet das WDVS mit EPS aufgrund des geringeren Materialinputs besser als jenes mit Mineralwolle ab. Der Vorteil ist bei Fassaden größer als bei der thermischen Dämmung von Dachgeschoßdecken, da solche Aufbauten laut den verwendeten Lebensdauerkatalogen eine längere Lebensdauer aufweisen.

5.3.3 Dachaufbauten

- Die thermische Sanierung von Flachdächern mittels Schaumglas (siehe Aufbau FD01_AD3 im baukonstruktionsorientierten Leitfaden) weist im Vergleich zu Aufbauten mit EPS- oder Mineralwollendämmung trotz vergleichsweise längerer Lebensdauer keine niedrigeren Ökobilanz-Kennwerte auf, da höhere Energieaufwendungen und Umweltwirkungen bei der Herstellung erforderlich sind bzw. verursacht werden.
- Aufbauten mit EPS- oder Mineralwollendämmung schneiden aufgrund der guten Trennbarkeit hinsichtlich des anfallenden Deponieaufkommens besser ab.
- Die Lösbarkeit und Trennbarkeit der zusammengefügtten Bauteilschichten ist mit Ausnahme von verklebten Abdichtungsbahnen grundsätzlich besser, als von Fassadenaufbauten.

5.3.4 PV- & Solarthermieaufbauten

- Die PV-Kaltfassaden weisen einen geringeren Materialinput aufgrund der punkweisen Fixierung der PV-Paneele mit Edelstahlelementen auf, als eine PV-Warmfassade, die als Pfosten-Riegel-System ausgeführt wird. Die Warmfassade eignet sich jedoch auch zur thermischen Sanierung von Skelettbauwerken. (Nichtwohngebäude).
- Eine gute Kreislauffähigkeit trifft auch für Aufbauten mit integrierter PV- oder Solarthermie-Anlagen zu. Außerdem werden in der Literatur vergleichsweise längere Lebensdauern für Dämmstoffe von hinterlüfteten Fassaden angegeben, als für WDVS, da diese durch das Dünnschicht-Putzsystem begrenzt wird. (siehe Aufbau AW01_AD1 vs. AW01_AD2 im baukonstruktionsorientierten Leitfaden)
- Die Wand-Aufbauten mit PV- und Solarthermieinstallationen weisen aufgrund der guten Lösbarkeit und Trennbarkeit der zusammengefügtten Bauteilschichten einen wesentlich geringeren Deponieanteil als Wärmedämmverbundsysteme (EPS, Mineralwolle) auf.

5.3.5 Zusammenfassung - Bauteilebene

Der baukonstruktionsorientierte Leitfaden ist das Ergebnis der Projektstufe „Bauteil-Ebene“. Der Sinn und Nutzen dieses Leitfadens kann durch nachfolgende Punkte aufgezeigt werden:

- Nachschlagewerk für Interessenten (Auftraggeber, Planer) hinsichtlich einer Sanierung auf Plusenergiehausstandard;
- Übersicht über Möglichkeiten und Grenzen von Sanierungsvarianten je Bauteil in Abhängigkeit vom Gebäudetyp und der Bauepoche;
- Übersicht über mögliche Aufbauten, einschließlich der lebenszyklusweiten Umweltwirkungen sowie Stoff- und Energieströme;
- Impuls für hochqualitative Sanierung des Gebäudebestands auf Plusenergiehausstandard in Richtung:
 - Bauphysikalisch unbedenklicher Aufbauten;
 - Lebenszyklusorientierter Bauproduktauswahl und Planung (Lösbarkeit, Trennbarkeit) zwecks ressourcen- und energieeffizienter Sanierungsmaßnahmen.

Jedenfalls konnte mit den Ergebnissen der Lebenszyklusbewertungen auf Bauteil-Ebene der Einfluss der konstruktiven Durchbildung von Sanierungsmaßnahmen hinsichtlich qualitativer Aspekte wie Lösbarkeit und Trennbarkeit aufgezeigt werden.

5.4 Ergebnisse – HWB-Berechnung

5.4.1 Gewichtete HWB-Kennzahlen

In Tabelle 4 sind die ermittelten HWB-Kennzahlen der ausgewählten Referenzgebäude für den Wohngebäudebestand und in der Tabelle 5 für den Nichtwohngebäudebestand dargestellt. Die Berechnungsschritte sind in Kapitel 4.5.6 erläutert. Es wurde der Heizwärmebedarf vor der thermischen Sanierung (siehe Spalte „HWB v.S.“ in Tabelle 4), Heizwärmebedarf nach thermischer Sanierung mit Wärmerückgewinnung von 50 % für Wohngebäude (Spalte: HWB n.S. WRG 50%) und mit Wärmerückgewinnung von 75 % für Nichtwohngebäude (Spalte: HWB n.S. WRG 75%) sowie ohne Wärmerückgewinnung (Spalte: HWB n.S. ohne WRG) dargestellt.

Tabelle 4 Übersicht über gewichtete HWB-Kennzahlen – Wohngebäude

Gewichteter HWB von Wohngebäuden je Bauepoche & Gebäudetyp				
Gebäudetyp	Bauepoche	HWB v.S.	HWB n.S. WRG 50%	HWB n.S. ohne WRG
EFH	vor 1919	216	29	40
MFH-K		121	18	28
MFH-G/GEM		87	13	24
Whg in NWG		161	20	30
EFH	1919 -1945	183	20	30
MFH-K		188	20	31
MFH-G/GEM		133	17	28
Whg in NWG		162	20	31
EFH	1946 - 1960	333	31	41
MFH-K		154	20	31
MFH-G/GEM		118	15	25
Whg in NWG		140	20	31
EFH	1961 - 1980	113	22	33
MFH-K		100	21	32
MFH-G/GEM		72	14	25
Whg in NWG		99	20	31
EFH	1981-1990	101	24	35
MFH-K		65	18	29
MFH-G/GEM		64	18	29
Whg in NWG		74	20	31
EFH	ab 1991	86	28	40
MFH-K		53	18	29
MFH-G/GEM		52	18	29
Whg in NWG		56	20	31

Tabelle 5 Übersicht über gewichtete HWB-Kennzahlen – Nichtwohngebäude (NWG)

Gewichteter HWB von NWG je Bauepoche			
Bauepoche	HWB v.S.	HWB n.S. WRG 75%	HWB n.S. ohne WRG
A vor 1919	161	15	31
B 1945 - 1960	140	15	31
C 1961 - 1980	99	15	31
D 1981 - 1990	74	15	31
E ab 1991	56	15	31

5.4.2 HWB - Einsparpotential

Der Heizwärmebedarf nach der thermischen Sanierung des österreichischen Gebäudebestands wurde entsprechend der Vorgangsweise im Kapitel 4 berechnet. Laut Statistik Austria (Statistik Austria, 2008) wurde im Jahr 2006 ein Nutzenergieeinsatz von 254

PJ/a für die Raumwärme und Trinkwarmwasser benötigt, davon können nach Eckerle (Eckerle, et al., 1996) ca. 216 PJ/a der Raumwärme (85 %) zugewiesen werden. Nach der thermischen Sanierung des gesamten Gebäudebestands ist noch ein Heizwärmebedarf von 35 PJ/a zu decken. Dies entspricht einer Reduktion von ca. 80 % im Vergleich zum Heizwärmebedarf vom Jahr 2006 (siehe Abbildung 14). Von den 35 PJ/a werden 22 PJ/a solarthermisch erzeugt, wodurch noch 13 PJ/a mit dem österreichischen Heizträgermix lt. Statistik Austria (Statistik Austria, 2004) zu bilanzieren sind. Eine Veränderung des Heizträgermixs hinsichtlich einer Erhöhung des erneuerbaren Anteils (Biomasse etc.) wurde nicht berücksichtigt, da der Schwerpunkt in dieser Studie auf das erreichbare Einsparpotential durch Solarthermie und PV-Stromerzeugung gelegt wurde.

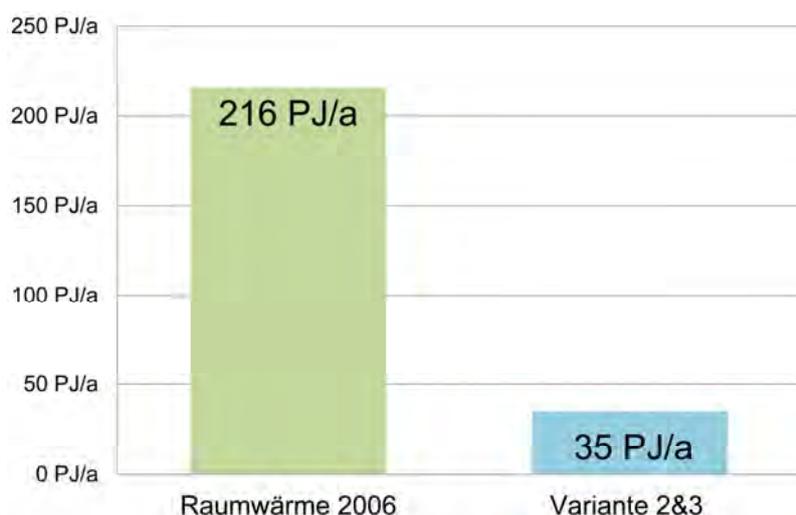


Abbildung 14 Gegenüberstellung - Heizwärmebedarf vor und nach der Sanierung (Variante 3)

5.4.3 Nutzenergiebedarf – Variante 1 - Wohngebäudebestand

Die Zusammenstellung des Nutzenergiebedarfs für die Variante 1 (nur Wohngebäudebestand) ist in Tabelle 6 dargestellt. Eine Allokation der nachgefragten Wärmemengen für Raumwärme und Trinkwarmwasser erfolgte nach den beheizten Nutzflächen des Wohn- und Nichtwohngebäudebestands, wobei von einer maximal integrierbaren Wärmemenge von 45 PJ/a (bezogen auf den gesamten Gebäudebestand!) entsprechend der Studie “Regenerative Energie in Österreich” (Kaltschmitt, 2009) ausgegangen wird.

Tabelle 6 Zusammenstellung des Nutzenergiebedarfs –Variante 1 - Wohngebäudebestand

	Energiebedarf - Nutzenergie [PJ/a]			
	Vor Sanierung	Nach Sanierung	Solarthermie	Rest
Heizwärmebedarf	114	23	13	10
Trinkwarmwasser	22	22	6	16
Prozessenergie <100°C	0	0	0	0
Gesamt	136	45	19	26

5.4.4 Nutzenergiebedarf – Variante 2 & 3 – Gesamter Gebäudebestand

Eine Zusammenstellung des Nutzenergiebedarfs für die Warmwasserbereitstellung vor und nach der Sanierung für die Varianten 2 & 3 ist in Tabelle 7 dargestellt. Die Spalte „Nach Sanierung“ entspricht der Summe der beiden Spalten „Solarthermie“ (solarthermisch erzeugte Wärme) und „Rest“ (Restlicher Wärmebedarf, welcher mit dem österreichischen Heizträgermix noch zu decken ist). Da lt. der Studie „Regenerative Energie in Österreich“ (Kaltschmitt, 2009) die Solarthermie nur für Substitution von Prozessenergien unter 120°C geeignet ist, wurde nur der Energiebedarf von Prozessenergien unter 100°C berücksichtigt. Die erforderlichen Kollektorflächen wurden folglich für eine Gesamtleistung von 45 PJ/a lt. der Studie „Regenerative Energie in Österreich“ (Kaltschmitt, 2009) ausgelegt und die verbliebenen solar nutzbaren Flächen für die PV-Stromerzeugung herangezogen.

Tabelle 7 Zusammenstellung des Nutzenergiebedarfs – Variante 2 & 3 – Gesamter Gebäudebestand

	Energiebedarf - Nutzenergie [PJ/a]			
	Vor Sanierung	Nach Sanierung	Solarthermie	Rest
Heizwärmebedarf	216	35	22	13
Trinkwarmwasser	38	38	11	27
Prozessenergie <100°C	28	28	12	16
Gesamt	282	101	45	56

5.5 Ergebnis – solar nutzbares Flächenpotential

Die Ermittlung des technischen und solarurbanen Flächenpotentials erfolgte entsprechend der in Kapitel 4.5 erläuterten Vorgangsweise mittels Statistik Austria-Daten (Statistik Austria, 2009), (Statistik Austria, 2004) und den Ecofys-Kennzahlen (Ecofys GmbH et al., 2004).

In der Tabelle 8 sind die berechneten Flächen für die jeweilige Variante dargestellt, wobei erkennbar ist, dass die Flächen der Variante 1 aufgrund der ausschließlichen Betrachtung des Wohngebäudebestands deutlich kleiner ist, als jene der Varianten 2 und 3, wo zusätzlich der Bestand an Nichtwohngebäude berücksichtigt wurde.

Tabelle 8 Übersicht – Flächenpotential je Variante

	Gesamt solar nutzbare Flächen			
	solarurbanes Flächenpotential		technisches Flächenpotential	
	Dach [km ²]	Fassade [km ²]	Dach [km ²]	Fassade [km ²]
Variante 1	34	10	50	42
Variante 2	145	55	129	88
Variante 3	145	55	129	88

Zur Kontrolle der Plausibilität der berechneten solar nutzbaren Flächenpotentiale wurde ein Vergleich mit anderen Top-Down-Studien (IEA International Energy Agency, 2002), (Defaix,

2009) durchgeführt. In Tabelle 9 ist erkennbar, dass die mittels ECOFYS-Kennzahlen (Ecofys GmbH et al., 2004) ermittelten Flächen in der Bandbreite der veröffentlichten Flächenpotentiale liegen.

Tabelle 9 Übersicht über solar nutzbare Dach- und Fassadenflächen

Solar nutzbare Dach- und Fassadenflächen		
Eigene Recherchen:	Dachflächen [km ²]	Fassadenflächen [km ²]
Solarurbanes Flächenpotential - Know How Plus	145	55
Technisches Flächenpotential - Know How Plus	129	88
Technisches Flächenpotential - (Kaltschmitt & Streicher 2009)	114	52
The potential for solar electricity production - (Defaix P.R. 2009)	68	47
Potential for Building Integrated Photovoltaics - (IEA 2002)	140	50

5.5.1 Ergebnisse - technisches Flächenpotential

Die Ergebnisse für das **technische Flächenpotential** zeigen, dass die Fassadenflächen für die solarthermische Erzeugung der zugrunde gelegten Wärmemengen (19,5 bzw. 45 PJ/a) ausreichen. Es können sogar noch Fassadenflächen für die Installation von PV-Paneelen genutzt werden (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10 Übersicht über technische Flächen für PV & Solarthermie

	technisches Flächenpotential			
	PV		Solarthermie	
	Dach [km ²]	Fassade [km ²]	Dach [km ²]	Fassade [km ²]
Variante 1 - MIN	50	10	0	32
Variante 1 - MW	50	12	0	30
Variante 1 - MAX	50	14	0	28
Variante 2 - MIN	129	32	0	56
Variante 2 - MW	129	34	0	54
Variante 2 - MAX	129	37	0	51
Variante 3 - MIN	129	29	0	59
Variante 3 - MW	129	32	0	56
Variante 3 - MAX	129	35	0	53

5.5.2 Ergebnisse - solarurbanes Flächenpotential

Die Ergebnisse für das **solarurbane Flächenpotential** zeigen, dass die verfügbaren Fassadenflächen für die solarthermische Erzeugung der zugrunde gelegten Wärmemengen (19,5 bzw. 45 PJ/a) nicht ausreichen und folglich auch Dachflächen herangezogen werden müssen (siehe Tabelle 11). Die Ausnahme bildet hier nur die Variante 2, da ein Transport der solar erzeugten Wärmemengen zwischen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden bilanziert wird.

Tabelle 11 Übersicht über solarurbanes Flächenpotential für PV & Solarthermie

	solarurbanes Flächenpotential			
	PV		Solarthermie	
	Dach [km ²]	Fassade [km ²]	Dach [km ²]	Fassade [km ²]
Variante 1 - MIN	21	0	13	10
Variante 1 - MW	23	0	11	10
Variante 1 - MAX	24	0	10	10
Variante 2 - MIN	145	7	0	48
Variante 2 - MW	145	8	0	47
Variante 2 - MAX	145	10	0	45
Variante 3 - MIN	132	19	13	36
Variante 3 - MW	134	19	11	36
Variante 3 - MAX	135	20	10	35

5.5.3 Ergebnisse – PV-Flächen

Aufgrund der unterschiedlichen Anlagenleistungen der zugrunde gelegten Solarthermie-Anlagen wurden für die Varianten 1 bis 3 jeweils drei Kategorien "MIN", "MAX" und "MW (Mittelwert)" berechnet, um den Einfluss auf die verfügbaren Flächen zur PV-Stromerzeugung aufzeigen zu können. In Tabelle 12 sind die solar nutzbaren PV-Flächen, untergliedert nach Dach- und Fassadenflächen sowie solarurbanen und technischen Flächenpotential dargestellt.

Tabelle 12 Übersicht über solar nutzbare Flächen für PV

	solar nutzbare PV-Flächen			
	solarurbanes Flächenpotential		technisches Flächenpotential	
	Dach [km ²]	Fassade [km ²]	Dach [km ²]	Fassade [km ²]
Variante 1 - MIN	21	0	50	10
Variante 1 - MW	23	0	50	12
Variante 1 - MAX	24	0	50	14
Variante 2 - MIN	145	7	129	32
Variante 2 - MW	145	8	129	34
Variante 2 - MAX	145	10	129	37
Variante 3 - MIN	132	19	129	29
Variante 3 - MW	134	19	129	32
Variante 3 - MAX	135	20	129	35

5.5.4 Ergebnisse - Flachkollektorflächen

In Tabelle 13 sind die erforderlichen Flachkollektorflächen, untergliedert in Dach- und Fassadenflächen dargestellt, die für die Erzeugung von 19,5 PJ/a für die Variante 1 und für die Variante 2 und 3 von 45 PJ/a erforderlich sind. Für die Variante 1 und 3 der Kategorie „solarurbanes Flächenpotential“ mussten beispielsweise auch Dachflächen für die Installation von Flachkollektoren herangezogen werden. Im Gegensatz dazu sind für die Varianten 1 bis 3 der Kategorie „technisches Flächenpotential“ die verfügbaren Fassadenflächen für die solarthermische Erzeugung der zugrunde gelegten Wärmemengen ausreichend.

Tabelle 13 Übersicht über solar nutzbare Flächen für Solarthermie

	solar nutzbare Flachkollektor-Flächen			
	solarurbanes Flächenpotential		technisches Flächenpotential	
	Dach [km ²]	Fassade [km ²]	Dach [km ²]	Fassade [km ²]
Variante 1 - MIN	13	10	0	32
Variante 1 - MW	11	10	0	30
Variante 1 - MAX	10	10	0	28
Variante 2 - MIN	0	48	0	56
Variante 2 - MW	0	47	0	54
Variante 2 - MAX	0	45	0	51
Variante 3 - MIN	13	36	0	59
Variante 3 - MW	11	36	0	56
Variante 3 - MAX	10	35	0	53

5.6 PV-Stromerzeugungspotential

5.6.1 Solarurbanes Flächenpotential - Variante 1 - Wohngebäudebestand

Für Variante 1 wurde zur besseren Übersicht eine Aufteilung zwischen dem technischen und dem solarurbanen Flächenpotential durchgeführt, um den Einfluss unterschiedlicher spezifischer jahresmittlerer Kollektorenergieeinträge, einschließlich von Speicherverlusten von Solarthermie-Anlagen aufzeigen zu können. In Abbildung 15 sind die Bandbreiten für die Variante 1 – solarurbanes Flächenpotential und in der Abbildung 16 für das technische Flächenpotential dargestellt. Das PV-Stromerzeugungspotential wurde für sechs verschiedene PV-Typen bezogen auf den österreichischen Wohngebäudebestand bilanziert, da für diese auch Ökobilanz-Daten für die Lebenszyklusbewertung zur Verfügung standen. Das Maximum der PV-Stromerzeugung von 2,8 TWh/a ist mittels Single-Si-Paneelen erreichbar, während das Minimum von 1,1 TWh/a durch eine Stromerzeugung mittels a-Si-Module erlangt wird.

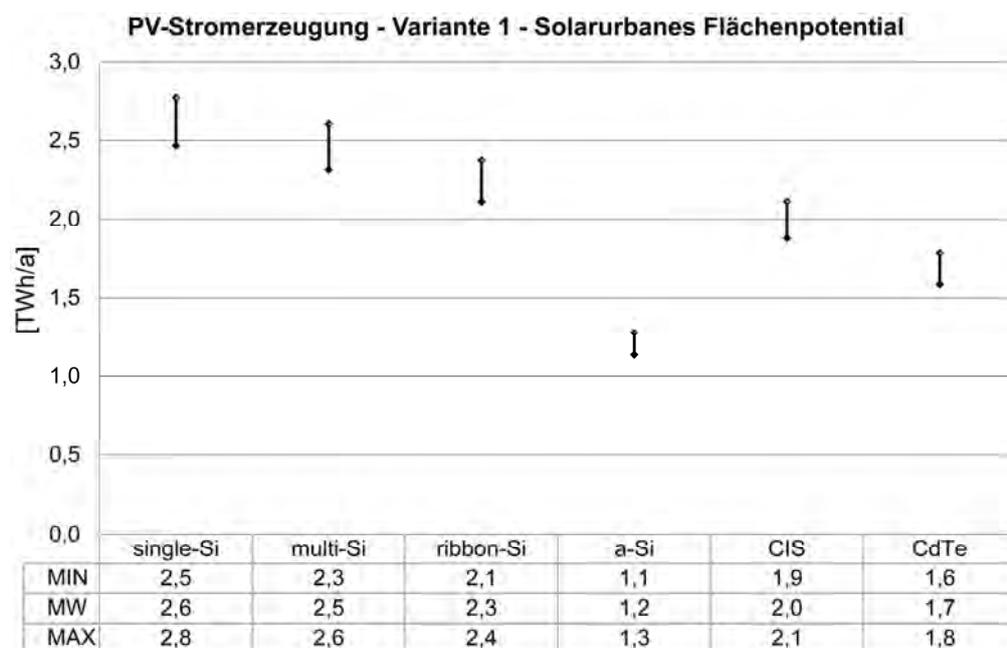


Abbildung 15 PV-Stromerzeugungspotential - Variante 1 – solarurbanes Flächenpotential - Wohngebäudebestand

5.6.2 Technisches Flächenpotential - Variante 1 - Wohngebäudebestand

Das PV-Stromerzeugungspotential der Variante 1 – technisches Flächenpotential ist um das 2 bis 3-fache höher, wie jenes der Variante 1 - solarurbanes Flächenpotential. Die Unterschiede zwischen dem solarurbanen und technischen Flächenpotential ergeben sich aufgrund des größeren Anteils an solar nutzbaren Fassaden- (um 32 km² höher) und Dachflächen (Differenz 16 km²) beim technischen Flächenpotential. Das technische Flächenpotential des Wohngebäudebestands wird folglich durch städtebauliche Gesichtspunkte (Baukultur etc.) deutlich reduziert.

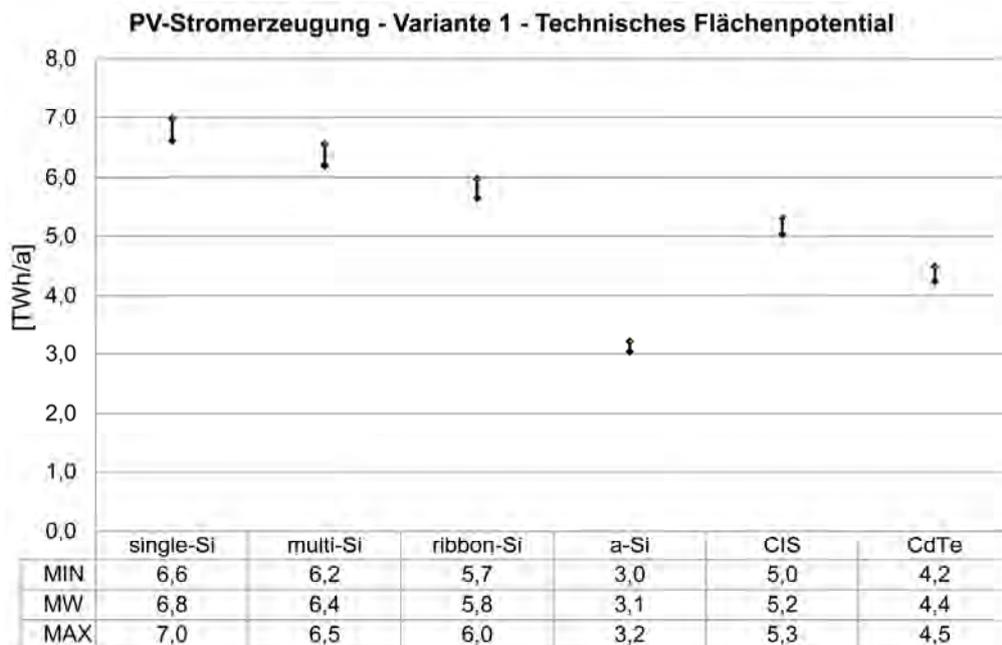


Abbildung 16 PV-Stromerzeugungspotential - Variante 1 – technische Flächenpotential - Wohngebäudebestand

5.6.3 PV-Stromerzeugungspotential - Variante 2 – Gesamter Gebäudebestand

Im Vergleich zu Variante 1 sind neben dem Wohngebäudebestand zusätzlich der Nichtwohngebäudebestand mitberücksichtigt worden. Die Unterschiede zwischen dem solarurbanen und technischen Flächenpotential aufgrund städtebaulicher Gesichtspunkte sind bei Nichtwohngebäuden nicht so ausgeprägt, wie beim Wohngebäudebestand, weshalb auf eine getrennte Darstellung der Bandbreiten verzichtet wurde (siehe Abbildung 17). Der Einfluss der unterschiedlichen spezifischen jahresmittleren Kollektorenergieeinträge, einschließlich von Speicherverlusten von Solarthermie-Anlagen ist im Vergleich zur Variante 1 gering. Das Maximum liegt bei 17,9 TWh/a (Single-Si-Paneele) und das Minimum bei 8,0 TWh/a (a-Si-Paneele). Laut E-Control (Energie-Control, 2009) betrug im Jahr 2006 die Aufbringung durch erneuerbaren Energieträger „Wasserkraft“ 37,3 TWh/a (44 % vom Gesamtstromaufkommen), d.h. im besten Fall kann mittels PV-Stromerzeugung (max. 17,9 TWh/a) die Stromaufbringung durch erneuerbare Energieträger um fast 50 Prozent erhöht werden.

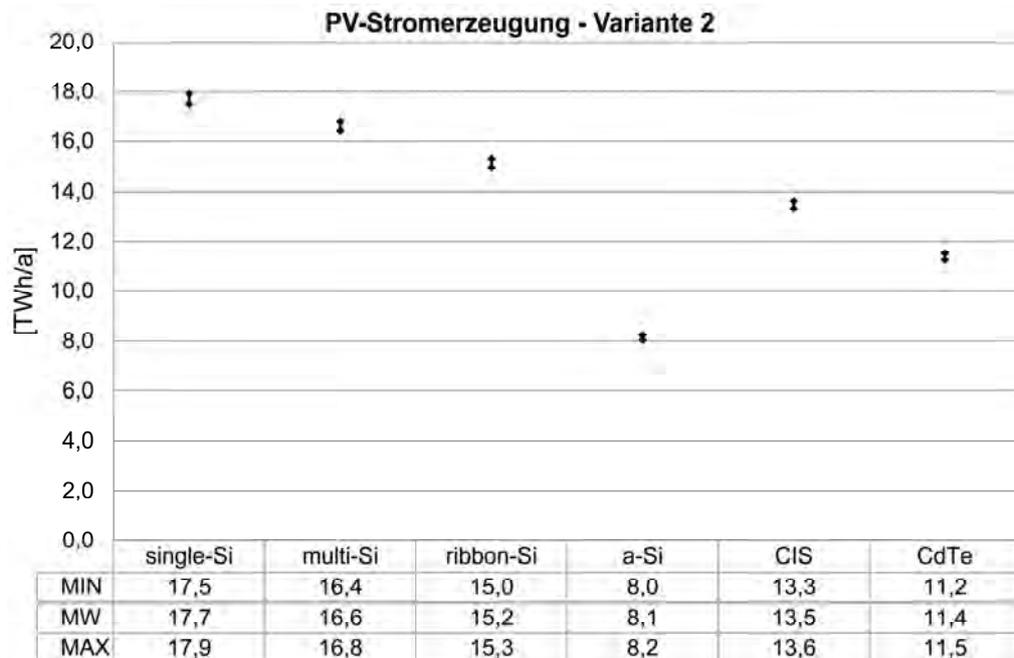


Abbildung 17 PV-Stromerzeugungspotential - Variante 2 – Gesamter Gebäudebestand

5.6.4 PV-Stromerzeugungspotential - Variante 3 – Gesamter Gebäudebestand

Im Vergleich zu Variante 2 ist die Bandbreite aufgrund des unterschiedlichen spezifischen jahresmittleren Kollektorenergieeintrags, einschließlich von Speicherverlusten von Solarthermie-Anlagen vergleichsweise größer (siehe Abbildung 18). Grund ist, dass kein Wärmetransport zwischen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden bilanziert wurde, weshalb neben Fassadenflächen auch Dachflächen zur solarthermischen Warmwassererzeugung herangezogen werden mussten. Das Maximum liegt bei 17,7 TWh/a (Single-SI-Paneele) und das Minimum bei 8,0 TWh/a (a-SI-Paneele).

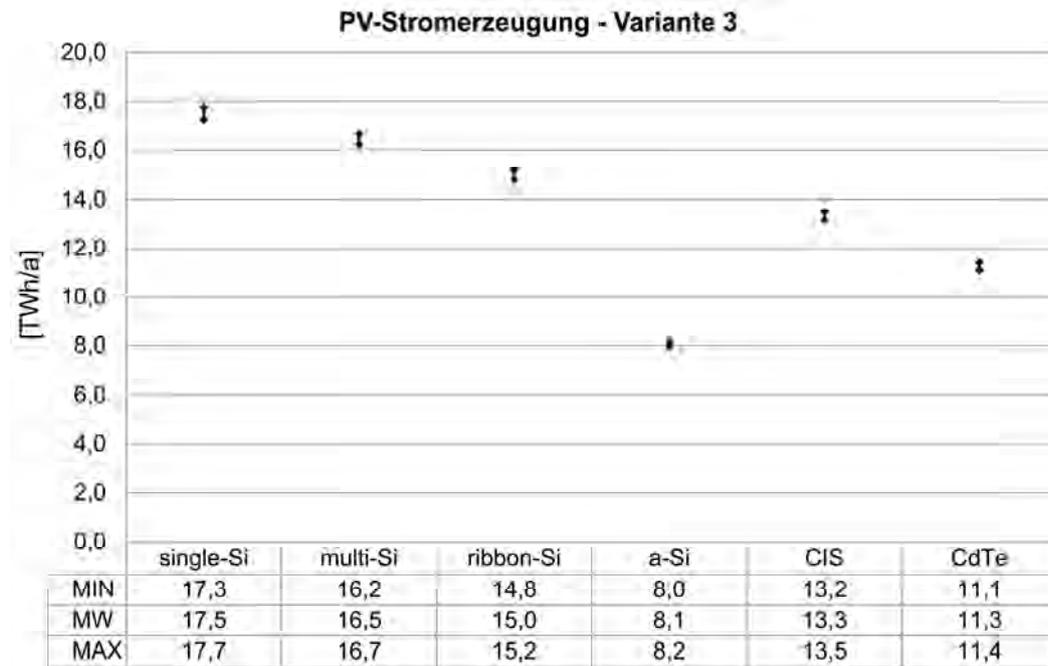


Abbildung 18 PV-Stromerzeugungspotential für Variante 3 – Gesamter Gebäudebestand

5.6.5 Zusammenfassung – PV-Stromerzeugungspotential

Die Ergebnisse der berechneten PV-Stromerzeugungspotentiale werden hauptsächlich durch die Effizienz der in der Ecoinvent-Datenbank (ecoinvent Centre, 2007) bilanzierten PV-Anlagen (Single-, Multi- und Ribbon-SI Paneele sind sehr effizient; CIS- und CdTe-Paneele mäßig effizient und a-SI-Paneele am wenigsten effizient). Für die Variante 1 (nur Wohngebäude) ist aber auch der Einfluss der Solarthermie-Anlagen hinsichtlich unterschiedlicher spezifischer jahresmittlerer Kollektorenergieeinträge, einschließlich von Speicherverlusten deutlich erkennbar. Ebenso zeigt sich, dass das technische Flächenpotentials bezogen auf den Wohngebäudebestand durch städtetypische Aspekte merkbar größeren Restriktionen unterworfen ist. Dies ist beim Vergleich zwischen dem technischen und solarurbanen Flächenpotential der Variante 1 ersichtlich.

Das Maximum der PV-Stromerzeugung bezogen auf den gesamten österreichischen Gebäudebestand liegt bei 17,9 TWh/a (Single-SI-Paneele) und das Minimum bei 8,0 TWh/a (a-SI-Paneele). Das Maximum der PV-Stromerzeugung von 17,9 TWh/a entspricht fast 50 Prozent von der erzeugten Stromaufbringung durch Wasserkraft im Jahr 2006 (37,3 TWh/a).

Die berechneten PV-Stromerzeugungspotentiale werden in Form von Stromgutschriften oder durch Abzug vom verbliebenen Gesamtenergiebedarf bei der Potentialanalyse berücksichtigt.

5.7 Dominanzanalyse - Stromerzeuger

Für die Ökobilanzierung des PV-erzeugten Stroms in Form einer Stromgutschrift wird die Substitution eines Stromerzeugers mit nicht erneuerbaren Energieträgern vorausgesetzt. Der nicht zu vernachlässigende Einfluss von unterschiedlichen Stromerzeugungssystemen wird durch die Gegenüberstellung in Abbildung 19 für den Indikator „Treibhauspotential – GWP“ und in Abbildung 20 für den „kumulierten Energieaufwand – nicht erneuerbar (CED n.r.)“ ersichtlich. Für die Berechnung der PV-Stromgutschrift bezogen auf das Treibhauspotential (GWP) wird für den Worst-Case der UCTE-Mix (100 %) und für den Best-Case das Braunkohlekraftwerk (176 %) herangezogen.

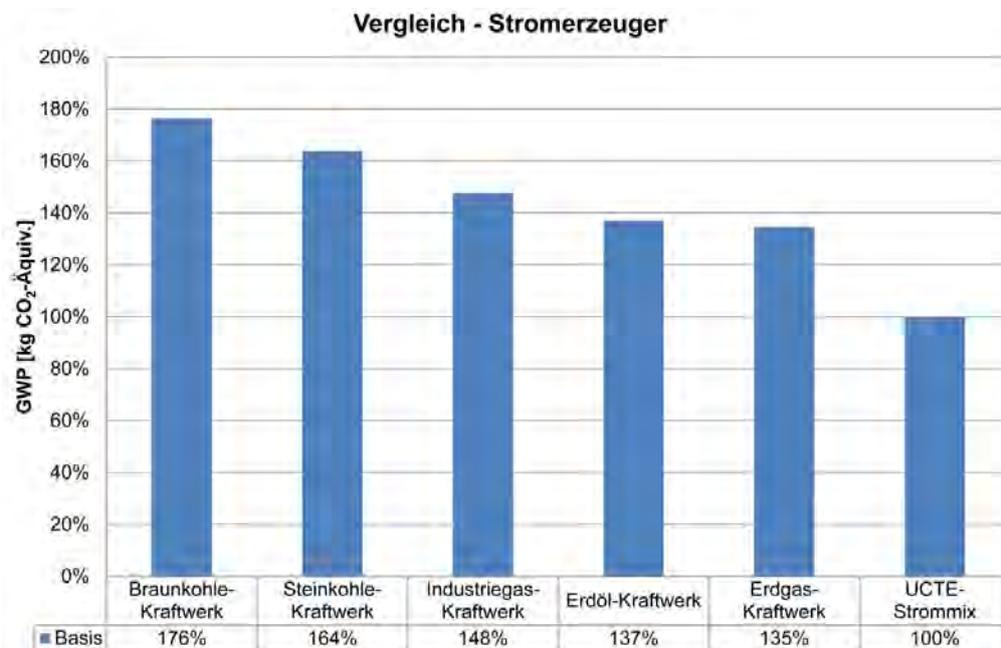


Abbildung 19 Vergleich Stromerzeuger – GWP

Bei Betrachtung des kumulierten Energieaufwands – nicht erneuerbar (CED n.r.) schneidet das Braunkohle-Kraftwerk (100 %) am günstigsten und ein Industrie-Gaskraftwerk (188 %) am schlechtesten ab. Anschließend wurden damit die obere und untere Grenze der Bandbreite der PV-Gutschrift bezogen auf den kumulierten Energieaufwand (CED n.r.) ermittelt.

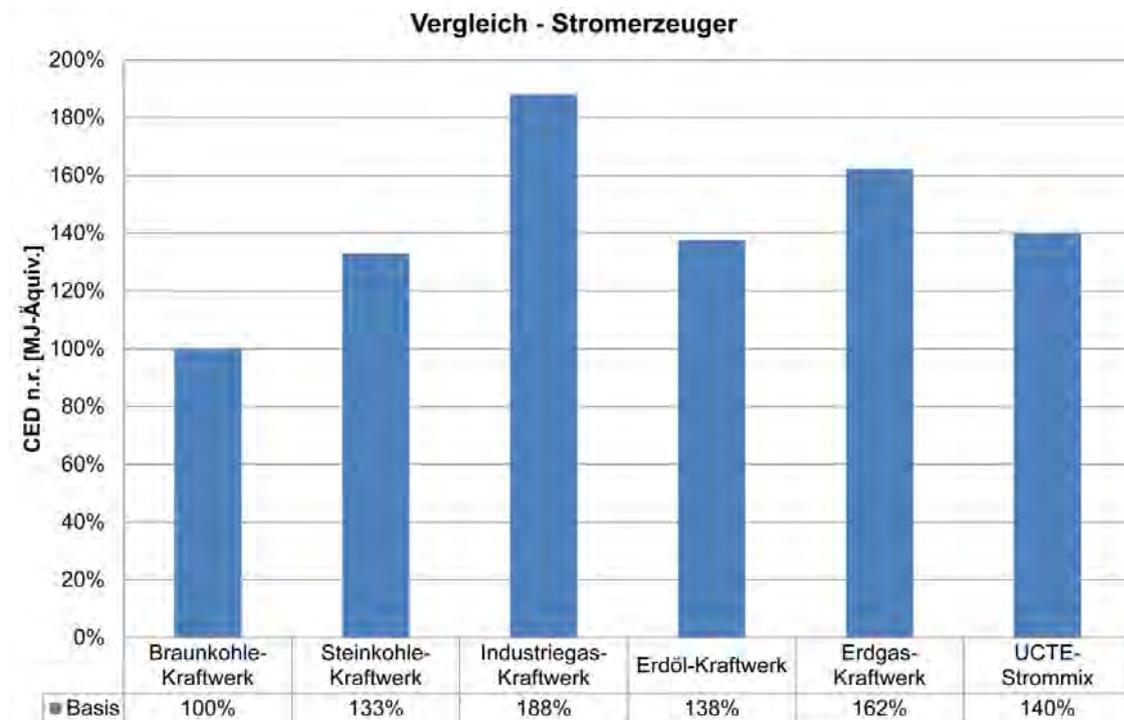


Abbildung 20 Vergleich Stromerzeuger – CED n.r.

Ein Vergleich hinsichtlich der Indikatoren „kumulierter Energieaufwand – erneuerbar (CED r.) und „Abfallaufkommen“ ist aufgrund des sehr geringen Einflusses auf die Höhe der Gutschrift nicht zielführend, weshalb auf eine Gegenüberstellung verzichtet wurde.

5.8 Auswertung –Einsparpotential

Die Modellberechnungsergebnisse werden zur besseren Übersicht als Bandbreiten dargestellt, welche durch den jeweiligen szenarioabhängigen Best- und Worst-Case begrenzt werden. Folgende Einflussfaktoren wurden dabei berücksichtigt:

- Unterschiedlich effiziente PV- & Solarthermieanlagen und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung
- Gutschriften für PV-Strom in Abhängigkeit vom jeweils substituierten nicht erneuerbaren Energieträger (Erdöl, Erdgas,...)
- Gutschriften für solarthermisch erzeugte Wärmemenge wurden mit dem Energieträgermix für Raumwärme lt. Statistik Austria (Statistik Austria, 2004) bilanziert.
- Ergebnisse der Lebenszyklusbewertung der 180 Aufbauten als Bandbreite mit minimalen und maximalen Umweltwirkungen & Energieaufwand bilanziert

- Untergliederung in drei Varianten, um eine getrennte Auswertung für den Wohngebäudebestand aufgrund der besseren Datenlage zu ermöglichen.

Die Auswertung der Varianten wurde einerseits als Differenz zwischen den erforderlichen energetischen und stofflichen Aufwendungen zur Sanierung auf Plusenergiehausstandard und den Erträgen durch solare Energiegewinne und reduziertem Heizwärmebedarf ermittelt (siehe Abbildung 21).

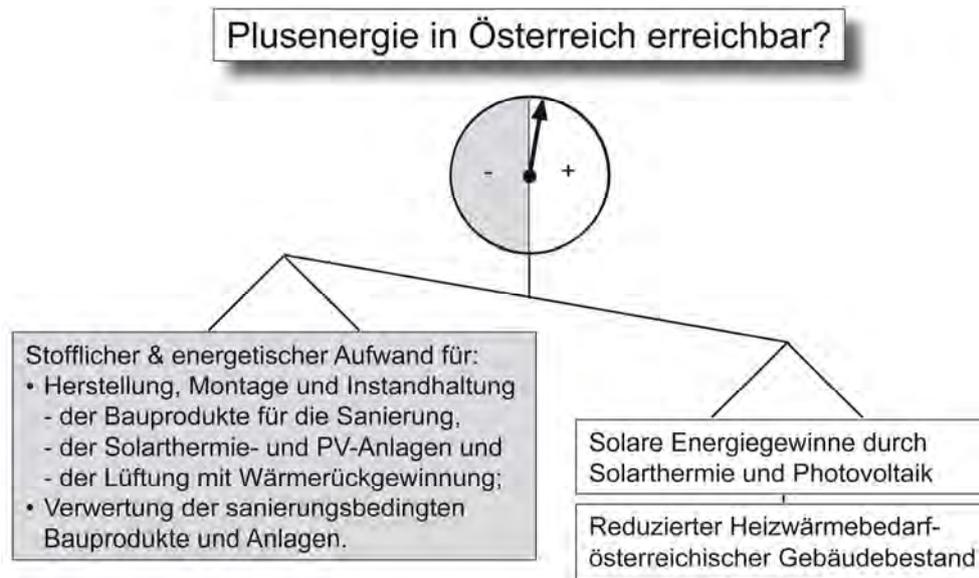


Abbildung 21 Einsparpotential durch Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard / Aufwand und Ertrag von Sanierungen auf Plusenergiehaustechnologie (Schulter, 2012)

5.8.1 Einsparpotential – Variante 1

Das Einsparpotential durch Gebäudesanierung auf Plusenergiehausstandard für den Wohngebäudebestand – Variante 1 wird im nachfolgenden für die ausgewählten Indikatoren dargestellt. Die stofflichen und energetischen Aufwendungen der Sanierung auf Plusenergiehausstandard sind unter dem Begriff „LCA-Thermische Sanierung“ zusammengefasst worden und mit den Erträgen durch solarthermische Warmwassererzeugung (Kategorie „Solarthermie-Warmwasser“), PV-Stromerzeugung (Kategorie „PV-Stromgutschrift“) und durch die eingesparte Wärmemenge infolge thermischer Sanierung (Kategorie „HWB-Einsparung“) gegenübergestellt.

5.8.2 Einsparpotential – GWP - Variante 1

In Abbildung 22 ist für den Indikator – Treibhauspotential (GWP) eine Gegenüberstellung zwischen dem Worst- und Best Case der Variante 1 ersichtlich. Für den Worst Case bedeutet dies, dass durchschnittlich ca. 2,5 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr durch die Sanierung auf Plusenergiehausstandard aufgewendet werden müssen, um im Gegenzug ca. 9,8 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr einsparen zu können. Der erkennbare Unterschied zwischen dem Worst Case (LCA_VAR1_MIN_WOC) und dem Best Case (LCA_VAR1_MIN_BEC) wird durch die unterschiedlichen Wirkungsgrade der PV-Anlagen (Single-Si- Paneele im Vergleich zu a-Si-Paneele) und der substituierten nicht erneuerbaren Stromerzeugungssysteme verursacht. Die höheren Umweltwirkungen bei der Produktion der Single-Si-Paneele können durch die Auswahl von Sanierungsvarianten mit geringeren ökologischen Umweltwirkungen (LCA-Aufbauten) kompensiert werden. Deswegen müssen im Vergleich zum Worst Case nur 1,7 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr durch die Sanierung auf Plusenergiehausstandard aufgewendet werden, um ein Einsparpotential von 16,4 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr nutzen zu können.

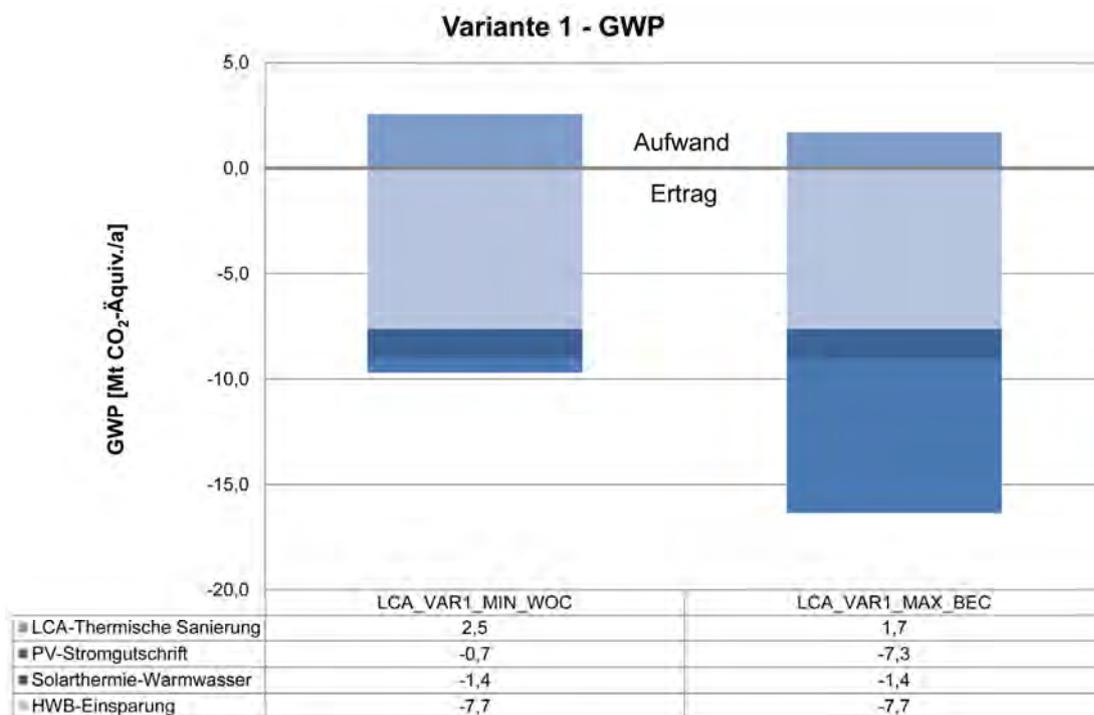


Abbildung 22 Einsparpotential – GWP - Variante 1 - Wohngebäudebestand

5.8.3 Einsparpotential – CED n.r. - Variante 1

Das Einsparpotential hinsichtlich nicht erneuerbarer Energieträger ist beim Vergleich des Worst Case mit dem Best Case ersichtlich. Das größte Einsparpotential ist durch den deutlich reduzierten Heizwärme-Bedarf gegeben (siehe Abbildung 23). Ebenso ist die Einsparung an nicht erneuerbaren Energieträgern durch die PV-Stromerzeugung (Single-Si) anstatt einer Stromproduktion mittels Erdgaskraftwerken für den Best Case deutlich erkennbar. Für den Worst Case ist das Einsparpotential aufgrund der weniger effizienten a-Si-Paneele und der Substitution von Braunkohlekraftwerken deutlich niedriger, da dieser Stromerzeuger den geringsten Bedarf an nicht erneuerbaren Energieträgern je kWh aufweist. Das Verhältnis Aufwand zu Ertrag beträgt für den Worst Case 1:2,9 und für den Best Case 1:6,8.

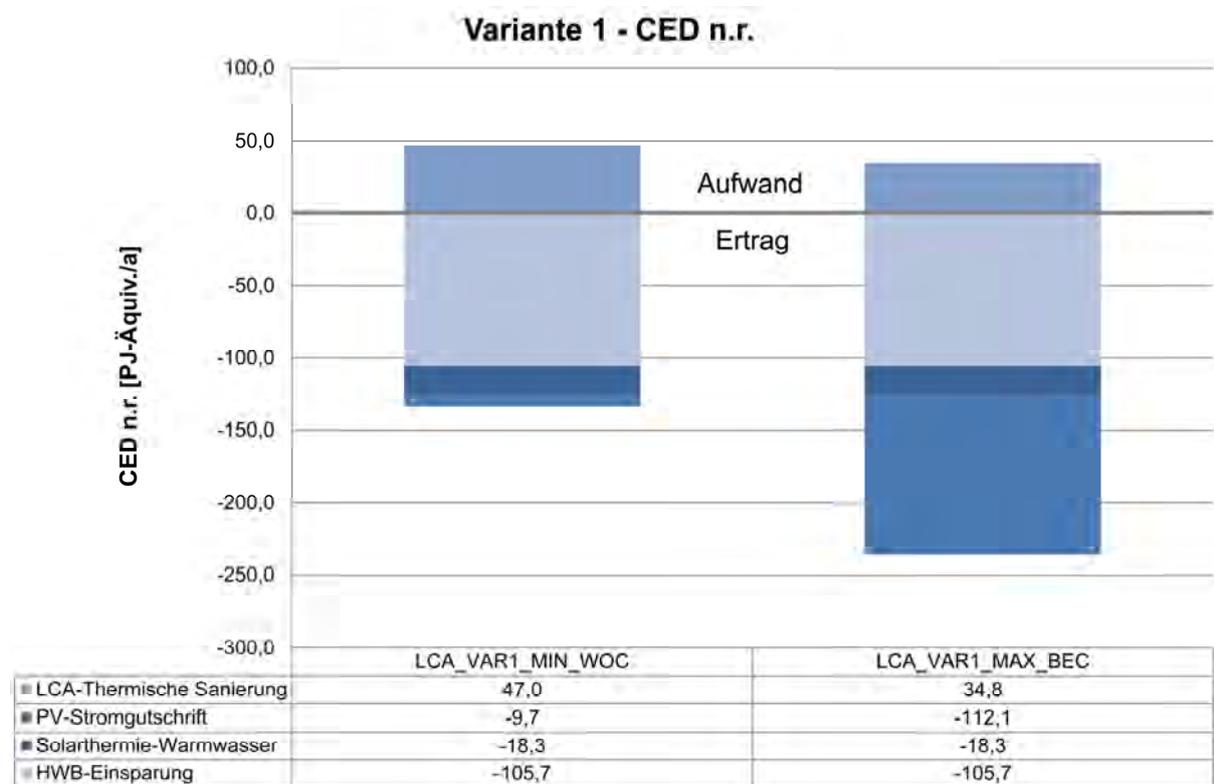


Abbildung 23 Einsparpotential – CED n.r.- Variante 1 - Wohngebäudebestand

5.8.4 Einsparpotential – CED r. - Variante 1

Das Einsparpotential an erneuerbaren Energieträgern (Wasserkraft, Biomasse etc.) ist um eine Zehnerpotenz niedriger als jenes für nicht erneuerbare Energieträger (siehe Abbildung 24). Beim Vergleich zwischen dem Worst und Best Case zeigt sich kein bedeutend großer Unterschied. Die größte Abweichung ist für die Kategorie „PV Stromgutschrift“ aufgrund der unterschiedlichen Anlagen-Effizienz und des zugrunde gelegten Strommix für die bilanzierte Stromgutschrift begründet.

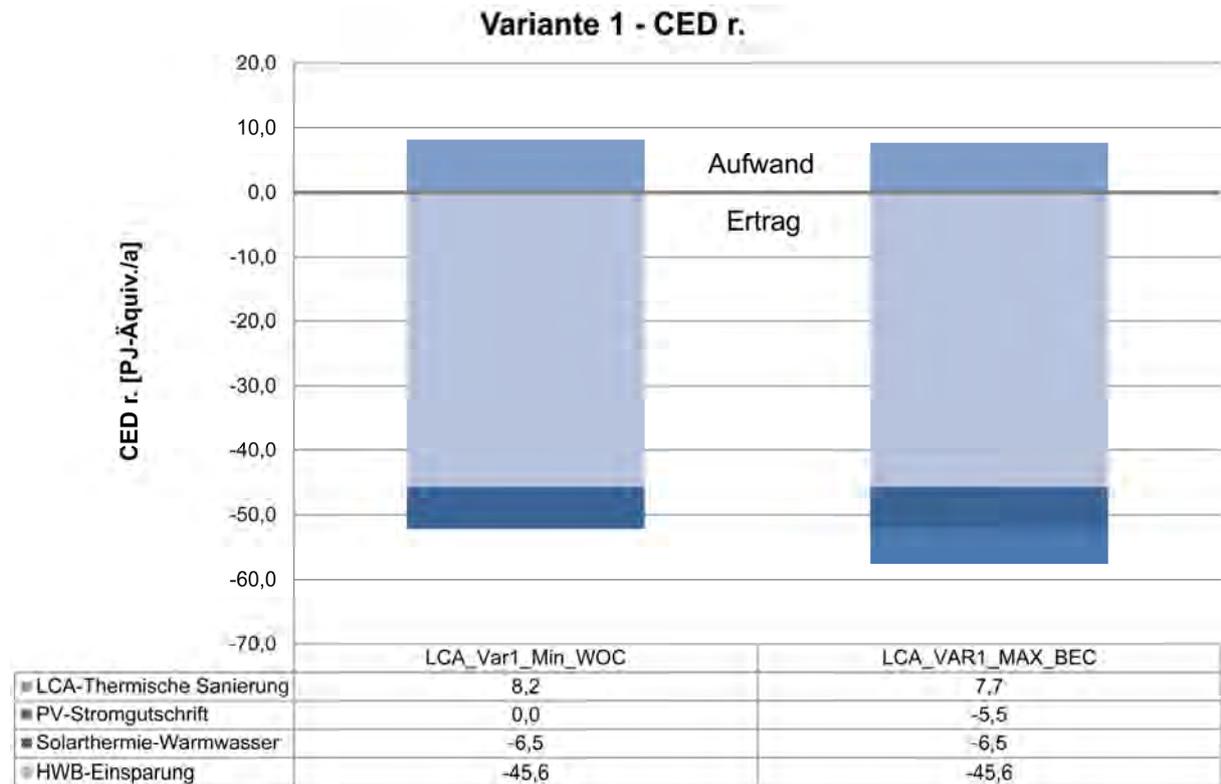


Abbildung 24 Einsparpotential – CED r.- Variante 1 - Wohngebäudebestand

5.8.5 Abfallaufkommen - Variante 1

Das für die Gebäudesanierung auf Plusenergiehausstandard verursachte jährliche Abfallaufkommen beträgt für den Worst Case ca. 1,7 Mio. t und für den Best Case ca. 1,0 Mio. t (siehe Abbildung 25). Das niedrigere Abfallaufkommen ist durch die Auswahl von Aufbauten mit geringerem Abfallaufkommen über den gesamten Lebenszyklus begründet. Der negative, also vermiedene Abfall wird durch den reduzierten Heizwärmebedarf und durch die Substitution mittels PV und Solarthermie erlangt. Jedenfalls zeigt sich, dass bei der Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard nicht nur energieeffiziente, sondern auch abfallarme und kreislauffähige Aufbauten forciert werden sollten, um das Deponievolumen, einschließlich der negativen Umweltwirkungen (Verlust von natürlichen Lebensraum) so gering wie möglich zu halten.

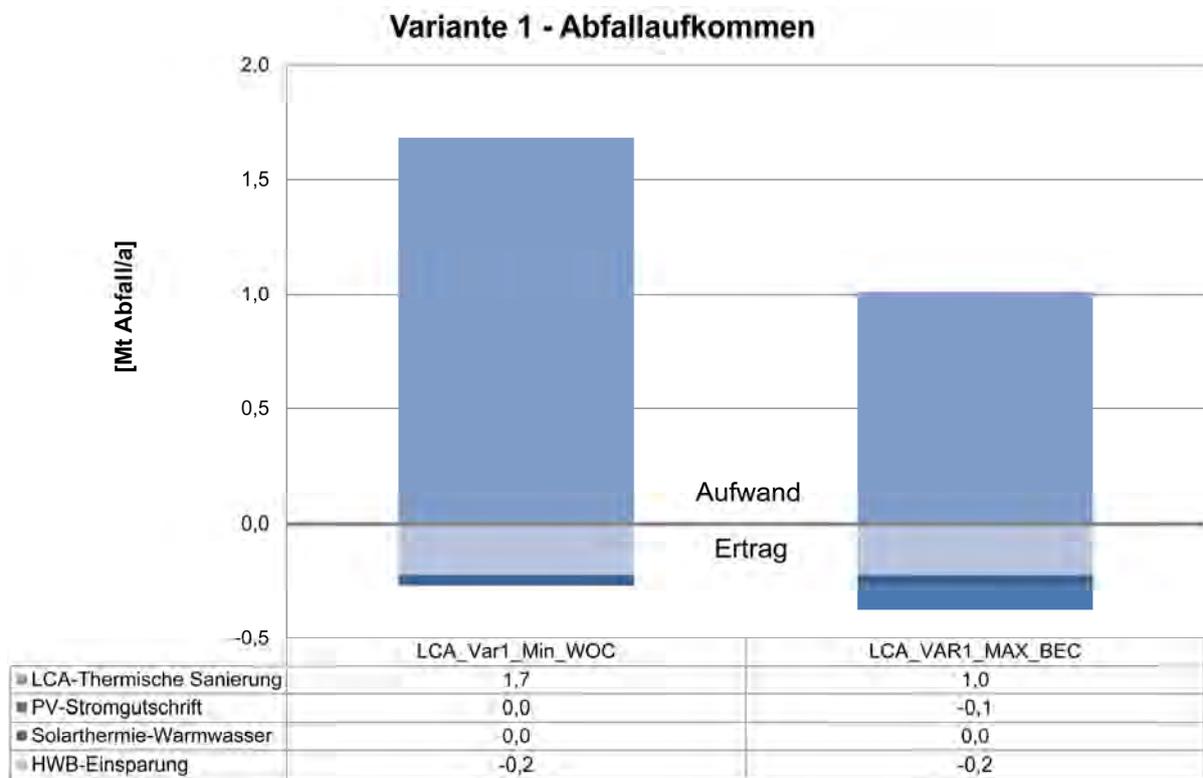


Abbildung 25 Einsparpotential – Abfallaufkommen - Variante 1 - Wohngebäudebestand

5.8.6 Einsparpotential – Variante 2

Das Einsparpotential durch Gebäudesanierung auf Plusenergiehausstandard für den gesamten österreichischen Gebäudebestand – Variante 2 wird im nachfolgenden für die Indikatoren Treibhauspotential (GWP), nicht erneuerbarer kumulierter Energieaufwand (CED n.r.), erneuerbarer kumulierter Energieaufwand (CED r.) und für das gesamte Abfallaufkommen dargestellt.

5.8.7 Einsparpotential – GWP - Variante 2

In Abbildung 26 sind für den Indikator – Treibhauspotential (GWP) die Ergebnisse des Worst-Case mit jenen des Best-Case der Variante 2 gegenübergestellt. Die stofflichen und energetischen Aufwendungen der Sanierung auf Plusenergiehausstandard (Kategorie „LCA-Thermische Sanierung“) des Worst-Case steht mit den dazugehörigen Erträgen in einem Verhältnis 1 zu 3,9. Für den Best-Case kann sogar ein Aufwand-Ertrag-Verhältnis von 1 zu 8,1 erreicht werden. Die Stromgutschrift trägt dazu maßgebend bei, wobei eine Substitution des mittels Single-Si-Paneelen erzeugten PV-Stroms (höchster Wirkungsgrad) mit einem Braunkohlekraftwerk erzeugten Strom (höchste Umweltwirkungen je kWh) bilanziert wurde.

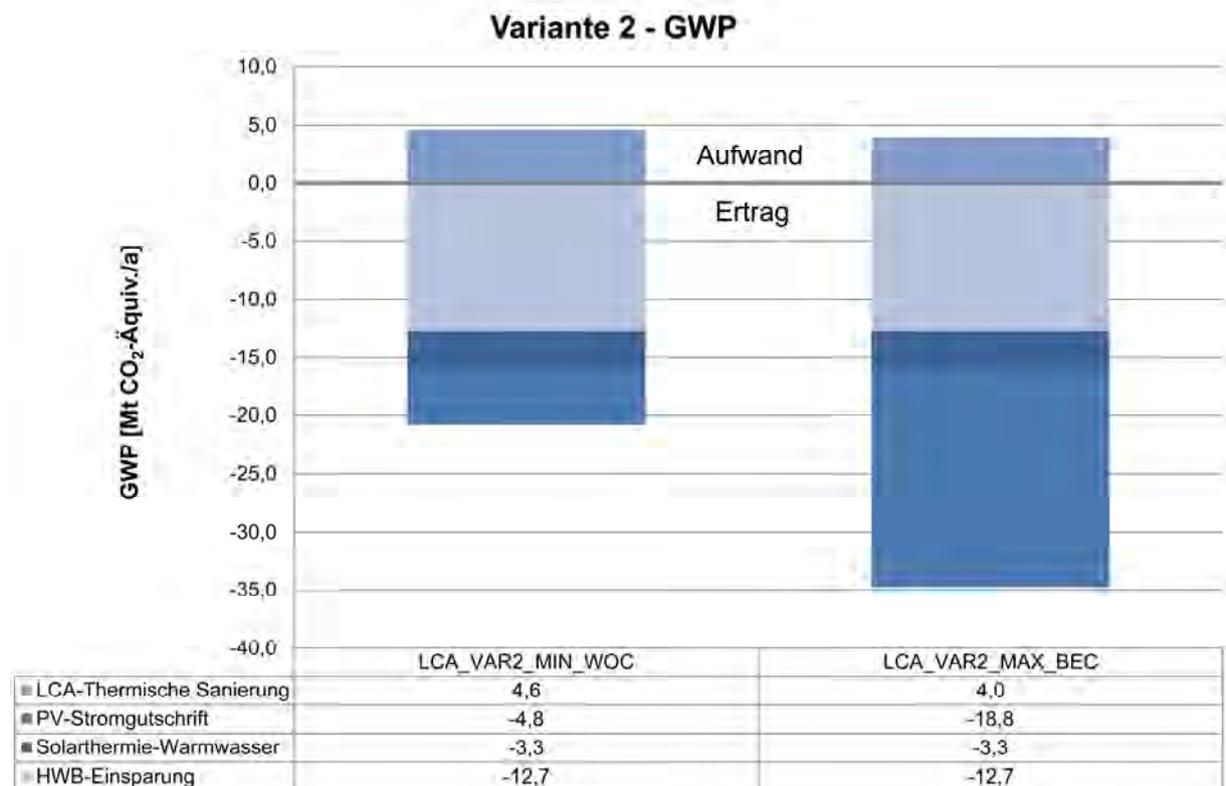


Abbildung 26 Einsparpotential – GWP - Variante 2 – Gesamter Gebäudebestand

5.8.8 Einsparpotential – CED n.r. - Variante 2

Das Einsparpotential hinsichtlich nicht erneuerbarer Energieträger ist in der Abbildung 27 für den Worst Case (-294 PJ/a) und Best Case (-515 PJ/a) ersichtlich. Das größte Einsparpotential ist für den Worst Case durch den reduzierten Heizwärme-Bedarf gegeben. Für den Best Case wird dies hingegen durch die PV-Stromgutschrift erreicht. Das Verhältnis Aufwand zu Ertrag beträgt für den Worst Case 1:3,5 und für den Best Case 1:6,8.

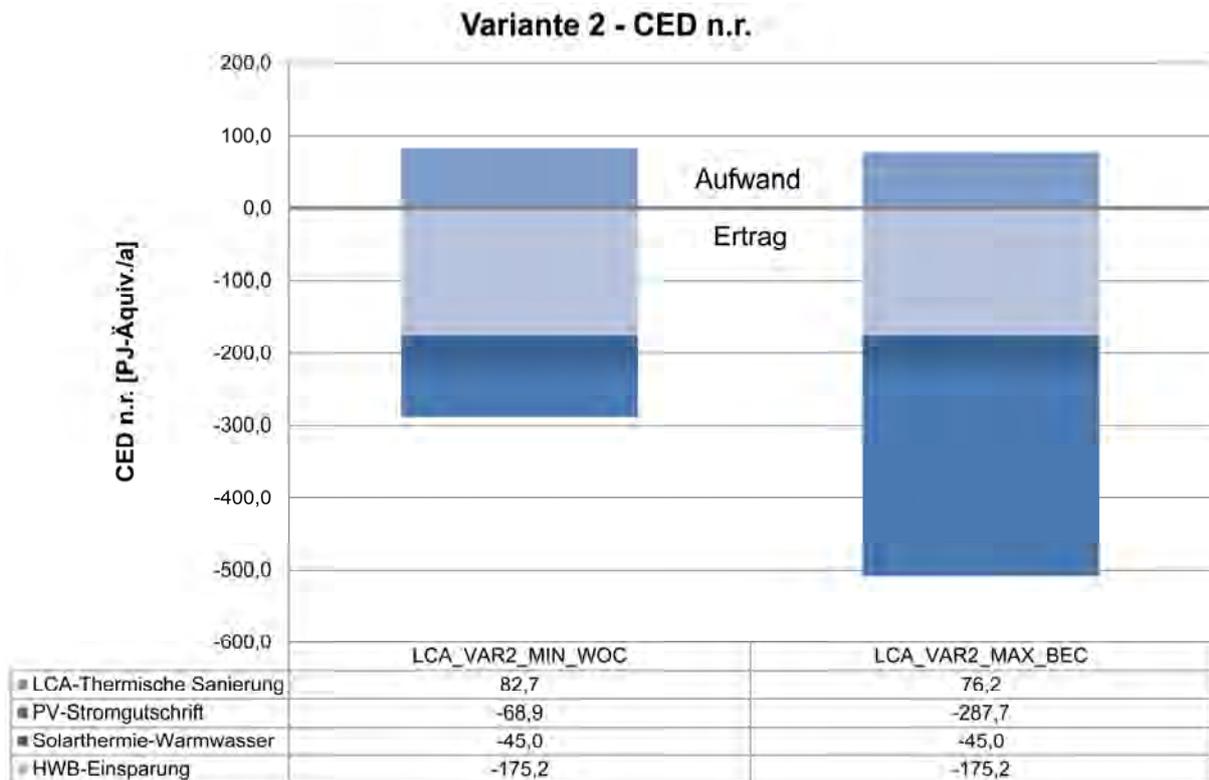


Abbildung 27 Einsparpotential – CED n.r.- Variante 2 – Gesamter Gebäudebestand

5.8.9 Einsparpotential – CED r. - Variante 2

Das Einsparpotential hinsichtlich erneuerbarer Energieträger ist in der Abbildung 28 für den Worst Case (-76 PJ/a) und den Best Case (-90 PJ/a) ersichtlich, wobei der Unterschied zwischen den beiden Varianten vergleichsweise gering ausfällt. Das größte Einsparpotential ist für den Worst Case und für den Best Case durch den reduzierten Heizwärme-Bedarf gegeben. Das Verhältnis von Aufwand zu Ertrag beträgt für den Worst Case 1:5,9 und für den Best Case 1:5,6. Das vergleichsweise schlechtere Aufwand-Ertrag-Verhältnis für den Best Case ist durch den vermehrten Einsatz von erneuerbaren Energieträgern (Holzwolledämmplatten etc.) bei der Gebäudesanierung begründet, was wiederum positiv zu werten ist.

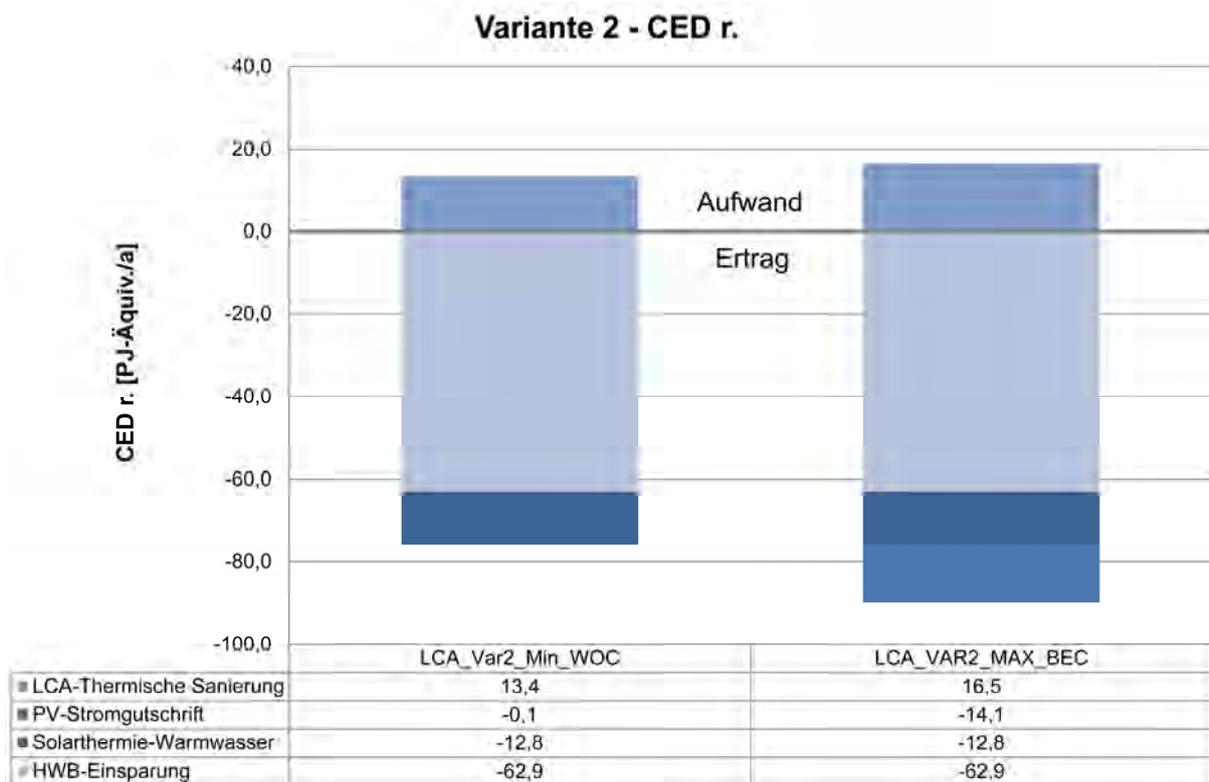


Abbildung 28 Einsparpotential – CED r.- Variante 2 – Gesamter Gebäudebestand

5.8.10 Abfallaufkommen - Variante 2

Die Sanierung des gesamten österreichischen Gebäudebestands auf Plusenergiehausstandard verursacht im Worst Case ein jährliches Abfallaufkommen von 3,2 Mio. t und für den Best Case ein deutlich geringeres Abfallaufkommen von 2,1 Mio. t (siehe Abbildung 29). Im Gegenzug wird durch die HWB-Einsparung, Solarthermie und PV-Stromerzeugung ein Abfallaufkommen von ca. 0,5 Mio. t für den Worst Case und für den Best Case von 0,7 Mio. t eingespart.

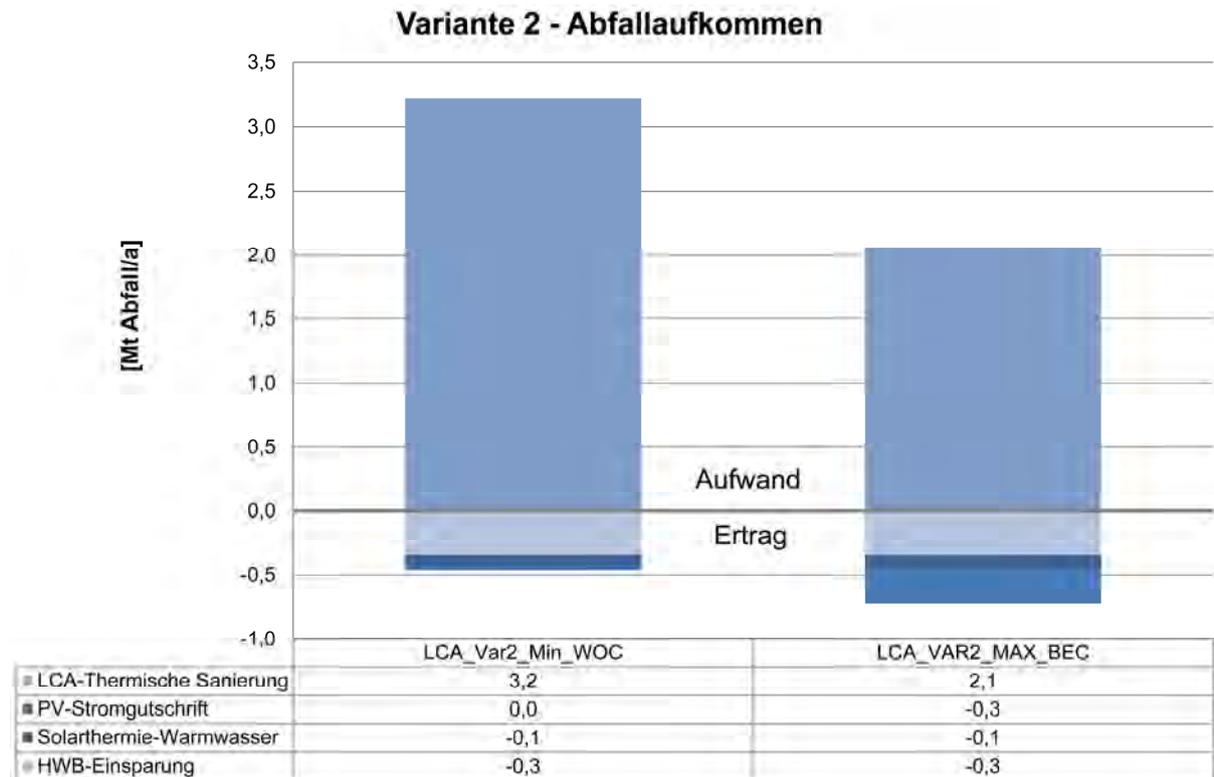


Abbildung 29 Einsparpotential – Abfallaufkommen - Variante 2 – Gesamter Gebäudebestand

5.8.11 Einsparpotential – Variante 3

Das Einsparpotential durch Gebäudesanierung auf Plusenergiehausstandard für den gesamten österreichischen Gebäudebestand – Variante 3 wird im nachfolgenden für die ausgewählten Indikatoren dargestellt.

5.8.12 Einsparpotential – GWP - Variante 3

In Abbildung 30 ist für den Indikator Treibhauspotential (GWP) eine Gegenüberstellung zwischen dem Worst- und Best Case der Variante 3 ersichtlich. Die stofflichen und energetischen Aufwendungen der Sanierung auf Plusenergiehausstandard (5,5 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr) stehen beim Vergleich mit den Erträgen in einem Verhältnis von 1 zu 3,3, also etwas schlechter wie für die Variante 2 (1:3,9). Grund ist die Bilanzierung ohne Wärmetransport zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden. Für den Best-Case bedeutet dies, dass durchschnittlich ca. 3,9 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr durch die Sanierung auf Plusenergiehausstandard aufgewendet werden müssen, um ca. 32,3 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr einsparen zu können (Aufwand-Ertrag-Verhältnis 1:8,3).

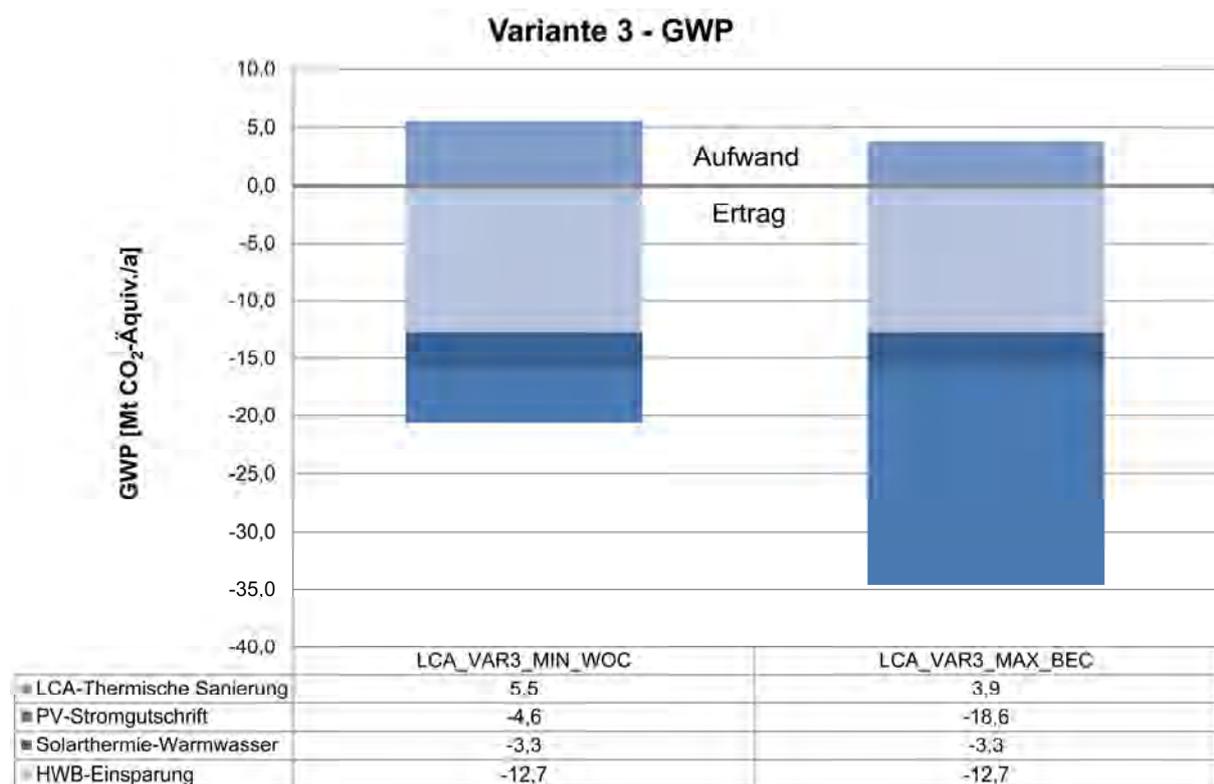


Abbildung 30 Einsparpotential – GWP - Variante 3 – Gesamter Gebäudebestand

5.8.13 Einsparpotential – CED n.r. - Variante 3

Durch die Sanierung des gesamten österreichischen Gebäudebestands auf Plusenergiehausstandard kann ein Einsparpotential bezogen auf den kumulierten Energieaufwand - nicht erneuerbarer Energieträger für den Worst Case von 292 PJ/a und für den Best Case 515 PJ/a erreicht werden (siehe Abbildung 31). Das größte Einsparpotential wird im Worst Case durch den reduzierten Heizwärme-Bedarf und im Best Case durch die PV-Stromgutschrift erreicht. Das Verhältnis Aufwand zu Ertrag beträgt für den Worst Case 1:3,0 und für den Best Case 1:6,9. Der Einfluss der unterschiedlichen Wirkungsgrade von PV-Anlagen (Single-SI- Paneele im Vergleich zu a-SI-Paneele) wird beim Vergleich der Kategorie „PV-Gutschriften“ deutlich.

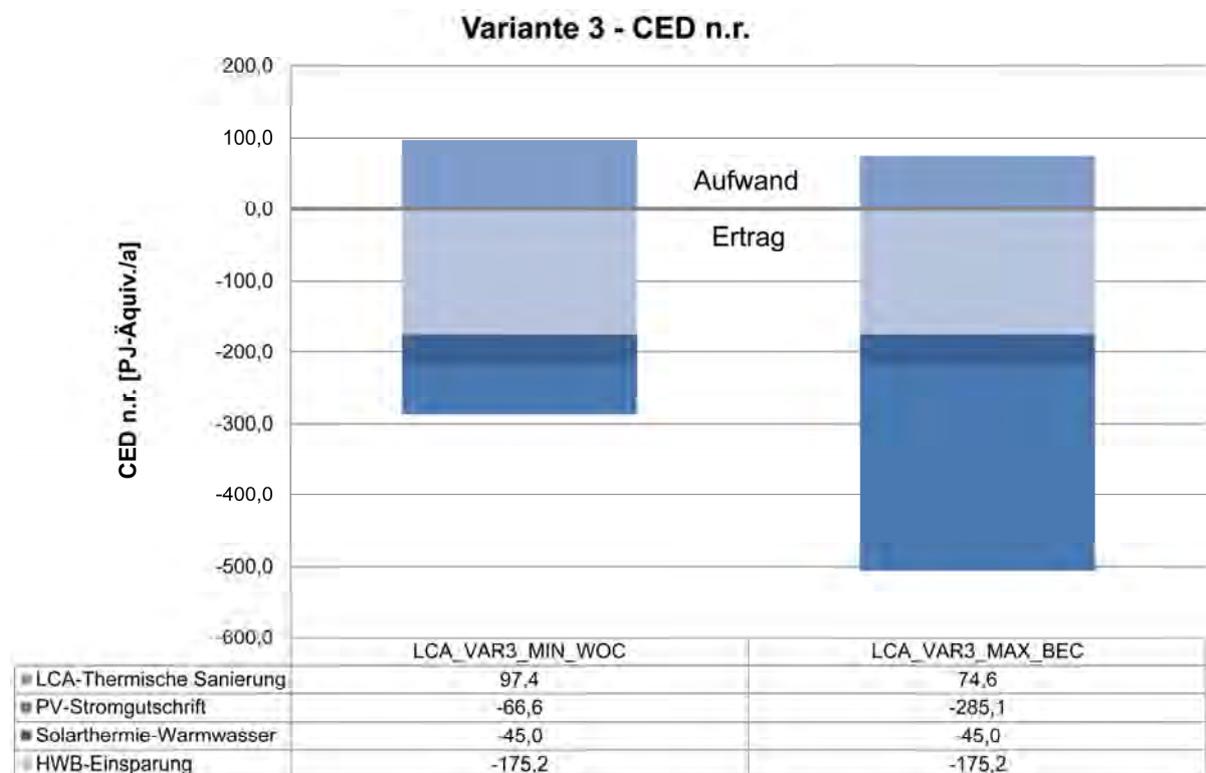


Abbildung 31 Einsparpotential – CED n.r.- Variante 3 – Gesamter Gebäudebestand

5.8.14 Einsparpotential – CED r. - Variante 3

In der Abbildung 32 ist das Einsparpotential hinsichtlich erneuerbarer Energieträger für den Worst Case (-76 PJ/a) und für den Best Case (-90 PJ/a) ersichtlich. Das größte Einsparpotential wird für beide Varianten durch den reduzierten Heizwärme-Bedarf erreicht. Das Verhältnis von Aufwand zu Ertrag beträgt für den Worst Case 1:4,8 und für den Best Case 1:5,6. Der Unterschied zu Variante 2 ergibt sich durch die unterschiedliche Bilanzierung des Transports von solarthermisch erzeugten Warmwasser zwischen Erzeuger und Verbraucher.

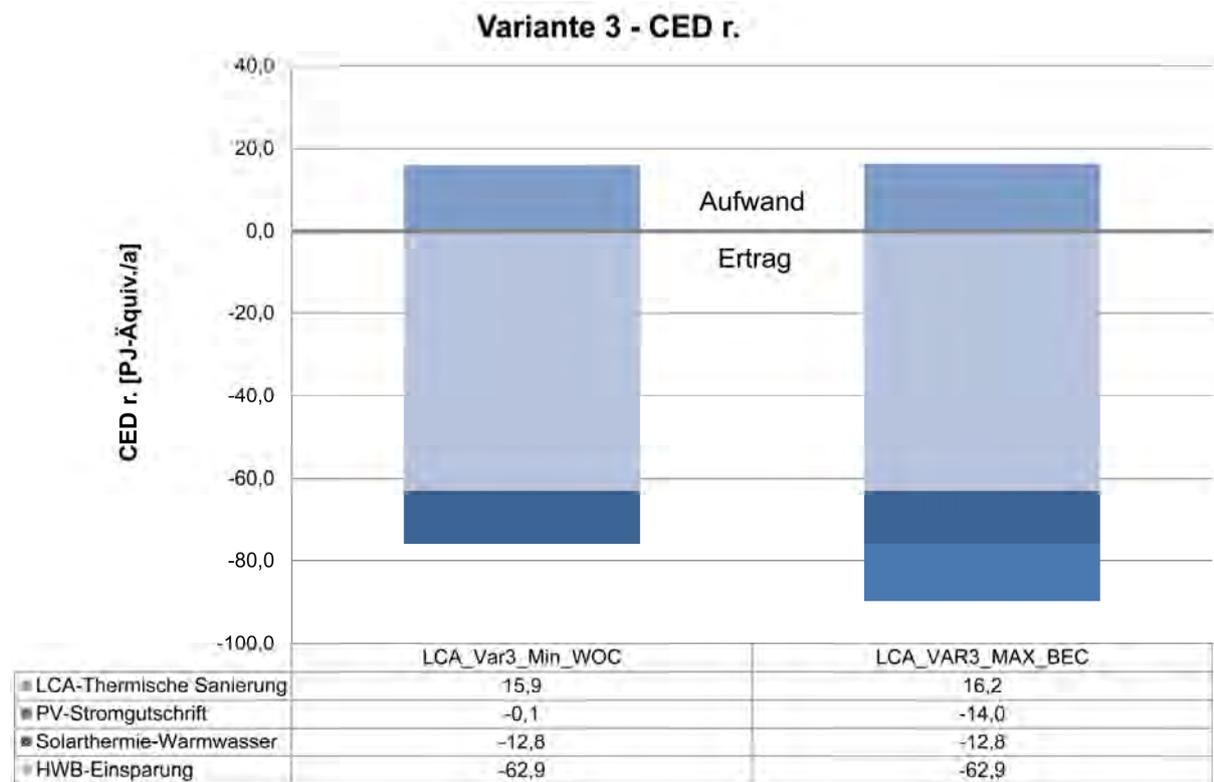


Abbildung 32 Einsparpotential – CED r.- Variante 3 – Gesamter Gebäudebestand

5.8.15 Abfallaufkommen - Variante 3

Die Sanierung des gesamten österreichischen Wohn- und Nichtwohngebäudebestands auf Plusenergiehausstandard verursacht im Worst Case ein jährliches Abfallaufkommen von 3,3 Mio. t und für den Best Case ein wesentlich geringeres Abfallaufkommen von 2,1 Mio. t (siehe Abbildung 33). Dafür werden durch die HWB-Einsparung, solarthermische Warmwassererzeugung und PV-Stromerzeugung ein Abfallaufkommen von ca. 0,5 Mio. t für den Worst Case und für den Best Case von 0,7 Mio. t verhindert.

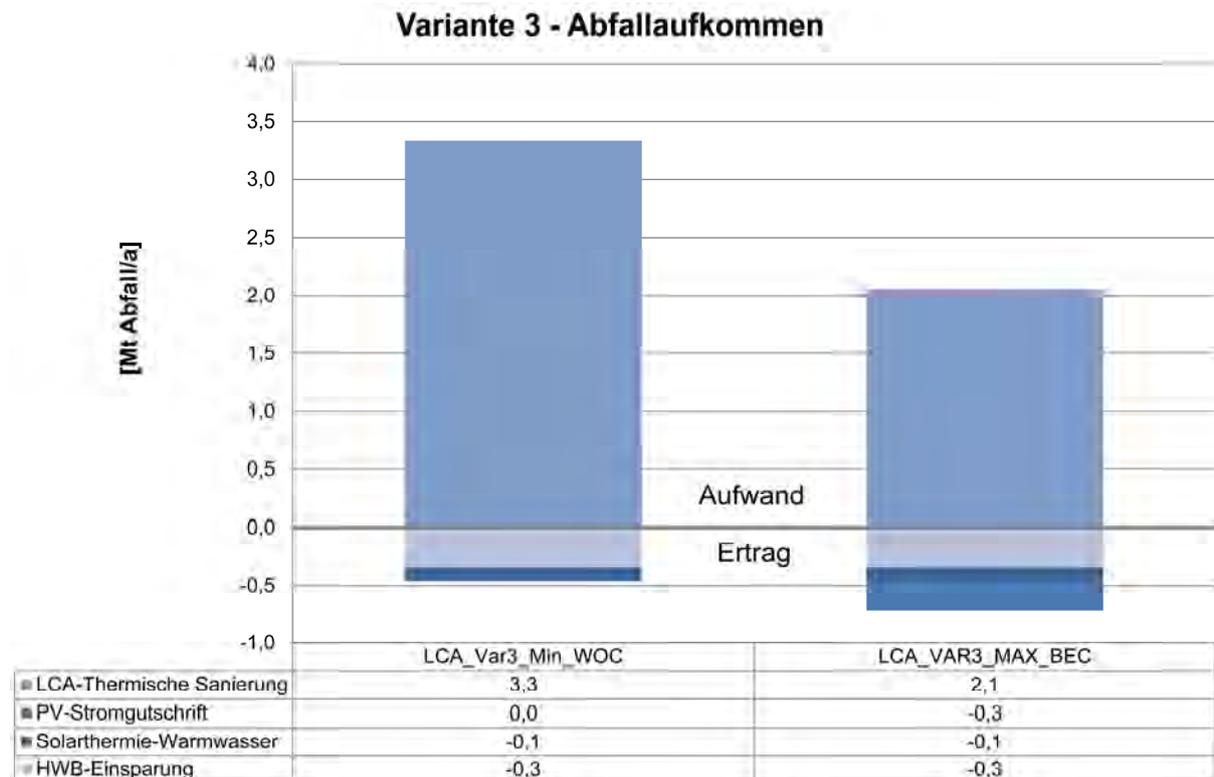


Abbildung 33 Einsparpotential – Abfallaufkommen - Variante 3 – Gesamter Gebäudebestand

5.8.16 Zusammenfassung – Einsparpotential

Die Ergebnisse verdeutlichen das enorme Einsparpotential an Energie und Treibhausgasen, aber unter Einbezug mit dem damit verbundenen Abfallaufkommen. Die Gegenüberstellung der Best- und Worst-Case-Szenarien zeigt, dass bei den Indikatoren „Treibhauspotential (GWP)“ und „kumulierten Energieaufwand (CED)“ die Einsparungen durch einen reduzierten Heizwärmebedarf (HWB) sowie durch die Substitution von Stromerzeugern mit nicht erneuerbaren Energieträgern durch PV-erzeugten Strom die dominanten Einflussfaktoren sind. Die Einsparungen an Treibhausgasen beträgt beim Best-Case ca. 31,4 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr und beim Worst-Case immerhin noch ca. 15,4 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr. Beim Indikator „Abfallaufkommen“ werden die Unterschiede hinsichtlich der Lösbarkeit und Trennbarkeit der zusammengefügteten Bauteilschichten ersichtlich, wodurch aufgezeigt wird, dass eine rein energielastige Betrachtungsweise für eine nachhaltige Entwicklung im Bauwesen zu wenig ist. Trotzdem wird deutlich, dass sogar im Worst Case

ein positives Aufwand-Ertragsverhältnis bezogen auf die Indikatoren „kumulierter Energieaufwand (CED)“ und „Treibhauspotential GWP“ erreicht wird.

5.9 Auswertung – Potentialanalyse bzgl. Restbedarfs

In diesem Kapitel erfolgt eine Auswertung hinsichtlich des verbliebenen Energieverbrauchs nach der Gebäudessanierung auf Plusenergiehausstandard, ob die angestrebten Ziele hinsichtlich eines CO₂-neutralen Gebäudebestands und Plusenergie erreicht werden können. Der österreichische Stromverbrauch im Jahr 2006 betrug lt. E-Control (Energie-Control, 2009) ca. 62 TWh/a (Endverbrauch). Eine Übersicht der unterschiedlichen Stromnachfrager ist in Abbildung 34 ersichtlich.

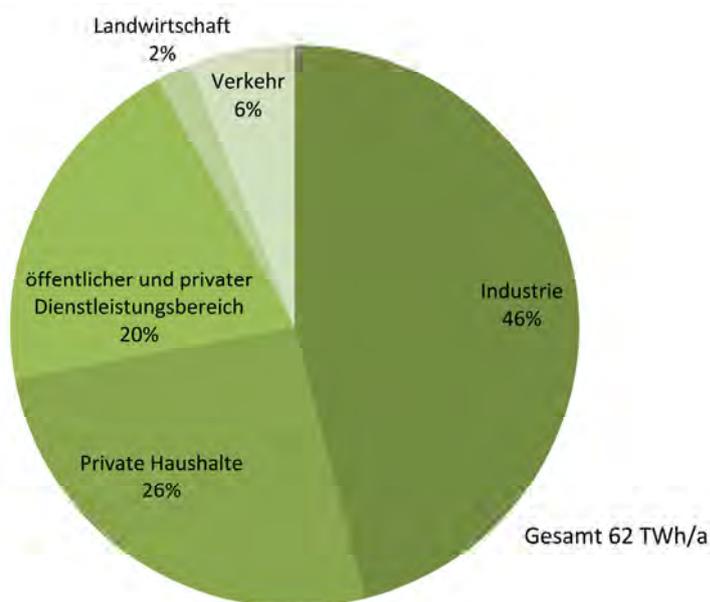


Abbildung 34 Strombedarf – Österreich 2006

Für die Variantenberechnung wurden die in Tabelle 14 variantenabhängigen Stromverbrauchs-Kennzahlen zugrunde gelegt.

Tabelle 14 Variantenabhängige Stromverbrauchs-Kennzahlen

	Energiebedarf - Endverbrauch [TWh/a]		
	AT - 2006	Variante 1	Variante 2 & 3
Private Haushalte	16,1	16,1	16,1
Öffentliche Gebäude	12,4	-	12,4
Landwirtschaft	1,2	-	1,2
Industrie	28,5	-	-
Verkehr	3,7	-	-
Gesamt	62,0	16,1	29,7

In der Tabelle 15 wurde der jeweilige Gesamt-Energiebedarf mit den maximal bzw. minimal erzeugbaren PV-Strom gegenübergestellt und der restliche Strombedarf ausgewiesen, der noch mit dem österreichischen Strommix abzudecken ist. Durch diese Vorgangsweise war keine weitere Berücksichtigung des erzeugten PV-Stroms hinsichtlich einer Änderung des österreichischen Strommixs notwendig.

Tabelle 15 Variantenabhängige Verteilung bzgl. PV-Strom und österreichischer Strommix (Rest)

	Energiebedarf - Endverbrauch [TWh/a]		
	Gesamt	PV-Strom	Rest
Variante 1 - Max	16,1	7,0	9,1
Variante 1 - Min	16,1	1,1	15,0
Variante 2 & 3 - Max	29,7	17,9	11,8
Variante 2 & 3 - Min	29,7	7,8	21,9

5.9.1 Ökobilanz – Variante 1 nach Sanierung - Wohngebäudebestand

In der Abbildung 35 sind die Ergebnisse für die Indikatoren „Treibhauspotential - GWP“ und kumulierten Energieaufwand (CED n.r. – nicht erneuerbar und CED r. – erneuerbar) dargestellt. Für die Variante 1 (nur Wohngebäudebestand) ist erkennbar, dass trotz einer Sanierung auf Plusenergiehausstandard ein CO₂-Ausstoss zwischen 7,6 Mio. t und 11,0 Mio. t CO₂-Äquivalente übrig bleibt, d.h. der angestrebte CO₂-neutrale Gebäudebestand ist nicht erreichbar. Ebenso wird bei Betrachtung des kumulierten Energieaufwands (CED n.r. und CED r.) deutlich, dass trotz einer umfassenden Sanierung des Wohngebäudebestands auf Plusenergiehausstandard keine Plusenergie erreicht wird. Es sind folglich noch weitere Energieeffizienzmaßnahmen (PV-Paneele mit höheren Wirkungsgrad, tageslichtgesteuerte LED-Beleuchtung, energieeffiziente Geräte etc.) sowie ein Energieträgerwechsel auf CO₂-neutrale Energieträger (Wind- und Wasserkraft, Biomasse) notwendig, um diesem Ziel näher zu kommen.

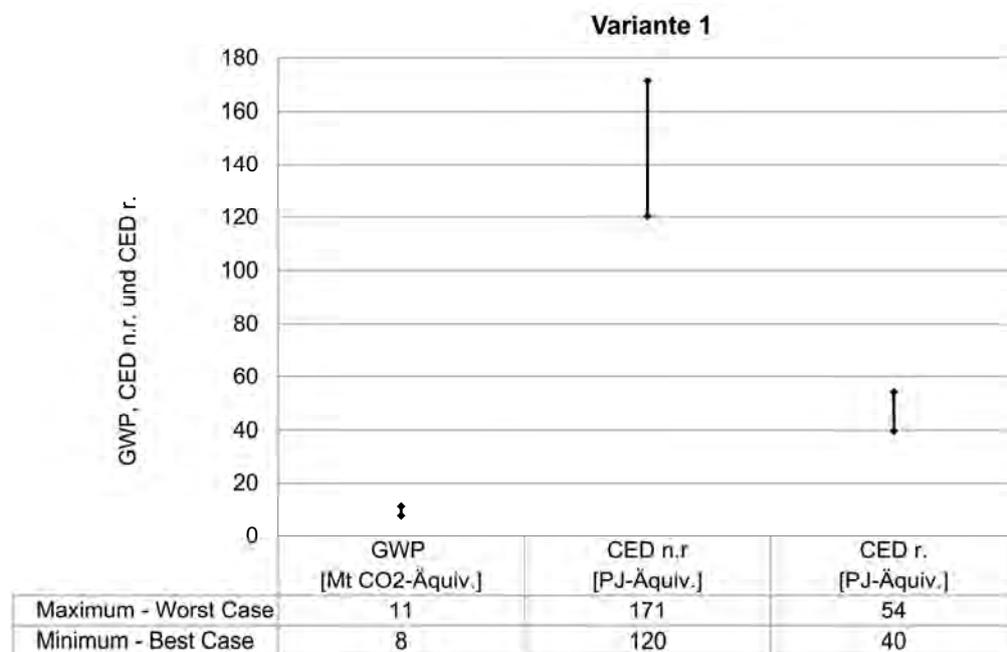


Abbildung 35 CO₂-Ausstoss und Energiebedarf nach Sanierung - Variante 1

5.9.2 Ökobilanz – Variante 2 nach Sanierung – Gesamter Gebäudebestand

Für die Variante 2 wurde der jährliche CO₂-Austoss und Energiebedarf des gesamten österreichischen Gebäudebestands nach einer Sanierung auf Plusenergiehausstandard berechnet. Ein CO₂-neutraler Gebäudebestand bzw. ein Energieüberschuss wird durch die Sanierung auf Plusenergiehausstandard nicht erreicht (siehe Abbildung 36). Es verbleibt im Best Case ein CO₂-Austoss von 13,3 Mio. t und im Worst Case 18,3 Mio. t CO₂-Äquivalente. Ein kumulierter Energieaufwand an nicht erneuerbaren Energieträgern wird zwischen 211 und 283 PJ/a und bezogen auf erneuerbare Energieträger zwischen 62 und 83 PJ/a benötigt. Die Variante 2 schneidet aufgrund des bilanzierten Wärmetransports des solarthermisch erzeugten Warmwassers zwischen Wohn- und Nichtwohngebäude besser als die Variante 3 ab.

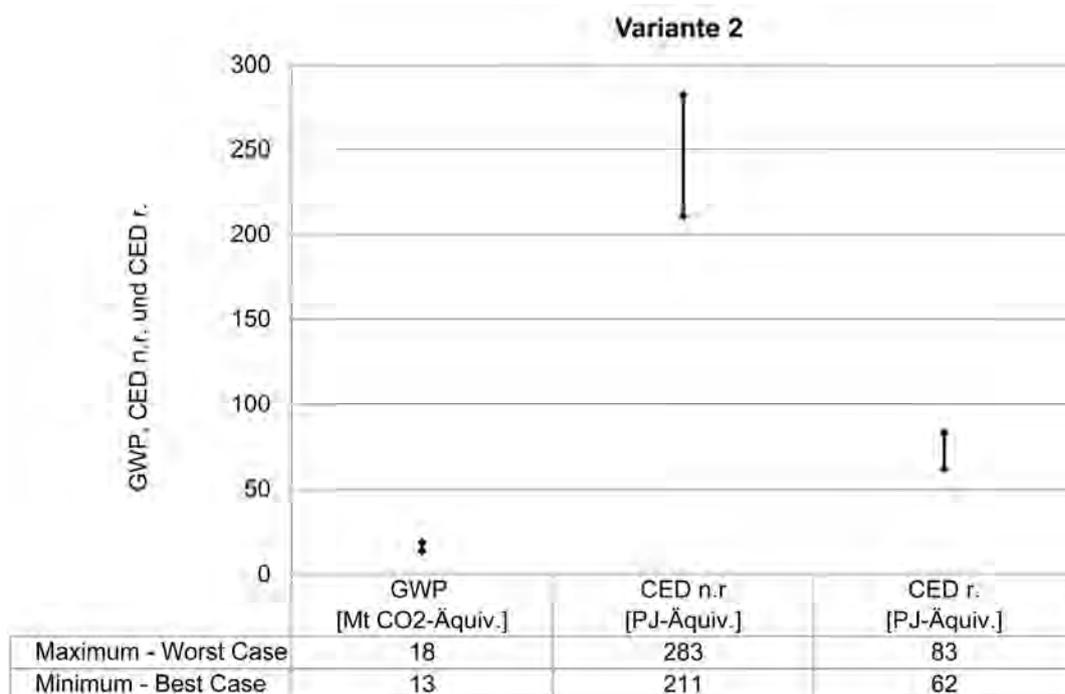


Abbildung 36 CO₂-Ausstoss und Energiebedarf nach Sanierung -Variante 2

5.9.3 Ökobilanz – Variante 3 nach Sanierung – Gesamter Gebäudebestand

Für die Variante 3 wurde ein jährlicher CO₂-Ausstoss im Best Case von 13,2 Mio. t. und im Worst Case 19,3 Mio. t. CO₂-Äquivalente ermittelt (siehe Abbildung 37). Trotz einer Sanierung des gesamten österreichischen Gebäudebestands auf Plusenergiehausstandard werden noch ein kumulierter Energieaufwand an nicht erneuerbaren Energieträgern zwischen 210 und 299 PJ/a und ein kumulierter Energieaufwand an erneuerbaren Energieträgern zwischen 62 und 86 PJ/a benötigt.

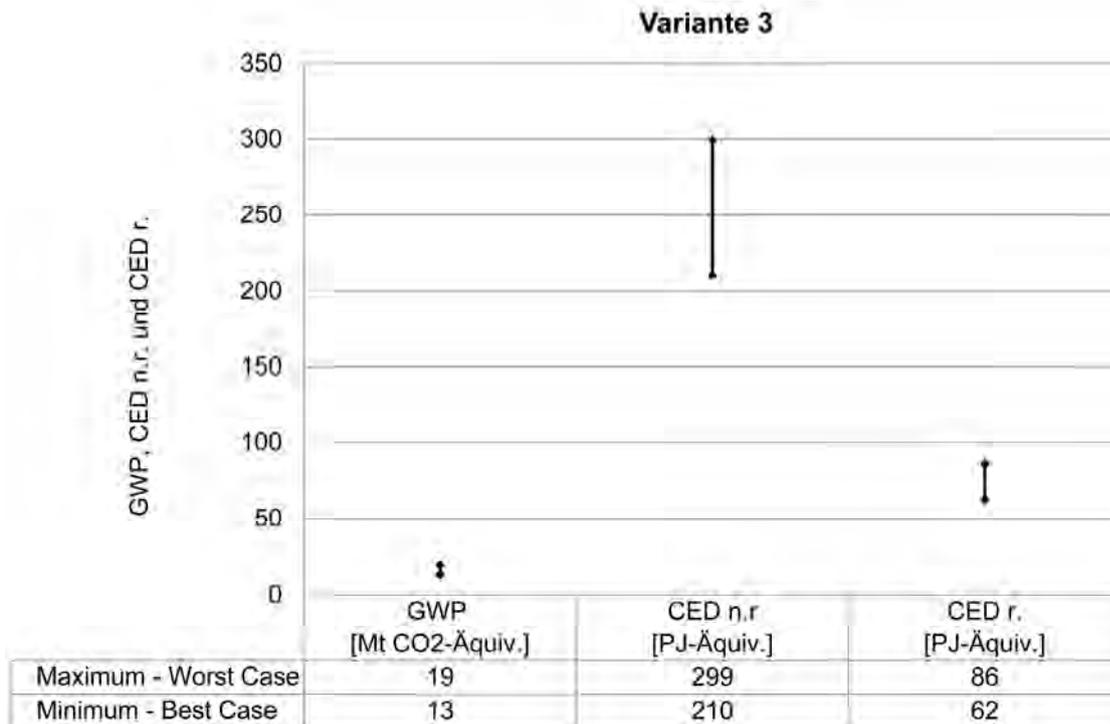


Abbildung 37 CO₂-Ausstoss und Energiebedarf nach Sanierung - Variante 3

5.9.4 Zusammenfassung – Potentialanalyse bzgl. Restbedarf

Die Ergebnisse zeigen, dass im Fall einer umfassenden Sanierung des österreichischen Gebäudebestands auf Plusenergiehausstandard weder ein CO₂-neutraler Gebäudebestand noch Plusenergie erreicht wird. Um dieses Ziel zu erreichen, sind weitere Einsparungen beim Verbrauch (LED-Beleuchtung, energieeffiziente Geräte etc.), eine Erhöhung der Energieeffizienz (höherer Wirkungsgrad der PV-Anlage etc.) sowie ein Energieträgerwechsel auf andere erneuerbare Energieträger (Wind-, und Wasserkraft, Biomasse etc.) erforderlich.

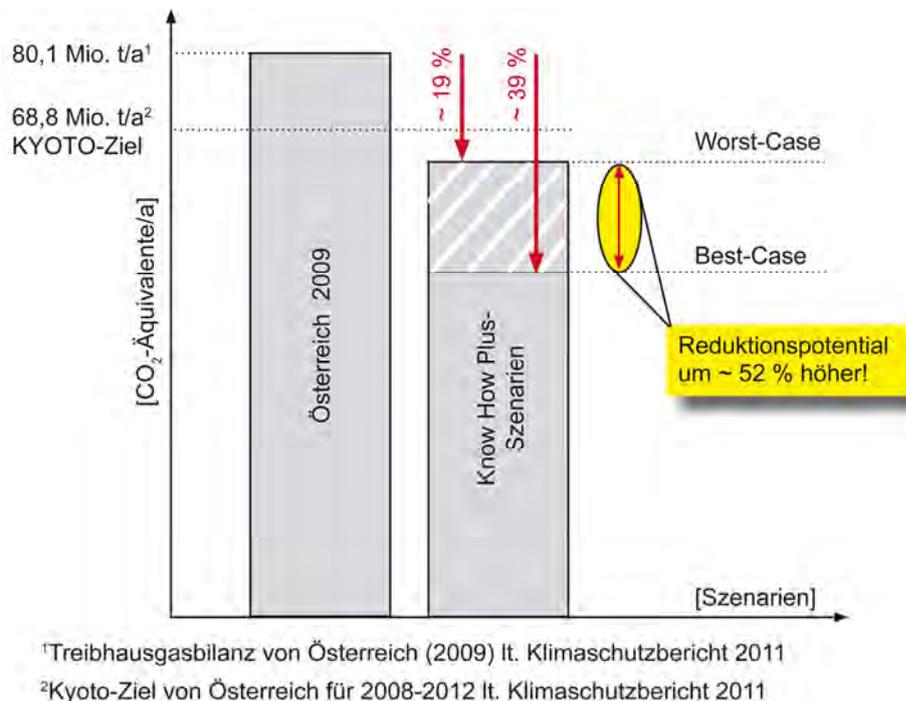


Abbildung 38 Ergebnisse der Potentialanalyse – Darstellung des Reduktionspotentials von Treibhausgasemissionen bei einer Sanierung des gesamtösterreichischen Gebäudebestandes auf Plusenergiehausstandard.

In Abbildung 38 ist das Reduktionspotential an Treibhausgasemissionen durch eine Sanierung des gesamtösterreichischen Gebäudebestandes (Wohn- und Nichtwohngebäude) auf Plusenergiehausstandard im Vergleich zum Status Quo von 80,1 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent laut Klimaschutzbericht 2011 (Schneider, et al., 2011) dargestellt. Im günstigsten Fall (Best-Case Szenario) kann durch die Sanierung des gesamten österreichischen Gebäudebestands auf Plusenergiehausstandard der Ausstoß an Treibhausgasen in Österreich um etwa 39 % gesenkt werden. Im ungünstigsten Fall (Worst-Case Szenario) beträgt die Reduktion immerhin etwa 19 % (siehe Abbildung 38). Das Kyoto-Ziel von Österreich für die Verpflichtungsperiode 2008 bis 2012 (Ø 68,8 Mio. t. CO₂-Äquivalente pro Jahr) wird in beiden Fällen erreicht bzw. sogar deutlich unterschritten.

Das Ergebnis zeigt jedenfalls, dass der Einsatz von Sanierungstechnologien und Baukonstruktionen mit geringen Umweltauswirkungen und hohen Wirkungsgraden von Photovoltaikanlagen zu einer um etwa 52 % größeren Reduktion von

Treibhausgasemissionen führt, wodurch aufgezeigt wird, dass auch bautechnische Aspekte unter Einbezug des Lebenszyklus unbedingt einzubeziehen sind.

5.10 Relevanz der Kreislaufwirtschaft

In der Abbildung 39 sind für alle drei Varianten jeweils der Worst und der Best Case, einschließlich einer Untergliederung nach Art der Abfallverwertung bzw. Entsorgung dargestellt. In Sinne einer nachhaltigen Entwicklung ist es notwendig, eine Sanierung des österreichischen Gebäudebestands auf Plusenergiehausstandard neben minimalen stofflichen und energetischen Aufwendungen auch mit einem geringen Abfallaufkommen und einer hohen Kreislauffähigkeit der anfallenden Baurestmassen durchzuführen. Beim Vergleich zwischen den Worst Case und Best Case der jeweiligen Variante wird deutlich, welchen Einfluss die konstruktive Durchbildung auf das künftige Abfallaufkommen und dessen Kreislauffähigkeit hat. Vorteilhaft sind leicht trennbare Bauteilschichten, die in weiterer Folge durch ihre hohe Sortenreinheit eine deutlich höhere Recyclingquote bzw. einen niedrigen Deponie-Anteil aufweisen.

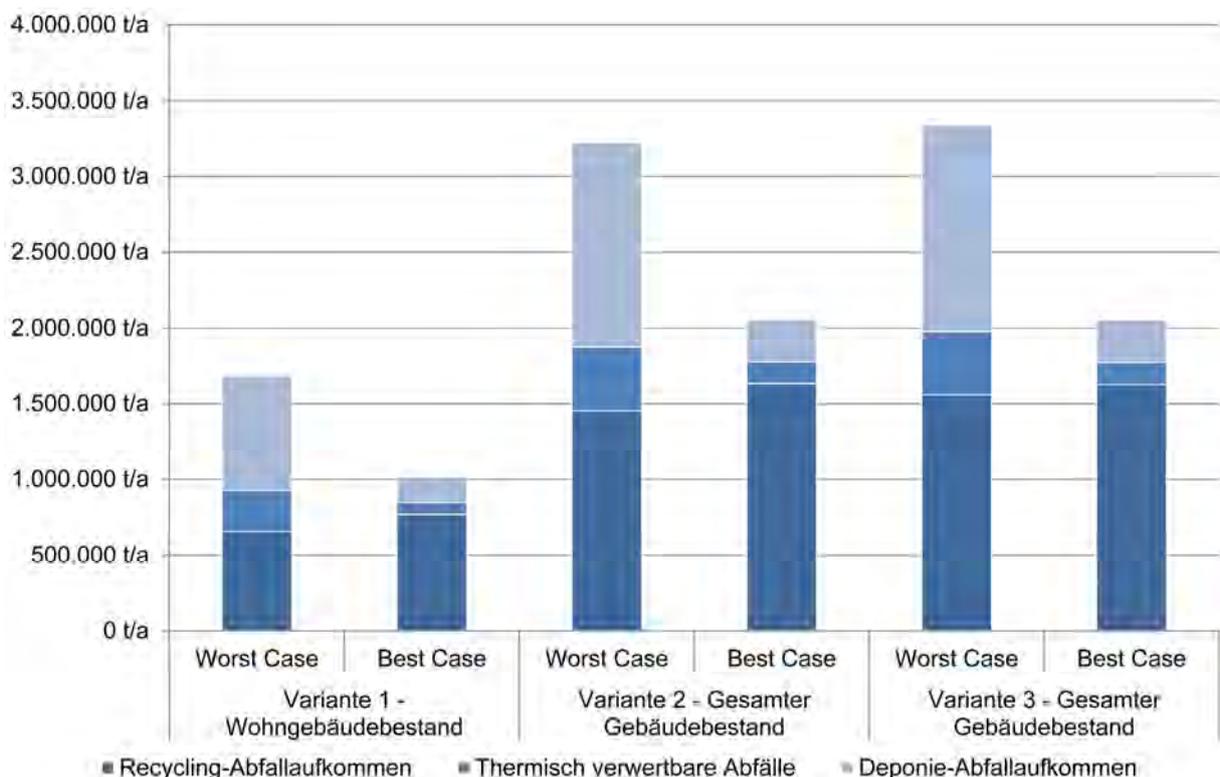


Abbildung 39 Übersicht über Abfallaufkommen je Variante

Die Bedeutung des Einsatzes von kreislaufgerechten Bauprodukten und Sanierungstechnologien wird damit auf wissenschaftlicher Basis nachgewiesen. Es ist für eine nachhaltige Plusenergiehaussanierung sehr wohl von Bedeutung, ob der „klassische Vollwärmeschutz aufgeklebt“ wird, oder ob eine Auswahl an kreislauffähigen Bauprodukten

und zerlegbare, demontierbare und wartungsfreundliche Konstruktionen für die Sanierung der thermischen Gebäudehülle verwendet werden.

Eine nachhaltige Sanierung auf Plusenergiehausstandard muss somit über eine rein energetische Bilanzierung hinausgehen und auch die Stoffströme über den gesamten Lebenszyklus in der Bewertung berücksichtigen. Es muss folglich, neben der Maximierung der thermisch-energetischen Gebäudequalität und der erzeugten Energie aus Solarthermie und Photovoltaik vor Ort, auch auf die konstruktive Durchbildung auf Bauteilebene, die Fügetechnik und die Bauproduktauswahl eingegangen werden.

6 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

6.1 Einpassung in das Programm

Das vorliegende Projekt wurde der Kategorie „Lebenszyklus-Bewertungskonzepte für Gebäude und Gebäudekomponenten“ der Aktionslinie 3.4 Strategien, Vernetzung und Ausbildung zugeordnet, da als Grundlage für den angestrebten baukonstruktionsorientierten Leitfaden Lebenszyklusbewertungen mittels eines auf Plusenergiehausstandard abgestimmten Bewertungsraster für ca. 180 Details durchgeführt wurden, um Rückschlüsse auf die wesentlichen Ansatzpunkte hinsichtlich interdisziplinärer Schnittstellen sowie signifikanter Einflussfaktoren der Nutzungs- und Entsorgungsphase ziehen zu können.

6.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Erhöhung der **Wettbewerbsfähigkeit** durch:

- Forcierung von Kooperationen zwischen Wissenschaft und Praxis zur Lebenszyklusbewertung von Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard;
- Ausbau der Kompetenz und Exzellenz im Forschungsbereich „Nachhaltiges Bauen“ zur Erhöhung der energetischen und stofflichen Ressourceneffizienz (Stichwort: Faktor 10) durch interdisziplinäre Innovationssprünge im Bereich energetischer und qualitativer Gebäudesanierung;
- Schaffung der technologischen Basis für das Plusenergiehaus durch umfassende Lebenszyklusbewertungen von Sanierungstechnologien und Zusammenfassung der Projektergebnisse in Form eines baukonstruktionsorientierten Leitfadens.

Gesellschaftliches Anliegen:

- Erhöhung der Ressourcen- und Energieeffizienz durch Aufzeigen interdisziplinärer Schnittstellen sowie wichtiger Einflussfaktoren aus der Nutzungs- und Entsorgungsphase in Form eines Leitfadens in Abhängigkeit von der Bauweise und Bauepoche führt zur Reduktion klimarelevanter Emissionen sowie des grauen

Energiebedarfs aufgrund der Planung und Errichtung von Konstruktionen mit geringst möglichem Aufwand an Sanierung, Instandhaltung und Entsorgung;

- Verbesserung des Wissens über energieeffiziente, kreislauffähige und instandhaltungsfreundliche Systemlösungen führt zu einer Erhöhung der inländischen Wertschöpfung.

Die Ergebnisse (Potentialanalyse) des vorliegenden Forschungsprojekts sind außerdem für die im „Haus der Zukunft Plus“-Leitfaden erwähnten energiestrategischen, systembezogenen sowie technologiestrategischen Ziele des Klima- und Energiefonds relevant.

6.3 Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt

Die Projekt-Ergebnisse wurden so aufbereitet, dass die wesentlichen Informationen für alle Baubeteiligten die Informationen in übersichtlicher und leicht verständlicher Form vorliegen.

- Für die **politischen Entscheidungsträger** und Bauherrn sind die Ergebnisse der Potentialanalyse von Bedeutung, da hier klar die Sinnhaftigkeit von Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard hervorgeht. Außerdem wurde die Relevanz von instandhaltungsfreundlichen und kreislauffähigen Aufbauten hinsichtlich der Reduzierung des Abfallaufkommens, einschließlich einer hohen Kreislauffähigkeit aufgezeigt. Diese Projekt-Ergebnisse können als Entscheidungsgrundlage für die Vergabe von Fördermittel unter den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit herangezogen werden.
- Der entwickelte baukonstruktionsorientierte Leitfaden beinhaltet für **alle Baubeteiligten** die wichtigsten Informationen zur Umsetzung einer nachhaltigen Gebäudesanierung auf Plusenergiehausstandard auf Bauteil-Ebene und kann als erster Anhaltspunkt für die Auswahl und Entwicklung von konkreten Planungslösungen genutzt werden.

6.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potentiale für die Projektergebnisse

Die Entwicklungen auf europäischer Normungsebene (CEN/TC 350 Sustainability of Construction Works) zeigen auf, dass künftig Planung und Ausführung von Bauwerken, von Gebäuden über Industrie bis zu Infrastrukturbauten, ganzheitlich, also in ökologischer, ökonomischer und soziokultureller Hinsicht über den Lebenszyklus zu optimieren sind. Der Lebenszyklusgedanke spiegelt sich auch in der Lead Market Initiative „Sustainable Construction“ oder der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft (ÖGNI) wider, wo Nachhaltigkeitsaspekte unter Einbezug des gesamten Lebensweges zur Gebäudezertifizierung herangezogen werden. Folglich schneiden jene Systemlösungen am besten ab, die einen minimalen Errichtungs-, Instandhaltungs- und Entsorgungsaufwand

benötigen und gleichzeitig den maximalen Nutzen langfristig gewährleisten. Durch die Anwendung eines baukonstruktionsorientierten Leitfadens können Planer und Systementwickler rechtzeitig auf diese Tendenzen Rücksicht nehmen und so ihr Handeln darauf ausrichten, um ein maximales Wettbewerbsvorteil zu erringen.

Spätestens mit der neuen Bauproduktenverordnung, die eine Erweiterung der wesentlichen Anforderungen an Bauprodukte um die siebente Grundanforderung „Nachhaltige Nutzung von natürlichen Ressourcen“ (Anmerkung: Entwurf, Errichtung und Abriss von Bauwerken müssen eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen gewährleisten, wobei speziell auf die Kreislauffähigkeit, Dauerhaftigkeit und Verwendung umweltfreundlicher Rohstoffe und Sekundärbaustoffe hingewiesen wird) vorsieht, werden Planer, Bauproduktenerzeuger und Systementwickler künftig nicht mehr ohne den Einbezug von Nachhaltigkeitsaspekten auskommen.

7 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

7.1 Was sind die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse für das Projektteam?

Die Erarbeitung des baukonstruktionsorientierten Leitfadens forcierte den Wissenstransfer zwischen den beiden Projektpartnern. Die AEE Intec trug wesentlich zur Entwicklung der untersuchten Aufbauten, einschließlich des bauphysikalischen Nachweises bei. Ebenso waren die praktischen Erfahrungen der AEE Intec für die Beschreibung der Möglichkeiten und Grenzen von Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard für den Wissenstransfer wertvoll. Die AEE Intec profitierte im Gegenzug von den Ergebnissen Lebenszyklusbewertungen (LCA) und der durchgeführten Potentialanalyse, welche von der TU Graz erarbeitet wurde. Besonders die Gegenüberstellung des Einsparpotentials von Treibhausgasen mit dem Kyoto-Ziel zeigt auf, dass die Anstrengungen zur Erreichung der gesteckten Ziele deutlich gesteigert werden müssen. Außerdem wurde ersichtlich, dass durch Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard neben der Betrachtung von Treibhausgas-, und Energiebilanzen auch das Abfallaufkommen (im Besonderen der Deponieanteil) unbedingt berücksichtigt werden sollte. Die konstruktive Durchbildung ist im Hinblick auf die Kreislauffähigkeit (Lösbarkeit, Trennbarkeit) eines Aufbaus von zentraler Bedeutung. Dies konnte auch mit den Projektergebnissen verdeutlicht werden.

7.2 Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?

Die Projektergebnisse werden als Grundlage für die Erstellung von zwei Dissertationen herangezogen. Die Dissertationsvorhaben werden am Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie der TU Graz von folgenden Personen bearbeitet.

- Danilo Schulter - Arbeitstitel: „Nachhaltige Gebäudesanierung durch lebenszyklusorientierte Bauproduktauswahl“
- Guido Cresnik – Arbeitstitel: „Nachhaltige Gebäudesanierung durch kreislauforientierte Baukonstruktionen“

Des Weiteren werden die Ergebnisse in die Lehrveranstaltungen des Instituts hinsichtlich Nachhaltiges Bauen zur Verfügung gestellt, wodurch eine weite Verbreitung des Know Hows über Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard erreicht werden soll. Zusätzlich sind aufgrund der Vielzahl an interessanten Projektergebnissen weitere Veröffentlichungen, auch in internationale Publikationen sowie Präsentationen geplant.

7.3 Für welche anderen Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?

Die aufbereiteten Projektergebnisse in Form eines baukonstruktionsorientierten Leitfadens mit Schwerpunkt Plusenergiehaustechnologie können beginnend vom Bauproduktenerzeuger über Systementwickler, Planer, Facility Manager bis hin zu den Entscheidungsträgern als wertvoller Ratgeber bei Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard genutzt werden. Es wird aufgezeigt, wie wichtige Aspekte aus der Nutzungs- und Entsorgungsphase in der Planung berücksichtigt werden sollten und welche positiven Effekte durch eine Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und durch kreislauffähige Konstruktionen erreicht werden könnten.

Die Projektergebnisse können neben den bereits erwähnten Zielgruppen (Anmerkung: baukonstruktionsorientierter Leitfaden für Planer, Bauproduktenerzeuger und Systementwickler) für künftige „Haus der Zukunft Plus“-Forschungsprojekte zur Weiterentwicklung bestehender Bewertungsansätze (z.B. TQ, OI3, klima:aktiv-haus) herangezogen werden, sowie in universitäre Forschung und Lehre einfließen.

Das enorme Einsparpotential durch Sanierung des österreichischen Gebäudebestands auf Plusenergiehausstandard, einschließlich des Einbezugs aller relevanten Möglichkeiten und Grenzen wird mit den vorliegenden Projektergebnissen aufgezeigt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte aufgrund der vielen Einflussfaktoren in Bandbreiten, wobei eine zusätzliche Unterteilung in Worst- und Best-Case-Szenarien durchgeführt wurde.

8 Ausblick und Empfehlungen

8.1 Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Die Ergebnisse der Potentialanalyse zeigen den Handlungsbedarf hinsichtlich der Entwicklung und Forcierung von Instandhaltungsfreundlichen und kreislauffähigen Aufbauten mit minimalen Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus sowie von PV-Anlagen mit hohem Wirkungsgrad auf.

Weiters können die Informationen des baukonstruktionsorientierten Leitfadens hinsichtlich der derzeitigen Grenzen von Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard genutzt werden, um daraus Ansatzpunkte für die Entwicklung von innovativen Produkt- und Systemlösungen unter den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit ableiten zu können. Schwerpunkt sollte hier auf die Lösbarkeit und Trennbarkeit der zusammengefügt Bauteilschichten gelegt werden, um einerseits einen geringen Instandhaltungsaufwand sowie einen hohen Anteil an sortenreinen Baurestmassen sicherzustellen. Dadurch soll einerseits die Energie- und Ressourceneffizienz von thermischen Gebäudesanierungen erhöht und andererseits das Abfallaufkommen im Allgemeinen und der zu deponierende Abfall im Besonderen minimal gehalten werden.

Der entwickelte Bewertungsraster für die Lebenszyklusbewertung der Aufbauten kann beispielsweise als Entscheidungsgrundlage konkrete Systemlösungen verwendet werden, um einen möglichen Verbesserungsbedarf hinsichtlich Kreislauffähigkeit, problemloser Instandhaltung und Ressourcen- und Energieeffizienz erkennen zu können.

Die Entwicklungen auf europäischer Normungsebene (CEN/TC 350 Sustainability of Construction Works) zeigen auf, dass künftig Planung und Ausführung von Bauwerken, von Gebäuden über Industrie- bis zu Infrastrukturbauten, ganzheitlich, also in ökologischer, ökonomischer und soziokultureller Hinsicht über den Lebenszyklus zu optimieren sind. Eine Erweiterung der für diese Studie zugrunde gelegten Systemgrenzen (Schwerpunkt: LCA) um Lebenszykluskosten (LCC) mit detaillierter Auswertung auf Mikro- (Referenzgebäude) und Makro-Ebene (Volkswirtschaft) ist deshalb von Bedeutung.

8.2 Gegebenenfalls: Potential für Demonstrationsvorhaben

Der entwickelte Bewertungsraster kann für die Lebenszyklusbewertung der Aufbauten von ausgewählten Demonstrationsvorhaben herangezogen werden, um die Vorteile eines lebenszyklusoptimierten Aufbaus, einschließlich einer hohen Kreislauffähigkeit sichtbar zu machen. Dadurch soll verhindert werden, dass zwar innovative Produkt- und Systemlösungen hinsichtlich der Klimaschutz- und Energieproblematik entwickelt werden,

die aber künftig zu einem Abfallproblem führen können. Außerdem wird das enorme Einsparpotential an Energie und Treibhausgas-Emissionen durch eine Sanierung des österreichischen Gebäudebestands auf Plusenergiehausstandard mittels einer Potentialanalyse nachgewiesen, wodurch der Sinn und Nutzen von qualitativ hochwertigen Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard aufgezeigt wird.

9 Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis

9.1 Literaturverzeichnis

ArchiPHYSIK: ArchiPHYSIK. (2011) lizenziert für Rosenfelder & Höfler Consulting. 2011.

Bund Technischer Experten e.V.: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte. 2008.

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Leitfaden Nachhaltiges Bauen. 2001.

Bundesministerium für Verkehr Bau und Wohnungswesen - Deutschland: Zwischenauswertung vom 01.09.2008 zur Überarbeitung der Nutzungsdauerangaben von ausgewählten Bauteilen des Hochbaus für den Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“. 2008.

Defaix P. R.: The potential for solar electricity production in the EU-27. 2009.

Ebel W. und et al.: Ergänzungen zur Studie „Energiesparpotential im Gebäudebestand“. Institut Wohnen und Umwelt (IWU). 1991.

Eckerle K. und et al.: PROGNOSE: Niedertemperatur-Wärmemarkt in Österreich 1995-2010. 1996.

Ecofys GmbH et al.: Leitbilder und Potenziale eines solaren Städtebaus. 2004.

ecoinvent Centre: Ecoinvent Centre (2007), ecoinvent data v2.2. ecoinvent reports No. 1-25, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. 2007.

Energie-Control: Jahresreihen der Aufbringung elektrischer Energie (Gesamte Versorgung). 2009.

Gierga M. und Erhorn H.: Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in Westdeutschland. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart. 1993.

Hahne A. und Hirn G.: Recycling von PV-Modulen. BINE Informationsdienst 02/10. 2010.

Hauptverband der Allgemein Beeideten und Gerichtlich Zertifizierten Sachverständigen Österreichs / Landesverband Steiermark und Kärnten: Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen und Anlagenteile. 2006.

IEA International Energy Agency: Potential for Building Intergated Photovoltaics. 2002.

IKARUS-DB: IKARUS-Datenbank Version 3.1. Fachinformationszentrum Karlsruhe. 1999.

Kaltschmitt M.: Regenerative Energien in Österreich. 2009.

Klauß S., Kirchof W., et al.: Erfassung regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualtersklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten. Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. 2009.

Kleemann M. und et al.: Die Entwicklung des Energiebedarfs zur Wärmebereitstellung in Gebäuden. Bremer Energie Institut. 2000.

Öko-Institut e.V.: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) - Version 4.7. 2011.

Österreichisches Institut für Bautechnik: Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. 2007.

Österreichisches Institut für Bautechnik - OIB.: Anhang zum Leitfaden für die Berechnung von Energiekennzahlen - Klimadaten. 1999.

Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung: Innovation & Klima - Innovative Klimastrategien für die österreichische Wirtschaft. 2007.

Pöhn C. und et al.: EXCEL-Schulungs-Tool für Wohngebäude. 2008.

Schneider J. und et al.: Klimaschutzbericht 2011. Umweltbundesamt. 2011.

Schulter D.: Nachhaltige Gebäudesanierung durch lebenszyklusorientierte Bauproduktauswahl - noch nicht approbiert. TU Graz. 2012.

Schulter D. und Maydl P.: Nachhaltig massiv - AP 02 - Lebensdauer von Bauteilen und Bauprodukten. 2009.

Statistik Austria: Telefonische Auskunft von Hr. K. Vollmann am 20.06.2011. 2011.

Statistik Austria: Bericht über die Probezählung 2006 - Ergebnisse und Evaluierung. 2009.

Statistik Austria: Gesamtenergiebilanz 1970 bis 2007. 2008.

9.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Projektstruktur	9
Abbildung 2 Modellierung – Referenzgebäude (Schulter, 2012).....	15
Abbildung 3 Allokationsschlüssel – Flach- und Steildach mit und ohne Dachgeschoßausbau (Schulter, 2012).....	16
Abbildung 4 Angestrebte Ziel-U-Wert (AEE INTEC - Geier 2012)	17
Abbildung 5 Berechnungsergebnisse - mittlere Seehöhe je Klimazone.....	17
Abbildung 6 Ablauf – Heizwärmebedarfsberechnung (Schulter, 2012).....	18
Abbildung 7 LCA-Kennwerte – Heizwärmebedarf (Schulter, 2012)	18
Abbildung 8 Modellberechnung – solarurbanes und technisches Flächenpotential (Schulter, 2012)	19
Abbildung 9 Vergleich – Nennleistungen der PV-Anlagen	21
Abbildung 10 Zusammenfassung - Methodische Vorgangsweise (Bottom-Up-Ansatz).....	26
Abbildung 11 Dreistufige Projektstruktur mit Ergebnissen (Schulter, 2012).....	27
Abbildung 12 Auszug aus dem baukonstruktionsorientierten Leitfaden – Übersicht über unterschiedliche Sanierungsvarianten, einschließlich bauphysikalischer Kennwerte	29
Abbildung 13 Bewertungsraster für Lebenszyklusbewertung	30
Abbildung 14 Gegenüberstellung - Heizwärmebedarf vor und nach der Sanierung (Variante 3)	35
Abbildung 15 PV-Stromerzeugungspotential - Variante 1 – solarurbanes Flächenpotential - Wohngebäudebestand	40
Abbildung 16 PV-Stromerzeugungspotential - Variante 1 – technische Flächenpotential - Wohngebäudebestand	41
Abbildung 17 PV-Stromerzeugungspotential - Variante 2 – Gesamter Gebäudebestand	42
Abbildung 18 PV-Stromerzeugungspotential für Variante 3 – Gesamter Gebäudebestand	43
Abbildung 19 Vergleich Stromerzeuger – GWP	44
Abbildung 20 Vergleich Stromerzeuger – CED n.r.....	45
Abbildung 21 Einsparpotential durch Gebäudesanierungen auf Plusenergiehausstandard / Aufwand und Ertrag von Sanierungen auf Plusenergiehaustechnologie (Schulter, 2012).....	46
Abbildung 22 Einsparpotential – GWP - Variante 1 - Wohngebäudebestand	47
Abbildung 23 Einsparpotential – CED n.r.- Variante 1 - Wohngebäudebestand.....	48
Abbildung 24 Einsparpotential – CED r.- Variante 1 - Wohngebäudebestand.....	49
Abbildung 25 Einsparpotential – Abfallaufkommen - Variante 1 - Wohngebäudebestand	50
Abbildung 26 Einsparpotential – GWP - Variante 2 – Gesamter Gebäudebestand	51
Abbildung 27 Einsparpotential – CED n.r.- Variante 2 – Gesamter Gebäudebestand.....	52
Abbildung 28 Einsparpotential – CED r.- Variante 2 – Gesamter Gebäudebestand.....	53
Abbildung 29 Einsparpotential – Abfallaufkommen - Variante 2 – Gesamter Gebäudebestand	54

Abbildung 30 Einsparpotential – GWP - Variante 3 – Gesamter Gebäudebestand	55
Abbildung 31 Einsparpotential – CED n.r.- Variante 3 – Gesamter Gebäudebestand	56
Abbildung 32 Einsparpotential – CED r.- Variante 3 – Gesamter Gebäudebestand	57
Abbildung 33 Einsparpotential – Abfallaufkommen - Variante 3 – Gesamter Gebäudebestand	58
Abbildung 34 Strombedarf – Österreich 2006	59
Abbildung 35 CO ₂ -Ausstoss und Energiebedarf nach Sanierung - Variante 1	61
Abbildung 36 CO ₂ -Ausstoss und Energiebedarf nach Sanierung -Variante 2	62
Abbildung 37 CO ₂ -Ausstoss und Energiebedarf nach Sanierung - Variante 3	63
Abbildung 38 Ergebnisse der Potentialanalyse – Darstellung des Reduktionspotentials von Treibhausgasemissionen bei einer Sanierung des gesamtösterreichischen Gebäudebestandes auf Plusenergiehausstandard.	64
Abbildung 39 Übersicht über Abfallaufkommen je Variante	65

9.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Bandbreite – Kollektorenergieeinträge in Anlehnung an (Kaltschmitt, 2009)	22
Tabelle 2 Übersicht über die integrierbaren solar erzeugten Wärmemengen (Schulter, 2012)	22
Tabelle 3 Szenario – Rahmenbedingungen	25
Tabelle 4 Übersicht über gewichtete HWB-Kennzahlen – Wohngebäude	34
Tabelle 5 Übersicht über gewichtete HWB-Kennzahlen – Nichtwohngebäude (NWG)	34
Tabelle 6 Zusammenstellung des Nutzenergiebedarfs –Variante 1 - Wohngebäudebestand	35
Tabelle 7 Zusammenstellung des Nutzenergiebedarfs – Variante 2 & 3 – Gesamter Gebäudebestand	36
Tabelle 8 Übersicht – Flächenpotential je Variante	36
Tabelle 9 Übersicht über solar nutzbare Dach- und Fassadenflächen	37
Tabelle 10 Übersicht über technische Flächen für PV & Solarthermie	37
Tabelle 11 Übersicht über solarurbanes Flächenpotential für PV & Solarthermie	38
Tabelle 12 Übersicht über solar nutzbare Flächen für PV	38
Tabelle 13 Übersicht über solar nutzbare Flächen für Solarthermie	39
Tabelle 14 Variantenabhängige Stromverbrauchs-Kennzahlen	60
Tabelle 15 Variantenabhängige Verteilung bzgl. PV-Strom und österreichischer Strommix (Rest)	60

10 Anhang

Der baukonstruktionsorientierte Leitfaden wurde aufgrund seines Umfangs als eigener Anhang beigefügt (siehe Anhang A).

11 Glossar

a-Si...amorphous Silicon / Amorphes Silizium

BAC...Basis Case

BEC...Best Case

CED n.r....Cumulative Energy Demand – non renewable (kumulierter Energieaufwand – erneuerbare Energieträger; oft auch als Primärenergieinhalt – PEI bezeichnet).

CED r....Cumulative Energy Demand - renewable (kumulierter Energieaufwand – erneuerbare Energieträger).

CdTe...Cadmium Telluride Photovoltaic Laminates / Cadmiumtellurid

CIS...Copper Indium Selenide Photovoltaic Panels / Kupfer Indium Diselenid

EFH...Einfamilienhaus.

GEM...Gemeinschaftsunterkünfte (z.B: Studentenheime)

GWP...Globing Warming Potential (Treibhauspotential).

HWB...Heizwärmebedarf.

LCA...Life Cycle Assessment / Ökobilanz

MFH-K...Mehrfamilienhaus klein (bis zu 2 Wohnungen).

MFH-G...Mehrfamilienhaus groß (mehr als 2 Wohnungen).

Multi-Si... Multi crystalline silicon cells / Multi-Silizium

NWG...Nichtwohngebäude.

PV...Photovoltaik

Ribbon-Si...Ribbon Silicon / Ribbon Silizium

Single-Si...Single crystalline silicon cells / Mono-Silizium

Solarurbanes Flächenpotential.

Technisches Flächenpotential.

WDVS...Wärmedämmverbundsystem.

WOC...Worst Case

WRG...Wärmerückgewinnung