

Richt- und Zielwerte für Siedlungen zur integralen Bewertung der Klimaver- träglichkeit von Gebäuden und Mobilitätsinfrastruktur in Neubausiedlungen

O. Mair am Tinkhof,
H. Strasser, T. Prinz,
S. Herbst, M. Schuster,
R. Tomschy, H. Figl,
M. Fellner, M. Ploß,
T. Roßkopf

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

39/2017

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>

Richt- und Zielwerte für Siedlungen zur integralen Bewertung der Klimaverträglichkeit von Gebäuden und Mobilitätsinfrastruktur in Neubausiedlungen

Oskar Mair am Tinkhof, MSc, DI Helmut Strasser
SIR – Salzburger Institut für Raumordnung und Wohnen

Dr. Thomas Prinz, Mag. Stefan Herbst
Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH

Dipl.-Ing. Markus Schuster, Mag. Ing. Rupert Tomschy
HERRY Consult GmbH

Mag. Hildegund Figl, Ing. Mag. Maria Fellner, Isabella Dornigg, MSc
IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH

Dipl.-Ing. Arch. Martin Ploß, Thomas Roßkopf BA
Energieinstitut Vorarlberg

In Zusammenarbeit mit:

Mag. David Fritz, DI Sabine Kranzl, DI Werner Pölz
Umweltbundesamt GmbH

Dipl.-Ing. ETH Daniel Kellenberger
Intep – Integrale Planung GmbH

Wien, Salzburg, Dornbirn, September 2017

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des bmvit publiziert und elektronisch über die Plattform www.HAUSderZukunft.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

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

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	10
Abstract.....	13
1 Lese- und Anwendungshilfe.....	16
2 Einleitung.....	17
2.1 Ausgangslage.....	17
2.2 Aufgabenstellung	20
2.3 Stand der Technik.....	20
2.4 Verwendete Methoden.....	21
3 Nationale Zielwerte.....	22
3.1 Überblick Kapitel 3.....	22
3.1.1 Abkürzungen	22
3.1.2 Inhalt	22
3.1.3 Abgrenzung.....	22
3.1.4 Weiterführende Literatur.....	22
3.2 Ableitung Absenkpfad	23
3.3 Ermittlung der Reduktionsfaktoren	27
3.4 Ermittlung der Ist-Werte pro Verwendungszweck.....	27
3.4.1 Exkurs Bezugsfläche.....	30
3.5 Top-Down abgeleitete Richt- und Zielwerte für Siedlungen.....	31
4 Richtwerte Graue Energie Gebäude (Bottom-Up).....	33
4.1 Überblick Kapitel 4.....	33
4.1.1 Abkürzungen	33
4.1.2 Inhalt	34
4.1.3 Abgrenzung.....	34
4.1.4 Weiterführende Literatur.....	35
4.2 Methodik	35
4.2.1 Vorgehensweise.....	35
4.2.2 Bilanzrahmen	36
4.2.3 Methode der Ökobilanz	39
4.3 Ergebnisse der Gebäudeanalyse	42
4.3.1 Methode Gebäudeanalyse	42
4.3.2 Analyse Einfamilienhaus	47

4.3.3	Analyse Wohnhausanlagen.....	51
4.3.4	Analyse der Bürogebäude und Bildungseinrichtungen.....	55
4.4	Schlussfolgerung und Ausblick	56
4.4.1	Schlussfolgerung.....	56
4.4.2	Offene Fragestellungen	59
4.4.3	Ausblick.....	60
5	Richtwerte Betriebsenergie Gebäude (Bottom-Up).....	61
5.1	Überblick Kapitel 5.....	61
5.1.1	Abkürzungen	61
5.1.2	Inhalt	61
5.1.3	Abgrenzung.....	61
5.1.4	Weiterführende Literatur.....	61
5.2	Methodik zur Ableitung von Österreichischen Richtwerten.....	62
5.2.1	Vergleich mit Zielen der 2.000-Watt-Gesellschaft	62
5.2.2	Ausgangsvariante.....	64
5.2.3	Berücksichtigung der Begrenztheit der Biomasse-Ressourcen.....	65
5.2.4	Gebäudeenergiebilanzierung.....	66
5.2.5	Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs von erneuerbarer Stromerzeugung und Energiebedarf.....	66
5.3	Ermittlung monatlicher Konversionsfaktoren für Energieträger Strom	67
5.3.1	Faktoren aus Betriebsstatistiken 2014 und 2015 gemittelt.....	67
5.3.2	Faktoren aus Szenario Erneuerbare Energie 2050.....	72
5.4	Best Practice Analyse	76
5.5	Ableitung der personenbezogenen Richtwerte.....	80
6	Richtwerte Alltagsmobilität (Bottom-Up)	83
6.1	Überblick Kapitel 6.....	83
6.1.1	Abkürzungen	83
6.1.2	Inhalt	83
6.1.3	Abgrenzung.....	83
6.1.4	Weiterführende Literatur.....	84
6.2	Methodik.....	84
6.3	Regions- und ÖV-Qualitätstypen	85
6.4	Verkehrsleistung und Emissionskennzahlen	86
6.4.1	Emissionsberechnung auf Basis der Daten des Umweltbundesamtes.....	87

6.5	CO ₂ -Äquivalente und kumulierter Energieaufwand	88
6.6	Verkehrsleistung und CO _{2-eq} -Emissionen je Gebäudekategorie.....	89
6.7	Ermittlung des optimalen Modal-Splits (quantitativ).....	91
7	Zusammenfassung Bottom-Up Ergebnisse.....	96
8	Zusammenführung der Top-Down und Bottom-Up Ergebnisse.....	99
8.1	Anwendungsbeispiel	102
8.2	Berechnungsgrundlagen.....	104
9	Schlussfolgerungen	105
9.1	Gewonnen Erkenntnisse.....	105
9.2	Anwendung der Ergebnisse	106
9.3	Zielgruppen.....	107
9.4	Marktpotential	107
10	Ausblick und Empfehlungen	109
11	Verzeichnisse	110
11.1	Abbildungsverzeichnis	110
11.2	Tabellenverzeichnis	112
11.3	Literaturverzeichnis.....	114
11.3.1	Normen	114
11.3.2	Leitfäden und Merkblätter.....	114
11.3.3	Datenbanken, Berechnungssoftware.....	115
11.3.4	Literaturzitate	115

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

„Die bisherigen Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor legen nahe, dass die Optimierung von Gebäuden alleine zur Zielerreichung nicht ausreichend ist. Der notwendige nächste Schritt muss die Optimierung von Gebäudeverbänden / Siedlungen / Grätzeln inklusive des durch diese bedingten Ressourcenbedarfs für Energieversorgung, Mobilität und Infrastruktur umfassen.“ Diese zentrale Erkenntnis wurde im Sondierungsprojekt „Zertifizierung von Siedlungen“ gewonnen (Trebut et al., 2014). In der Schweiz ist mit der 2000-Watt-Arealzertifizierung ein System zur integralen Planung, Bewertung und Qualitätssicherung von Neubausiedlungen bereits seit einigen Jahren erfolgreich in Anwendung. Im Rahmen des Pilotprojekts „Potentialanalyse – 2000 Watt Areal“ wurde deshalb die Anwendbarkeit des Schweizer Systems auch in Österreich im Praxistest geprüft (Trebut et al., 2016). Zentrale Erkenntnis aus drei Pilotzertifizierungen in Österreich war, dass sich dieses System grundsätzlich auch für die Bewertung der Klimaverträglichkeit von Siedlungen in Österreich eignen würde. Dazu wäre aber die Anpassung von zentralen Bausteinen an die Österreichischen Rahmenbedingungen erforderlich (z.B. Richt- und Zielwerte, qualitative Kriterien, Organisationsstrukturen). Ein Teil der erforderlichen Anpassungen wurde im Rahmen des vorliegenden Projekts umgesetzt.

Inhalte und Zielsetzungen

Inhalt des Projekts „Kennwerte Siedlungsbewertung für Errichtung, Betrieb und Mobilität in klimaverträglichen Siedlungen – UrbanAreaParameters“ ist die Ableitung von spezifischen Richt- und Zielwerte für die Bewertung der Klimaverträglichkeit von Neubausiedlungen unter Berücksichtigung der Österreichischen Rahmenbedingungen. Neben der Bewertung der Betriebsenergie (für Heizen, Warmwasserbereitung, Lüftung, Hilfsenergie, Beleuchtung, sonstiger Betriebsstrom), ermöglichen die Richt- und Zielwerte auch die integrale Bewertung der Grauen Energie der Gebäude (Umweltwirkung von Herstellung, Errichtung, Ersatz und Entsorgung der Baustoffe) als auch die Bewertung der Alltagsmobilität in Siedlungen (Mobilität mit Österreichbezug, Personen ab 6 Jahren).

Methodische Vorgehensweise

Die Richt- und Zielwerte wurden einerseits Top-Down abgeleitet (Übersetzung der nationalen Zielwerte auf Siedlungsebene; Basis: nationale Statistiken) und andererseits auf Basis eines Bottom-Up-Ansatz validiert (was ist technisch überhaupt machbar; Basis: Modellgebäude und Mobilitätsbefragungen). Die Ergebnisse wurden schließlich im Rahmen eines Qualitätssicherungsprozesses mit Österreichischen ExpertInnen diskutiert und finalisiert.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Grundsätzlich ergeben sich die für Siedlungen relevanten Richt- und Zielgrößen aus der flächenmäßigen Gewichtung von Richt- und Zielwerte der jeweiligen Gebäudekategorie und der jeweiligen Verwendungszwecke Graue Energie und Betriebsenergie von Gebäuden sowie Graue Energie und Betriebsenergie der Alltagsmobilität. Für Wohn-, Büro- und Schulgebäude und für die Indikatoren Primärenergie und THG-Emissionen wurden zu diesem Zweck Richtwerte für die einzelnen Verwendungszwecke und Zielwerte für die einzelnen Gebäudekategorien abgeleitet. Dabei gilt: Die Zielwerte, welche aus dem Szenario Erneuerbare Energie abgeleitet wurden (Datengrundlage: Umweltbundesamt GmbH 2, 2016), müssen eingehalten werden, falls die Siedlung klimaverträglich errichtet werden soll (Definition Klimaverträglichkeit: Die für die Errichtung und den Betrieb erforderlichen Energieaufwendungen bzw. emittierten Emissionen sind so gering, dass die Erreichung des 2°C Klimaziels möglich ist). Die Richtwerte für die einzelnen Verwendungszwecke hingegen können punktuell auch überschritten werden und dienen als Orientierungswert. Im Rahmen dieses Projekts wurden einerseits Richtwerte ermittelt, welche in der Regel eine Vielzahl von Baustoff- bzw. Gebäudetechnikvarianten zulassen. Im Mobilitätsbereich sind bei dieser Variante auch optimierte Mobilitätskonzepte in (ländlichen) Gebieten mit Basiserschließung zugelassen (Typ 24). Die übergeordneten Zielwerte – welche Top-Down durch das Szenario Energiebare Energie vorgegeben wurden – können bei genauer Einhaltung dieser Richtwerte jedoch nicht eingehalten werden.

Dem gegenüber stehen ambitioniertere Richtwerte, welche in der Regel nur den Einsatz der CO₂-ärmsten Baustoff- und Gebäudetechnikvarianten (z.B. Fernwärme, Wärmepumpen) bzw. im Mobilitätsbereich nur optimierte Mobilitätskonzepte in (städtischen) Gebieten mit hochrangiger ÖV-Erschließung zulassen (Typ 92); die übergeordneten Zielwerte – welche Top-Down durch das Szenario Energiebare Energie vorgegeben wurden – können bei genauer Einhaltung dieser Richtwerte eingehalten werden.

Bei der Planung von Siedlungsprojekten sollte daher in einem ersten Schritt immer überlegt werden, welches übergeordnete Ziel man erreichen möchte. Wenn dies die Errichtung einer klimaverträglichen Siedlung ist, bedeutet dies automatisch den Bezug auf die Top-Down – aus dem Szenario Erneuerbare Energie abgeleiteten – Zielwerte. Diese können erreicht werden, wenn in allen Verwendungszwecken die Optimierungspotentiale genutzt werden.

Die unter diesen Rahmenbedingungen relevanten Richt- und Zielwerte sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Die einzelnen Richtwerte müssen nicht zwingend in allen Verwendungszwecken eingehalten werden falls die Möglichkeit zur Kompensation in einem anderen Handlungsfeld besteht.

Wohngebäude	Richtwerte	PEB ges. [kWh/m²a]	THG-E [kg CO₂-eq./m²a]
	Graue Energie Gebäude	26 - 33	5,8 - 8
	Betriebsenergie Gebäude	47 - 100	2,9 - 8
	Graue Energie und Betriebsenergie Alltagsmobilität	49 - 113	6,7 - 28,5
	Zielwert pro m²	206	15
		PEB ges. [W/P•a]	THG-E [kg CO₂-eq./P•a]
	Zielwert pro Person	1.040	684
Bürogebäude	Richtwerte	PEB ges. [kWh/m²a]	THG-E [kg CO₂-eq./m²]
	Graue Energie Gebäude	25 - 33	6,5 - 8
	Betriebsenergie Gebäude	73 - 90	5,1 - 7
	Graue Energie und Betriebsenergie Alltagsmobilität	27 - 121	6,3 - 30,6
	Zielwert pro m²	371	27
		PEB ges. [W/P•a]	THG-E [kg CO₂-eq./P•a]
	Zielwert pro Person	181	115
Schulgebäude	Richtwerte	PEB ges. [kWh/m²a]	THG-E [kg CO₂-eq./m²]
	Graue Energie Gebäude	26 - 33	7,1 - 8
	Betriebsenergie Gebäude	69 - 100	5,2 - 8
	Graue Energie und Betriebsenergie Alltagsmobilität	21 - 67	4,7 - 16,6
	Zielwert pro m²	116	19
		PEB ges. [W/P•a]	THG-E [kg CO₂-eq./P•a]
	Zielwert pro Person	60	44

Ausblick

Anhand der vorliegenden Ergebnisse ist es erstmals möglich, die Klimaverträglichkeit von Neubausiedlungen unter Berücksichtigung der Österreichischen Rahmenbedingungen zu bewerten. Aus ExpertInnensicht

- können die erarbeiteten Richt- und Zielwerte sehr gut zu Planungs- und Diskussionszwecken herangezogen werden;
- sind auch die Detailergebnisse (Ergebnisse aller Variantenstudien; Unterschied aufgrund der Bauweise, der Gebäudetechnik und dem Standort) als zentrale Ergebnisse anzusehen, da diese die Bandbreite der erzielbaren Werte in den drei Verwendungszwecken Graue Energie, Betriebsenergie und Alltagsmobilität für verschiedene Siedlungskonzepte aufzeigen (Einfamilienhaussiedlungen, verdichteter Wohnbau, Büro- und Schulgebäude, Siedlungen am Land, Siedlungen in der Stadt);
- sollten die Richt- und Zielwerte in ein Planungstool übergeführt werden, in welchem verschiedene Systemkombinationen ausgetestet und als Planungs- und Entscheidungsgrundlage herangezogen werden könnten;
- sollten die Richt- und Zielwerte qualitative Kriterien und einem Beratungs- bzw. Qualitätssicherungsprozess ergänzt werden, um eine umfassende und integrale Planung und Bewertung von Neubausiedlungen vornehmen zu können.

Abstract

Starting point/Motivation

One central outcome from the project “certification of settlements” was that the optimization of buildings is not sufficient alone to meet the Austrian climate protection goals (Trebut et al., 2014). Therefore it will be necessary to keep the focus of investigation also on settlements. In Switzerland a system for the integral planning, evaluation and quality check of new settlement project is in usage since many years (2000-Watt Site certification). This system could also be suitable for the evaluation of the climate compatibility of Austrian settlements (outcome from the project “potential analysis – 2000 watt site”; Trebut et al., 2016). For that, the adaptation of central elements to the Austrian frameworks would be necessary (e.g. benchmarks, target values, qualitative criteria, organizational structures). A part of the necessary adaptations was implemented within the framework of this project.

Contents and Objectives

Content of this project was the definition of specific benchmarks and target values for the evaluation of the climate compatibility of new settlements under consideration of the Austrian framework conditions. The values should allow the evaluation of grey energy (energy for manufacture, erection, replacement and disposal of building materials) the evaluation of operational energy (for heating, warm water, ventilation, auxiliary energy, illumination) and the evaluation of the energy used for mobility (mobility in Austria, persons 6 years and older).

Methods

The benchmarks and target values were developed top-down (translation of national target values to the level of settlements; basis: national statistics) and bottom-up (what is technical possible; basis: model buildings and mobility survey). Finally, the results were discussed and finalized with Austrian experts.

Results

For the evaluation of settlements it is necessary to define benchmarks and target values for buildings. The values of each building type will be added based on their share of the total area. In general, benchmarks for grey energy, operational energy and mobility and target values for residential buildings, office buildings and school buildings for the indicators primary energy and GHG-Emissions were developed. The target values are based on the scenario “Renewable Energy” (Umweltbundesamt GmbH 2, 2016), and must be reached, if the settlement should be climate compatible. The benchmarks can be exceeded in each category and can be used as orientation.

In the framework of this project, benchmarks were developed that generally allow many of – within the framework of this project evaluated – building material concepts, HVAC concepts and mobility concepts in (rural) areas with a minimum of public transport possibilities (type

24). In this case, the top-down predetermined target values can only be reached if the planned building and mobility concepts will be optimised.

In a next step, also benchmarks were developed that generally allow only zero carbon building materials and HVAC concepts (e.g. district heating, heat pumps) and mobility concepts in (urban) areas with a variety of public transport possibilities (type 92). In this case, the top-down predetermined target values can be reached by the planned building and mobility concepts.

For the planning of settlements it is necessary, to define the general target. If the target is climate compatibility, the target values that are based on the scenario “Renewable Energy”, can be used. This target values can be reached, if the optimisation potential will be used in each category.

The under this framework conditions relevant benchmarks and target values are listed in the following table. Not each benchmark value must be respected, if compensation in other categories is possible.

Residential buildings	Energy Use	PE tot. [kWh/m²a]	THG [kg CO₂-eq./m²a]
	Grey energy building	26 - 33	5,8 - 8
	Operational energy building	47 - 100	2,9 - 8
	Grey energy and operational energy daily mobility	49 - 113	6,7 - 28,5
	Target value per m²	206	15
		PE tot. [WP•a]	THG [kg CO₂-eq./P•a]
	Target value per Person	1.040	684
Office buildings	Energy Use	PE tot. [kWh/m²a]	THG [kg CO₂-eq./m²a]
	Grey energy building	25 - 33	6,5 - 8
	Operational energy building	73 - 90	5,1 - 7
	Grey energy and operational energy daily mobility	27 - 121	6,3 - 30,6
	Target value per m²	371	27
		PE tot. [WP•a]	THG [kg CO₂-eq./P•a]
	Target value per Person	181	115
School buildings	Energy Use	PE tot. [kWh/m²a]	THG [kg CO₂-eq./m²a]
	Grey energy building	26 - 33	7,1 - 8
	Operational energy building	69 - 100	5,2 - 8
	Grey energy and operational energy daily mobility	21 - 67	4,7 - 16,6
	Target value per m²	116	19
		PE tot. [WP•a]	THG [kg CO₂-eq./P•a]
	Target value per Person	60	44

Prospects / Suggestions for future research

The results allow the evaluation of the climate compatibility of new settlements under consideration of the Austria framework conditions. Experts say that

- the elaborated benchmarks and target values can be used as basis for planning and discussions;
- also the detailed results are helpful for the usage (results of all studies; difference because of method of construction, building technology and the location), because they show the range of possible values in the three kinds of energy use (grey energy, operational energy, mobility) and also for different settlement concepts (single family houses, apartment buildings, office and school buildings, rural and urban settlements);
- the benchmarks and target values should be implemented in a planning tool, so that different system combinations could be tested out and be used as basis for planning and decisions;
- qualitative criteria and a quality check process should be added to the benchmarks and target values, so that a full and integral planning of settlements is possible.

1 Lese- und Anwendungshilfe

In dem vorliegenden Bericht sind die Ergebnisse des Projekts „Kennwerte Siedlungsbewertung für Errichtung, Betrieb und Mobilität in klimaverträglichen Siedlungen – UrbanAreaParameters“ zusammengefasst. Im Rahmen des Projekts sind fünf weitere Berichte entstanden, welche weitere Berechnungsschritte und Detailergebnisse enthalten und für die zukünftige Festlegung von Richt- und Zielwerten bzw. Berechnung von Planwerten für Gebäude- bzw. Siedlungsentwürfe hilfreich sein könnten. In der Tabelle 1 sind daher die Eckdaten zu den weiterführenden Informationen dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht zu den weiterführenden Informationen

Thema	Wesentliche Inhalte	Verfasser
Herleitung von Richt- und Zielwerte für Siedlungen (Kapitel 3, 7, 8)	Leitfaden zur Ableitung von Zielwerten für Siedlungen	SIR – Salzburger Institut für Raumordnung und Wohnen
Richtwerte Graue Energie Gebäude (Kapitel 4)	Leitfaden zur Berechnung von Ökokennzahlen für Gebäude	IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
Richtwerte Betriebsenergie Gebäude (Kapitel 5)	Leitfaden zur Berechnung der Betriebsenergie von Gebäuden	Energieinstitut Vorarlberg
Richtwerte Alltagsmobilität (Kapitel 6)	Leitfaden zur Berechnung der Alltagsmobilität	HERRY Consult GmbH
	Leitfaden zur Identifikation von Maßnahmen im Mobilitätsbereich	Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH

Mair am Tinkhof O., Strasser H., Rehbogen A.: Richt- und Zielwerte für Siedlungen. SIR – Salzburger Institut für Raumordnung und Wohnen, Salzburg 2017.

Figl H.: Methoden-Leitfaden „Graue Energie von Gebäuden“. IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Wien 2017.

Roßkopf T., Ploß M.: Methodische Grundlagen Gebäudebereich – Betriebsenergie. Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn 2017.

Tomschy R., Schuster M.: UrbanAreaParameters – Input zum Mobilitätsteil. HERRY Consult GmbH, Salzburg / Wien 2017.

Herbst S., Prinz T., Butzhammer A., Tomschy R., Schuster M.: UrbanAreaParameters – Teil Alltagsmobilität. Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH – Studio iSPACE und HERRY Consult GmbH, Salzburg / Wien 2017.

2 Einleitung

2.1 Ausgangslage

Siedlungen rücken immer stärker in den Betrachtungsfokus der Politik. Entsprechend den Baukulturellen Leitlinien des Bundes (Ausgabe August 2017) bekennt sich der Bund „zu einer sparsamen und möglichst kompakten Siedlungsentwicklung und sorgt daher im eigenen Wirkungsbereich für effiziente Flächennutzung“. (Leitlinie 2). Der Bund entwickelt daher im Rahmen der Klimaschutzinitiative klimaaktiv ein Bewertungssystem für Siedlungen. In der Praxis bedeutet dies, dass zur Deckung des steigenden Wohnbedarfs (vgl. auch Statistik Austria, 2010) vermehrt Siedlungen entlang hochrangiger Erschließungsachsen in bestehenden Orts- und Stadtkernen anstelle von Einzelobjekten im Grünen entstehen werden.

Es darf mittlerweile auch als bekannt angesehen werden, dass der Klimawandel einen weitreichenden (negativen) Einfluss auf den Lebensraum der Menschheit hat. Studien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) gehen dabei davon aus, dass vor allem durch die anthropogenen Einflüsse seit Beginn der Industrialisierung das Klima stark beeinflusst wird („extremely likely ... more than half“). Konkret führt der durch Menschliches Zutun (Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas; Abholzung tropischer Regenwälder) steigende Anteil von Treibhausgas-Emissionen in der Atmosphäre (vor allem CO_2) zu einem kontinuierlichen Temperaturanstieg (siehe auch Abbildung 1). Unter Treibhausgas-Emissionen (kurz THG-Emissionen) werden dabei Gase verstanden, „welche durch Absorption von Infrarotstrahlung den Energiehaushalt der Atmosphäre beeinflussen. Zu den klimawirksamsten Gasen zählen: Kohlendioxid (CO_2) das beim Verbrauch fossiler Brennstoffe entsteht, Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und fluorierte Gase (F-Gase). Zur Darstellung der THG-Emissionen werden die Emissionswerte aller Gase in CO_2 -Äquivalent umgerechnet“ (Umweltbundesamt GmbH 1, 2016).

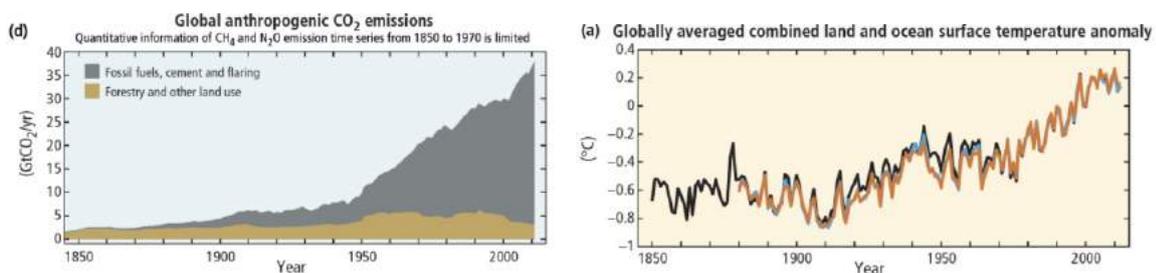


Abbildung 1: Globale anthropogene CO_2 -Emissionen und mittlerer globaler Temperaturanstieg (Quelle: IPCC, 2014; Seite 3)

Auch in Österreich wird entsprechend dem Österreichischen Sachstandsbericht Klimawandel ein Temperaturanstieg von etwa $1,4\text{ }^\circ\text{C}$ bis 2050 – gegenüber dem derzeitigen Niveau – erwartet.

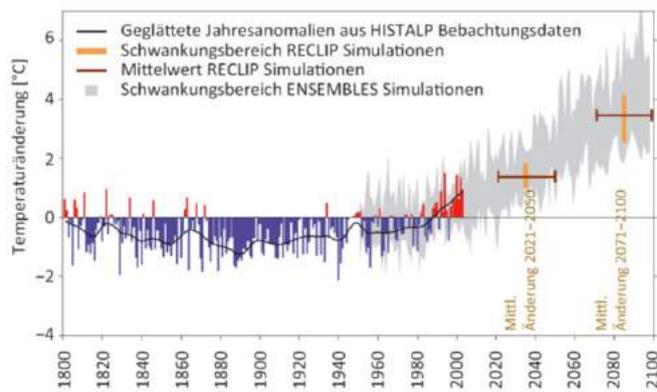


Abbildung 2: Änderung der mittleren Jahrestemperatur in Österreich; Referenzperiode 1971-2000 (Quelle: APCC, 2014; Seite 30)

Die erwarteten Auswirkungen der damit einhergehenden veränderten Klimabedingungen können für den Wirtschafts- und Lebensraum Österreich wie folgt zusammengefasst werden (Klima- und Energiefonds, 2014; Seite 13):

- *Ökonomische Auswirkungen durch erhebliche Schäden aufgrund der Zunahme extremer Wetterereignisse: Veränderungen in der Frequenz und Intensität der Extremereignisse haben signifikante Auswirkungen auf die Volkswirtschaft Österreichs und die dadurch entstehenden Schadenskosten. Neben Extremereignissen führen auch graduelle Temperatur- und Niederschlagsänderungen zu ökonomischen Auswirkungen z.B. in Form sich verändernder Ertragspotenziale in der Land- und Energiewirtschaft.*
- *In Gebirgsregionen nehmen Rutschungen, Muren, Steinschlag und andere Massenbewegungen z.B. durch veränderten Niederschlag, auftauenden Permafrost und Rückgang von Gletschern deutlich zu.*
- *Zunahme des Risikos der Waldbrandgefahr durch sommerliche Trockenperioden.*
- *Direkte und indirekte gesundheitliche Probleme durch Hitze: beispielsweise nehmen Herz- und Kreislaufprobleme und vermehrte Schlafstörungen zu, ebenso wie gesundheitliche Probleme durch Luftverschmutzung.*
- *Die Biomasseproduktivität wird in niederschlagsreichen Gebieten zunehmen, in trockenen Lagen wird die Produktivität abnehmen. Auch in der Land- und Forstwirtschaft werden sich durch höhere Temperaturen wärmeliebende Schädlinge ausbreiten, gleichzeitig leiden Nutztiere durch Hitzeperioden.*

Zur Vorbeugung der durch den Klimawandel entstehenden Risiken und Schäden werden auf internationaler, nationaler und lokaler Ebene Strategien zur Anpassung an den Klimawandel entwickelt und umgesetzt.

Auf internationaler Ebene ist dabei das Paris-Abkommen zurzeit das Maß der Dinge. Das Paris Abkommen sieht im Wesentlichen eine Begrenzung der Erderwärmung auf weniger als zwei Grad Celsius vor. Dadurch ist nach aktuellem wissenschaftlichen Erkenntnisstand eine Anpassung an den Klimawandel mit akzeptablen Folgen möglich. Dazu ist unter anderem der Umbau der derzeitigen globalen Wirtschaft hin zu einer CO₂-neutralen Wirtschaft bis Ende des Jahrhunderts erforderlich. Die Europäische Union erarbeitet zu diesem Zweck unter anderem Richtlinien, welche die daraus resultierenden Handlungsfelder bzw. die daraus re-

sultierenden Zielpfade für die Mitgliedsstaaten aufzeigen. So fordert beispielsweise der „2030 climate & energy framework“ eine Steigerung der Energieeffizienz um 27 %, eine Steigerung des Marktanteils erneuerbarer Energie um 27 % und eine Reduktion der THG-Emissionen um 40 % bis 2030 im Vergleich zum Jahr 1990. Auf nationaler Ebene werden diese Vorgaben schließlich in rechtsverbindlichen Instrumenten, nationalen Initiativen und Werkzeugen integriert. Dadurch können die auf globaler Ebene festgelegten Zielwerte, durch Umsetzung von Maßnahmen auf lokaler Ebene, erreicht werden.

2.2 Aufgabenstellung

Inhalt des Projekts „Kennwerte Siedlungsbewertung für Errichtung, Betrieb und Mobilität in klimaverträglichen Siedlungen – UrbanAreaParameters“ war die Ableitung von spezifischen Richt- und Zielwerten für die Bewertung der Klimaverträglichkeit von Neubausiedlungen unter Berücksichtigung der Österreichischen Rahmenbedingungen. Neben der Bewertung der Betriebsenergie (für Heizen, Warmwasserbereitung, Hilfsenergie, Lüftung, Beleuchtung, Betriebsstrom) sollen die Richt- und Zielwerte die Bewertung der Grauen Energie der Gebäude (Umweltwirkung von Herstellung, Ersatz und Entsorgung der Baustoffe) und der Alltagsmobilität (Mobilität mit Österreichbezug, Personen ab 6 Jahren) von Wohn-, Büro- und Schulgebäuden ermöglichen.

2.3 Stand der Technik

In der Schweiz liegt mit dem Bilanzierungskonzept der 2000-Watt-Gesellschaft eine Methodik zur Übersetzung von globalen Zielwerten auf lokale Ebenen vor.

In Österreich gibt es aktuell kein vergleichbares System, welches die Bewertung der Klimaverträglichkeit von Siedlungen ermöglichen würde.

Im Rahmen eines **Sondierungsprojekts** (Zertifizierung von Siedlungen, Trebut et al., 2014) wurde deshalb das Schweizer Zertifizierungssystem „2000-Watt-Areale“ genauer auf die Anwendbarkeit in Österreich analysiert, da das System gute Voraussetzungen der Übertragbarkeit bietet und das umfangreiche qualitative Bewertungssystem aus der Gemeindebewertung „Energienstadt“ heraus entwickelt wurde, welches auch dem Österreichischen e5-Programm zugrunde liegt. Ergebnis des Sondierungsprojekts war, dass dieses System trotz seiner Kompaktheit eine Vielzahl an Elementen enthält, die auch für den Aufbau eines österreichischen Systems geeignet wären. Im Projektbericht sind die dafür erforderlichen Adaptierungen beschrieben (Trebut et al., 2014).

In einem nächsten Schritt wurden im Rahmen von **drei Pilotbewertungen** die Stärken und Schwächen des Schweizer Tools noch einmal im Praxistest erhoben und dokumentiert (Potentialanalyse – 2000 Watt Areal; Trebut et al., 2016). Dabei wurde der im Rahmen des Sondierungsprojekts ermittelten Anpassungsbedarfs bestätigt und um einige wichtige Punkte ergänzt (Trebut et al., 2016).

Im Rahmen des vorliegenden Projekts werden schließlich auf Basis der Erfahrungen aus diesen beiden Vorprojekten und unter Berücksichtigung der aktuellen Österreichischen Rahmenbedingungen und Datengrundlagen Richt- und Zielwerte für die Bewertung der Klimaverträglichkeit von Neubausiedlungen abgeleitet. Diese bilden einen wesentlichen Baustein für die Entwicklung eines Österreichischen Systems zur Planung, Bewertung und Qualitätssicherung der Klimaverträglichkeit von Neubausiedlungen.

2.4 Verwendete Methoden

Für die Entwicklung von Richt- und Zielwerten hat sich das Projektteam am Bilanzierungskonzept der 2000-Watt-Gesellschaft für Areale¹ orientiert (Kellenberger et al., 2012). Das Bilanzierungskonzept der 2000-Watt-Gesellschaft wiederum orientiert sich am SIA-Effizienzpfad Energie (Merkblatt SIA 2040) bzw. sind die weiteren Grundlagen für die Ermittlung der Grauen Energie für die Erstellung sowie die Berechnung der Mobilitätsenergie in den Merkblättern SIA 2032 resp. SIA 2039 enthalten. Grundsätzlich ergeben sich die Richt- und Zielwerte eines Areals aus der flächenmäßigen Gewichtung von Richt- und Zielwerten für die Errichtung, den Betrieb und die Alltagsmobilität der einzelnen Gebäudekategorien. Für die Ausrichtung von Arealen nach den Zielvorgaben der 2000-Watt-Gesellschaft ist daher die Festlegung von Richt- und Zielwerte auf Gebäudekategorieebene erforderlich.

Die Richt- und Zielwerte für die einzelnen Gebäudekategorien wurden im Rahmen dieses Projekts daher wie folgt abgeleitet (Schritte 1 bis 3, vgl. Abbildung 3):

- 1) Aus dem nationalen Absenkpfad – welcher im Rahmen dieses Projektes aus verfügbaren Publikationen abgeleitet wurde – wurden Reduktionsfaktoren ermittelt. Die Division durch die Ist-Werten ergab die Richtwerte; die Ist-Werte wurden dabei aus nationalen Statistiken bezogen und beschreiben den aktuellen Status-Quo. Die Summe der ermittelten Richtwerte ergab schließlich die entsprechenden Zielwerte pro m² bzw. Person.
- 2) Parallel dazu wurden die Ist-, Richt- und Zielwerte mit einem Bottom-Up-Ansatz nachgerechnet (auf Basis von Modellgebäuden bzw. aus Mobilitätsbefragungen).
- 3) Die Ergebnisse aus beiden Ansätzen wurden schließlich zusammengeführt und zu finalen Richt- und Zielwerten weiterentwickelt.

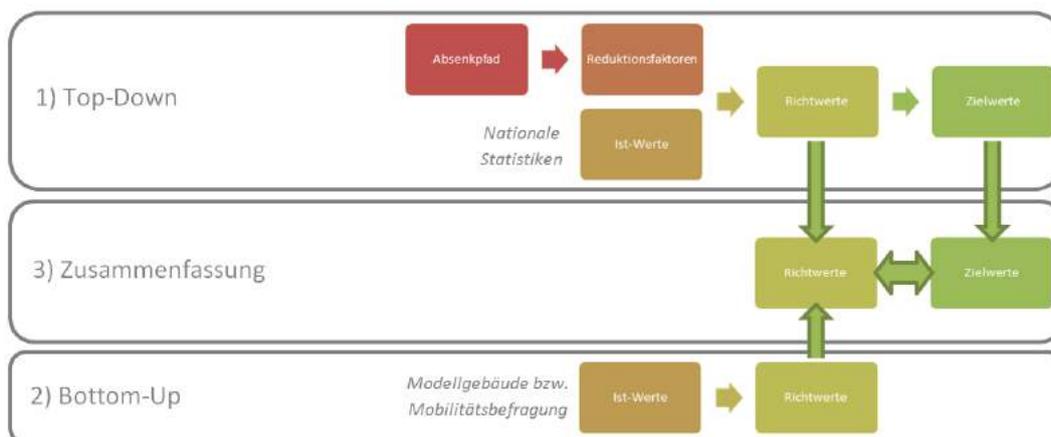


Abbildung 3: Methodik zur Ableitung von Richt- und Zielwerten (SIR, 2017)

Im folgenden Kapitel sind die Vorgangsweisen, Methoden und verwendeten Daten der einzelnen Schritte ausführlich beschrieben.

¹ Es gibt weitere Richt- und Zielwerte für die Systemgrenzen Schweiz, Kantone, Regionen, Städte, Gemeinden, Areale, Gebäude, Personen und Haushalte.

3 Nationale Zielwerte

3.1 Überblick Kapitel 3

3.1.1 Abkürzungen

PEB ges.	Primärenergiebedarf gesamt
PEB n.ern.	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar
PEB ern.	Primärenergiebedarf erneuerbar
THG-E	Treibhausgas-Emissionen
G.	Gebäude
M.	Mobilität

3.1.2 Inhalt

Inhalt dieses Kapitels ist die Herleitung von Zielwerten nach dem Top-Down-Ansatz. Beschrieben wird die Ableitung des nationalen Absenkpfad – welcher die Grundlage für die Berechnung der Reduktionsfaktoren darstellt – und die Ableitung der Ist-Werte für die Verwendungszwecke Graue Energie, Betriebsenergie und Alltagsmobilität, welche schließlich die Grundlage für die Festlegung der Zielwerte – unter Berücksichtigung der Ziele des Absenkpfad – für die einzelnen Gebäudekategorien bilden.

3.1.3 Abgrenzung

Es wird kein umfassender Vergleich mit den Teilergebnissen des Schweizer Bilanzierungskonzepts der 2.000-Watt-Gesellschaft durchgeführt.

3.1.4 Weiterführende Literatur

Detailergebnisse sind in folgendem Bericht dargestellt: Mair am Tinkhof O., Strasser H., Rehbogen A.: Richt- und Zielwerte für Siedlungen. SIR – Salzburger Institut für Raumordnung und Wohnen, Salzburg 2017. In diesem Bericht findet sich auch eine Gegenüberstellung zwischen den im Rahmen dieses Projekts ermittelten Richt- und Zielwerten und den Schweizer Richt- und Zielwerten.

3.2 Ableitung Absenkpfad

In der Schweiz bilden die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft bzw. der SIA-Effizienzpfad die Basis für die Ableitung von Zielwerten auf Gebäude- bzw. Siedlungsebene. In Österreich hingegen liegt zurzeit kein (politisch beschlossener) Absenkpfad bis zum Jahr 2050 vor. In einem ersten Schritt wurde daher ein Absenkpfad für Österreich aus bestehenden Positionspapieren und Datenquellen abgeleitet.

Grundlage für die Ableitung eines Österreichischen Absenkpfaades bildete unter anderem das Grünbuch für eine integrierte Energie- und Klimastrategie, welches im Sommer 2016 herausgegeben wurde (BMWFW und BMLFUW, 2016). In diesem sind die aktuellen Energieverbräuche und THG-Emissionen für verschiedene Entwicklungsszenarien und gesetzliche Vorgaben im Energie- und Klimabereich beschrieben. Ein zentrales Element bilden dabei die in Abbildung 4 dargestellten Studien, in welchen eine Vielzahl an potentiellen Entwicklungen und deren Auswirkungen berechnet wurden:

Auftraggeber	Studie / Bearbeiter	Szenario	Kategorie	Zeithorizont
EU-Kommission	Primes 2013	Reference	BAU	2050
BMLFUW	MonMech	WEM	BAU	2030 ⁵
BMLFUW	MonMech	WAM	Fokus Energieeffizienz, Erneuerbare CO ₂ -Reduktion	2030 ⁶
BMLFUW	MonMech	WAM+	Fokus Energieeffizienz, Erneuerbare CO ₂ -Reduktion/Ambitionierte Dekarbonisierung	2050
BMWFW	AEA	Base	BAU	2030
BMWFW	WiFo / Strategy Lab	Eff	Fokus Energieeffizienz, Erneuerbare CO ₂ -Reduktion	2050
BMWFW	WiFo / Strategy Lab	Eff+	Fokus Energieeffizienz, Erneuerbare CO ₂ -Reduktion	2050
GLOBAL 2000, Greenpeace und WWF	Energiezukunft Österreich	Energiezukunft	Ambitionierte Dekarbonisierung	2050
Erneuerbare Energie Österreich	Energiewende 2013 - 2030 - 2050	Energiewende	Ambitionierte Dekarbonisierung	2050

Abbildung 4: Die für die Erstellung des Grünbuchs für eine integrierte Energie- und Klimastrategie herangezogenen Studien. Fußnote 5&6: Die Szenarien WEM und WAM fokussieren den Zeithorizont bis 2030, berechnen aber auch konkrete Kennzahlen für 2050. (Quelle: BMWFW und BMLFUW, 2016; Seite 55)

Grundsätzlich kann man die einzelnen Szenarien folgendermaßen kategorisieren (vgl. auch BMWWF und BMLFUW, 2016):

- **Business as usual:** Es wird davon ausgegangen, dass die bestehenden Maßnahmen zum Klimaschutz auch in Zukunft umgesetzt werden.
- **Umsetzung umfassender Maßnahmen:** Es wird davon ausgegangen, dass zusätzlich zu den bestehenden Maßnahmen zusätzliche Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, dem Ausbau erneuerbarer Energieträger und zur CO₂-Reduktion umgesetzt werden (Fokus Energieeffizienz, Erneuerbare Energie, CO₂-Reduktion).
- **Ambitionierte Dekarbonisierung:** Es wird davon ausgegangen, dass die Dekarbonisierung als politisches Ziel in Österreich beschlossen wird und entsprechende Maßnahmen umgesetzt werden.

Für die weitere Analyse wurde der Status-Quo für das Jahr 2014 und die möglichen zukünftigen Entwicklungen bis 2050 des Primärenergieverbrauchs gesamt und nicht erneuerbar sowie der THG-Emissionen aufbereitet und durch die prognostizierte Bevölkerungsentwicklung dividiert (Quelle: Statistik Austria – Bevölkerungsprognose 2015. Vorausberechnete Bevölkerungsstruktur für Österreich 2014-2075 laut Hauptszenario; Detailergebnisse siehe Mair am Tinkhof et al., 2017). Daraus ergibt sich für das Jahr 2014 eine mittlere jährliche Leistung der Primärenergie gesamt von 5.151 W pro Person und Jahr, eine mittlere jährliche Leistung der Primärenergie nicht erneuerbar von 3.594 W pro Person und Jahr und THG-Emissionen in Höhe von rund 9 t CO_{2-eq.} pro Person und Jahr.

Bis zum Jahr 2050 kann – im ambitioniertesten Szenario – ein Zielwert von 2.847 bzw. 276 W pro Person und Jahr bzw. 1,5 t CO_{2-eq.} pro Person und Jahr erreicht werden. Dazu müssen umfassende Maßnahmen unter Berücksichtigung der international vorgegebenen und national adaptierten Zielwerte umgesetzt werden (Szenario: Umsetzung umfassender Maßnahmen). Die Ergebnisse für 2050 wurden anschließend mit Ergebnissen aus folgenden Studien verglichen:

- Schweizer Bilanzierungskonzept der 2.000-Watt-Gesellschaft (2000-Watt, 2016)
- Rahmenstrategie 2050 der Smart City Wien (Holzer et al., 2015)
- Österreichischer Klima-Zielpfadrechner, Beispiel #4, Wesentliche Fortschritte in allen Bereichen (www.bmlfuw.gv.at/umwelt/klimaschutz/zielpfadrechner.html; Zugriff am 14.11.2016)
- Szenario Erneuerbare Energie von der Umweltbundesamt GmbH; Veröffentlichung 2016 (Umweltbundesamt GmbH 2, 2016)

Die Ergebnisse dieser Gegenüberstellung sind in der Abbildung 5 grafisch dargestellt:

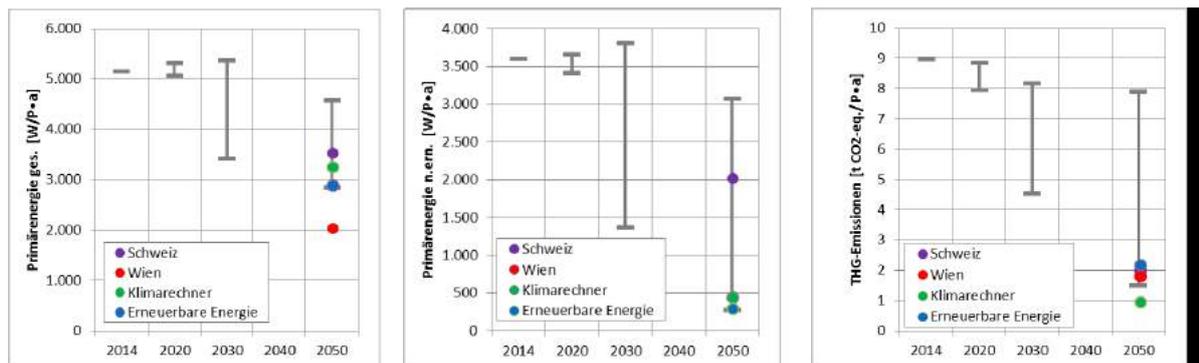


Abbildung 5: Ermittelte Zielwerte für Österreich im Vergleich mit Zielwerten aus anderen Studien (SIR, 2017)

Wie in Abbildung 5 dargestellt, stimmt die Größenordnung der im Zuge dieser Studie ermittelten Zielwerte im Bereich der THG-Emissionen (graue Linien) mit den Ergebnissen aus den vier Vergleichsstudien (farbige Punkte) recht gut überein.

Für die Primärenergie weichen die Ergebnisse hingegen deutlich voneinander ab. Dies lässt sich bei der Primärenergie gesamt zum einen dadurch erklären, dass die Stadt Wien mit rund 3.429 W pro Person und Jahr einen deutlich geringeren spezifischen Ausgangswert (im Jahr 2011) aufweist als die Ausgangswerte in den anderen verglichenen Studien, welche sich auf eine ganze Nation beziehen (Schweiz bzw. Österreich). Bei gleicher Ambitioniertheit (Reduktionsfaktor Wien: 1,7 zwischen 2011 und 2050) ergibt sich dadurch ein entsprechend geringerer Zielwert. Die Abweichung im Bereich der Primärenergie nicht erneuerbar lassen sich dadurch erklären, dass in der Schweiz – im Gegensatz zu den anderen verglichenen Studien – erst für das Zieljahr 2100 ein vergleichbarer Zielwert gefordert wird (500 Watt pro Person und Jahr).

Für die weitere Betrachtung wurden – nach Durchlaufen des internen Qualitätssicherungsprozesses – schließlich die Werte aus dem Szenario „Erneuerbare Energie“ aus der Studie der Umweltbundesamt GmbH herangezogen (Umweltbundesamt GmbH 2, 2016; blaue Punkte). Die in dieser Studie angeführten Zielwerte können aus technischer Sicht mit den derzeitig zur Verfügung stehenden Technologien erreicht werden. Aus politischer Sicht ist die Zielerreichung hingegen sehr herausfordernd, da für die Zielerreichung umfassende Maßnahmenpakete beschlossen und umgesetzt werden müssen.

Die für Österreich für die einzelnen Zielgrößen abgeleiteten Absenkpfade lassen sich somit wie folgt darstellen (vgl. Abbildung 6 bzw. Tabelle 2):

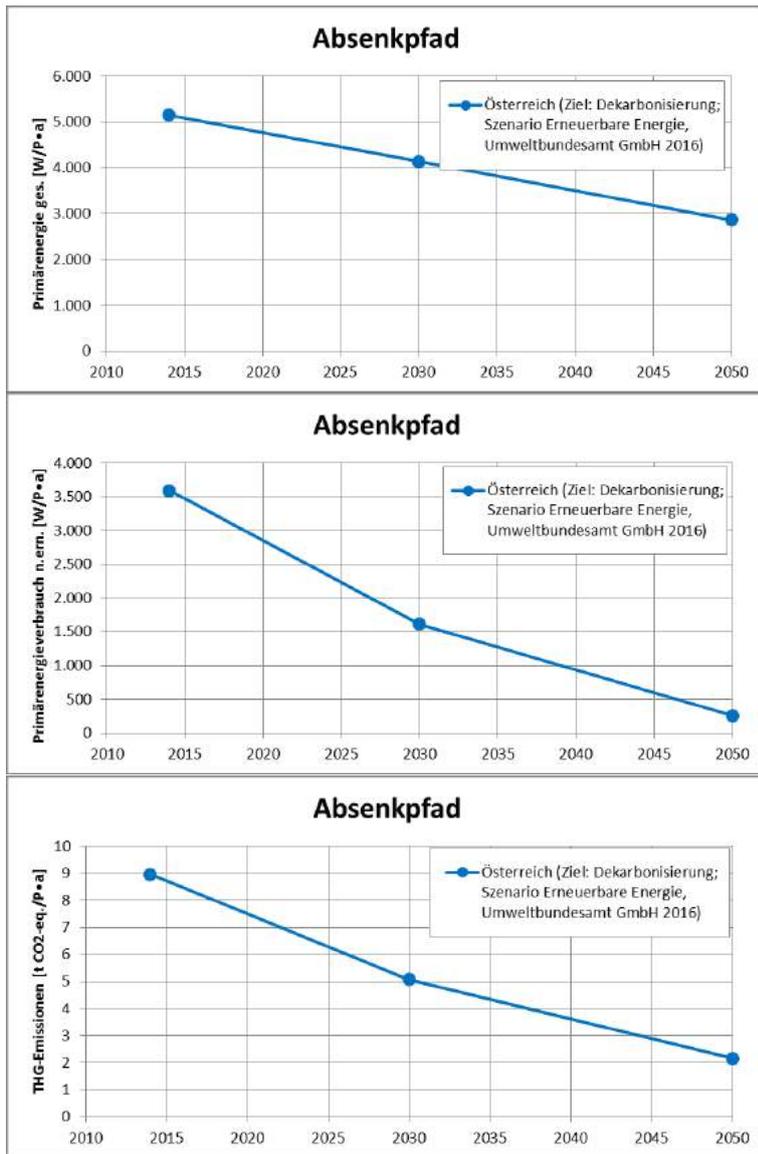


Abbildung 6: Abgeleitete Absenkpfade für Österreich für die einzelnen Zielgrößen (SIR, 2017)

Tabelle 2: Abgeleitete Absenkpfad für Österreich für die einzelnen Zielgrößen (SIR, 2017)

Indikator	2014	2030	2050
Primärenergieverbrauch gesamt [W/P·a]	5.151	4.142	2.862
Primärenergieverbrauch nicht erneuerbar [W/P·a]	3.596	1.615	258
THG-Emissionen [t CO ₂ -eq./Person·a]	9,0	5,1	2,2

3.3 Ermittlung der Reduktionsfaktoren

Grundlage für die Ermittlung der Reduktionsfaktoren bildeten die nationalen Ist- und Zielwerte aus den Absenkpfeilen. Die Einzelergebnisse aus den Absenkpfeilen für die drei relevanten Indikatoren wurden für den für dieses Projekt relevanten Zeitraum 2014 bis 2050 dividiert und ergaben folgende Reduktionsfaktoren:

- Primärenergiebedarf gesamt: 1,8
- Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 13,0
- THG-Emissionen: 4,2

3.4 Ermittlung der Ist-Werte pro Verwendungszweck

Ausgehend von dem im Abschnitt 3.2 dargestellten nationalen Endenergieverbrauch für das Jahr 2014, wurden die Endenergieverbräuche für die Verwendungszwecke Graue Energie und Betriebsenergie aller Gebäude sowie der Grauen Energie und Betriebsenergie der Alltagsmobilität abgeleitet. Da die einzelnen Endenergieverbräuche nicht direkt aus der oben angeführten Quelle bezogen werden konnte, wurden diese – sofern verfügbar – aus anderen nationalen Statistiken abgeleitet und auf einen spezifischen Wert (pro m²) heruntergebrochen. Zwischenergebnisse sind im Bericht „Herleitung von Richt- und Zielwerte für Siedlungen“ angeführt (Mair am Tinkhof et al., 2017).

Der Endenergieverbrauch für den Verwendungszweck „Graue Energie Gebäude“ für Wohngebäude wurden aus dem Projekt ZERSiedelt abgeleitet (Stejskal et al., 2011). Grundsätzlich sind in der Studie nur Werte bis zum Jahr 2010 berechnet. Daher wurde zur Bestimmung des Endenergieverbrauchs für den Verwendungszweck „Graue Energie Gebäude“ für das Jahr 2014 die Annahme getroffen, dass die Graue Energie – so wie im Projekt ZERSiedelt angegeben – rund 3,5 % des gesamten Bruttoinlandsverbrauchs ausmacht. Der Bruttoinlandsverbrauch für das Jahr 2014 wurde dabei aus der Nutzenergieanalyse bezogen (Quelle: Statistik Austria – Gesamtbilanz. Österreich 1970 bis 2014). Für Büro- und Schulgebäude lagen hingegen keine brauchbaren Datenquellen vor. Daher wurden die Werte aus einer Schweizer Studie übernommen (Wertstoff-Börse GmbH, 2009). Auch für den Verwendungszweck „Graue Energie der Mobilitätsinfrastruktur“ wurden die Ist-Werte für alle drei Gebäudekategorien aus einer Schweizer Studie übernommen (Planungsbüro Jud, 2009).

Der Endenergieverbrauch für den Verwendungszweck „Betriebsenergie von Gebäuden“ wurde aus der Nutzenergieanalyse für Österreich abgeleitet (Quelle: Statistik Austria – Gesamtbilanz. Österreich 1970 bis 2014). Für Wohngebäude wurden zu diesem Zweck die Kategorie „Haushalte“ aus der Nutzungskategorie „Sonstige Wirtschaftsbereiche“ ausgewertet. Für Büro- und Schulgebäude konnte hingegen keine Zuordnung getroffen werden. Aus diesem Grund wurden die Schweizer Ist-Werte übernommen.

Auch der Endenergieverbrauch für den Verwendungszweck „Alltagsmobilität“ wurde aus der Nutzenergieanalyse für Österreich abgeleitet (Quelle: Statistik Austria – Gesamtbilanz. Österreich 1970 bis 2014). Dazu wurde die Nutzungskategorie „Sonstiger Landverkehr“ ausge-

wertet und in einem nächsten Schritt folgendermaßen auf den Personenverkehr bzw. die verschiedenen Gebäudekategorien aufgeteilt: Der Klimaschutzbericht der Umweltbundesamt GmbH weist im Sektor Verkehr für das Jahr 2014 THG-Emissionen in Höhe von 21,7 Mio. t CO_{2-eq.} auf (Umweltbundesamt GmbH 3, 2016). Ein sehr großer Teil davon (99 %) werden vom Straßenverkehr verursacht (Rest: Schienen-, Wasser- und Luftverkehr). Davon können wiederum 56 % dem Personenverkehr zugeordnet werden (Rest: Güterverkehr) und wiederum rund 5 % dieser Menge können dem Kraftstoffexport zugerechnet werden. Somit bleibt ein bereinigter Wert von 11,49 Mio. t CO_{2-eq.} übrig. Rund 53 % der gesamten Emissionen können somit dem Bereich Personenverkehr zugeordnet werden. Dieser Prozentsatz wurde mit allen Werten aus der Kategorie „Sonstiger Landverkehr“ multipliziert und ergab schließlich den „Personenverkehr gesamt“. Um von diesem auf die spezifischen Werte in den Bereichen Wohngebäude, Arbeitsstätten, Ausbildungsstätten zu gelangen, wurden folgende Prozentwerte aus der Umfrage „Österreich unterwegs“ herangezogen und für den Nutzungstyp Wohngebäude, Arbeitsstätten und Ausbildungsstätten mit dem Personenverkehr gesamt multipliziert (vgl. auch Tomschy und Schuster, 2017):

Nutzungstyp Wohngebäude	50%	Österreich unterwegs
Nutzungstyp Arbeitsstätten	21%	Österreich unterwegs
Anteil Beschäftigte in Bürogebäuden	23%	Statistik Austria, Arbeitsmarktstatistik
Nutzungstyp Ausbildungsstätten	1%	Österreich unterwegs
Anteil Beschäftigte in Schulen	7%	Statistik Austria, Arbeitsmarktstatistik
Zuschlag für Schüler (nicht in Arbeitsmarktstatistik erfasst)	46%	SIA 2039

Es handelt sich dabei um den Anteil des kumulierten Energieaufwandes bzw. der THG-Emissionen. Im Gegensatz zu den Schweizer Prozentangaben, werden diese Angaben nicht mehr mit einem Anteil für Alltagsmobilität multipliziert, da diese Abgrenzung wie in der Schweiz auf Basis dieser Daten nicht möglich war (vgl. auch Kapitel 5). Die Alltagsmobilität für Bürogebäude wiederum wurde durch Multiplikation des Anteils der Beschäftigten in Bürogebäuden mit dem Mobilitätsaufkommen im Bereich der Arbeitsstätten ermittelt (Quelle: Statistik Austria – Arbeitsmarktstatistiken 2015. Erwerbspersonen C1. Wirtschaftszweig J bis O und U). Die Endenergieverbrauchswerte wurden schließlich mit den in Tabelle 3 angeführten Konversionsfaktoren multipliziert und durch die für dieses Projekt relevante Bezugsfläche (siehe Abschnitt 3.4.1) dividiert.

Tabelle 3: Verwendete Konversionsfaktoren (Datenquelle: Primärenergie: OIB 2015, THG-Emissionen: Umweltbundesamt GmbH, April 2016)

Konversionsfaktoren	f_{PE ges} [kWh/kWh]	f_{PE n.ern.} [kWh/kWh]	f_{PE ern.} [kWh/kWh]	f_{CO2-eq.} [g/kWh]
Steinkohle	1,46	1,46	0,00	410
Braunkohle	1,46	1,46	0,00	410
Koks	1,46	1,46	0,00	410
Petrolkoks	1,46	1,46	0,00	410
Heizöl	1,23	1,23	0,00	322
Gasöl für Heizzwecke	1,23	1,23	0,00	322
Diesel	1,23	1,23	0,00	295
Benzin	1,23	1,23	0,00	298
Petroleum	1,23	1,23	0,00	298
Flüssiggas	1,17	1,16	0,01	269
Naturgas	1,17	1,16	0,01	238
Elektrische Energie	1,91	1,32	0,59	279
Fernwärme	0,94	0,19	0,75	195
Brennholz	1,08	0,06	1,02	31
Biogene Brenn- und Treibstoffe	1,08	0,06	1,02	190
Brennbare Abfälle	1,08	0,06	1,02	31
Sonstige ET	0	0	0	0
Umgebungswärme etc.	1,66	0,66	1	93
Gichtgas	1,00	1,00	0	410
Kokereigas	1,00	1,00	0	410
Brenntorf	1,06	1,06	0	410

Die dadurch ermittelten Ist-Werte für das Jahr 2014 sind in der Tabelle 4 dargestellt:

Tabelle 4: Top-Down abgeleitete Ist-Werte (Berechnung: SIR, 2017; grau hinterlegt: Aus der Schweiz übernommen):

		IST-Werte 2014		
		PEB ges. [MJ/m²a]	PEB n.ern. [MJ/m²a]	THG-E [kg CO2-eq./m²a]
Wohngebäude	Graue Energie G.	128	90	7,1
	Betriebsenergie G.	844	505	36,1
	Graue Energie M.	80	78	2,8
	Betriebsenergie M.	280	260	18,2
	Summe pro m²	1.332	932	64,1
		PEB ges. [MJ/m²a]	PEB n.ern. [MJ/m²a]	THG-E [kg CO2-eq./m²a]
Bürogebäude	Graue Energie G.	169	145	11,0
	Betriebsenergie G.	1.758	1.460	75,9
	Graue Energie M.	200	194	7
	Betriebsenergie M.	274	254	17,8
	Summe pro m²	2.400	2.053	111,5
		PEB ges. [MJ/m²a]	PEB n.ern. [MJ/m²a]	THG-E [kg CO2-eq./m²a]
Schulgebäude	Graue Energie G.	143	123	9,4
	Betriebsenergie G.	1.170	995	59,3
	Graue Energie M.	43	40	1,5
	Betriebsenergie M.	160	149	10,4
	Summe pro m²	1.515	1.306	80,5
		Primärenergiebedarf gesamt [WP•a]	Primärenergiebedarf n.ern. [WP•a]	THG-Emissionen [kg CO2-eq./P•a]
Wohngebäude	Summe pro Person	1.871	1.309	2.842
Bürogebäude	Summe pro Person	326	279	477
Schulgebäude	Summe pro Person	108	93	181

3.4.1 Exkurs Bezugsfläche

Grundsätzlich wurden alle Ist- und Richtwerte auf die Energiebezugsfläche bezogen. Diese entspricht für dieses Projekt der Wohnnutzfläche, für Büro- und Schulgebäude der Nutzfläche gemäß ÖN B 1800 (2013) (vgl. auch Abschnitt 5.2.1). Für Wohngebäude konnte die Wohnnutzfläche aus nationalen Statistiken abgeleitet werden. Dazu wurde die Anzahl der Hauptwohnsitze (Quelle: Statistik Austria – Wohnen, Zahlen, Daten und Indikatoren der Wohnstatistik 2014) durch die Anzahl der Bevölkerung dividiert (Quelle: Statistik Austria – Bevölkerungsprognose 2015. Vorausberechnete Bevölkerungsstruktur für Österreich 2014-2075 laut Hauptszenario). Daraus konnte eine durchschnittliche Bezugsfläche von 44,3 m² pro Person für die Kategorie Wohnen ermittelt werden. Für Nicht-Wohngebäude liegen keine vergleichbaren Daten vor. Deshalb wurde für Nicht-Wohngebäude auf eine Studie aus dem Jahr 2012 Bezug genommen, in welcher die Nutzfläche von Bürogebäuden und anderen Dienstleistungsgebäuden hergeleitet wurde (Benke et al., 2012). Für Bürogebäude konnte ausgehend von einer gesamten Bürofläche von rund 36 Millionen m² eine spezifische Bürofläche von rund 4,3 m² pro Person ermittelt werden. Für Schulen hingegen wurde die personenbezogene Bezugsfläche pro Person auf Basis der Anzahl der Lehrkräfte und Schüler ermittelt (vgl. Abschnitt 5.5). In Summe ergab sich für diesen Bereich somit eine spezifische Bezugsfläche von rund 2,2 m² pro Person.

3.5 Top-Down abgeleitete Richt- und Zielwerte für Siedlungen

Die Richtwerte für die einzelnen Gebäudekategorien ergaben sich aus der Division der im Abschnitt 3.4 dargestellten Ist-Werte mit den im Abschnitt 3.3 dargestellten Reduktionsfaktoren. Die Zielwerte wurden mit Hilfe der im Abschnitt 3.4.1 dargestellten Bezugsflächen auf personenbezogene Werte umgerechnet. Dabei wurde die Annahme getroffen, dass der Flächenbedarf pro Person konstant bleibt. In der Tabelle 5 (in MJ) und Tabelle 6 (in kWh) sind die daraus resultierenden Richt- und Zielwerte dargestellt.

Tabelle 5: Top-Down abgeleitete Richt- und Zielwerte in MJ (Berechnung: SIR, 2017)

		Richtwerte - Top Down		
		PEB ges. [MJ/m²a]	PEB n.ern. [MJ/m²a]	THG-E [kg CO2-eq./m²a]
Wohngebäude	Graue Energie G.	71	7	1,7
	Betriebsenergie G.	469	39	8,7
	Graue Energie M.	44	6	0,7
	Betriebsenergie M.	156	20	4,4
	Summe pro m²	740	72	15,4
		PEB ges. [MJ/m²a]	PEB n.ern. [MJ/m²a]	THG-E [kg CO2-eq./m²a]
Bürogebäude	Graue Energie G.	94	11	2,6
	Betriebsenergie G.	977	112	18,3
	Graue Energie M.	111	15	1,7
	Betriebsenergie M.	152	20	4,3
	Summe pro m²	1.334	158	26,8
		PEB ges. [MJ/m²a]	PEB n.ern. [MJ/m²a]	THG-E [kg CO2-eq./m²a]
Schulgebäude	Graue Energie G.	79	9	2,3
	Betriebsenergie G.	651	77	14,3
	Graue Energie M.	24	3	0,4
	Betriebsenergie M.	89	11	2,5
	Summe pro m²	843	101	19,4
		Zielwerte		
		Primärenergiebedarf gesamt [W/P•a]	Primärenergiebedarf n.ern. [W/P•a]	THG-Emissionen [kg CO2-eq./P•a]
Wohngebäude	Summe pro Person	1.040	101	684
Bürogebäude	Summe pro Person	181	21	115
Schulgebäude	Summe pro Person	60	7	44

Tabelle 6: Top-Down abgeleitete Richt- und Zielwerte in kWh (Berechnung: SIR, 2017)

		Richtwerte - Top Down		
		PEB ges. [kWh/m²a]	PEB n.ern. [kWh/m²a]	THG-E [kg CO2-eq./m²a]
Wohngebäude	Graue Energie G.	20	2	1,7
	Betriebsenergie G.	130	11	8,7
	Graue Energie M.	12	2	0,7
	Betriebsenergie M.	43	6	4,4
	Summe pro m²	206	20	15,4
		PEB ges. [kWh/m²a]	PEB n.ern. [kWh/m²a]	THG-E [kg CO2-eq./m²a]
Bürogebäude	Graue Energie G.	26	3	2,6
	Betriebsenergie G.	271	31	18,3
	Graue Energie M.	31	4	1,7
	Betriebsenergie M.	42	5	4,3
	Summe pro m²	371	44	26,8
		PEB ges. [kWh/m²a]	PEB n.ern. [kWh/m²a]	THG-E [kg CO2-eq./m²a]
Schulgebäude	Graue Energie G.	22	3	2,3
	Betriebsenergie G.	181	21	14,3
	Graue Energie M.	7	1	0,4
	Betriebsenergie M.	25	3	2,5
	Summe pro m²	234	28	19,4
		Zielwerte		
		Primärenergiebedarf gesamt [W/P•a]	Primärenergiebedarf n.ern. [W/P•a]	THG-Emissionen [kg CO2-eq./P•a]
Wohngebäude	Summe pro Person	1.040	101	684
Bürogebäude	Summe pro Person	181	21	115
Schulgebäude	Summe pro Person	60	7	44

Die Ergebnisse aus der Top-Down-Berechnung wurden in einem abschließenden Schritt mittels ExpertInnengesprächen und Literaturangaben validiert. Dabei hat sich gezeigt, dass die Größenordnung der ermittelten Ist-, Richt- und Zielwerte recht gut mit anderen Studien vergleichbar ist (siehe auch Abschnitt 3.2). Aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen und getroffenen Annahmen ist ein direkter Vergleich mit z.B. den Ergebnissen aus der Schweiz aber nur bedingt sinnvoll.

Es ist außerdem anzuerkennen, dass nicht in allen Kategorien gleiche Reduktionspotenziale erzielbar sind. So hat die „Graue Energie“ von Gebäuden geringeres Reduktionspotenzial (es sei denn durch „Nichtbauen“) als z.B. die Alltagsmobilität. Weitere Informationen diesbezüglich sind im Kapitel 8 angeführt.

4 Richtwerte Graue Energie Gebäude (Bottom-Up)

4.1 Überblick Kapitel 4

4.1.1 Abkürzungen

A	Oberfläche,
A1-A3	Herstellungsphase
B4	Ersatz von Baumaterialien
BGF	Bruttogrundfläche
BK	Baukörper
C1-C4	Entsorgungsphase
EFH	Einfamilienhaus
EPS	Expandiertes Polystyrol
ges	gesamt
GWP	Globales Erwärmungspotenzial
GWP C	GWP des in Biomasse gespeicherten Kohlenstoffs
GWP P	GWP der in Prozessen emittierten Treibhausgasemissionen
GWP T	Globales Erwärmungspotenzial, total (Summe aus GWP C und GWP P)
HT	Haustechnik
KiGa	Kindergarten;
kond.	konditioniert (aufgrund bestimmungsgemäßer Nutzung beheizter und gekühlte Räume/Zonen)
NEH	Niedrigenergiehaus
PEE	Bedarf an nicht erneuerbarer und erneuerbarer Primärenergie, als Energieträger (Summe aus PENRE und PERE)
PEH	Plusenergiehaus
PENRE	Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie, als Energieträger
PENRM	Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie, als Rohstoff
PENRT	Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie, total (Summe aus PENRM und PENRE)
PERE	Bedarf an erneuerbarer Primärenergie, als Energieträger
PERM	Bedarf an erneuerbarer Primärenergie, als Rohstoff
PERT	Bedarf an erneuerbarer Primärenergie, total (Summe aus PERM und PERE)
PET	Bedarf an nicht erneuerbarer und erneuerbarer Primärenergie, total (Summe aus PENRT und PERT)
PH	Passivhaus
TQB	Total Quality Building (österreichisches Gebäudebewertungssystem)
V	Volumen
Wi	integrierte Wärmedämmung
WHA	Wohnhausanlage
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung

4.1.2 Inhalt

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die im Merkblatt 2040 Effizienzpfad Energie, Ausgabe 2011 genannten Schweizer Richtwerte für Gebäude und Areale im Rahmen der 2000-W-Gesellschaft hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf Österreich zu überprüfen. Im vorliegenden Kapitel 4 erfolgt dies für den Anwendungsbereich „Richtwerte für die Graue Energie von Gebäuden“. Grundlage für die Analyse bilden Berechnungen und Auswertungen von Wohn-, Büro-, Kindergarten- und Schulgebäuden. Das Projekt beschränkt sich auf die Bewertung von Neubauvorhaben.

Die Überprüfung soll sich sowohl auf die verwendeten Indikatoren als auch auf die im Merkblatt festgelegten Annahmen und Randbedingungen, das Rechenverfahren und die quantitativen Ziel- und Richtwerte beziehen.

Im Projekt noch nicht betrachtet werden damit folgende ökologisch relevante Bauvorhaben:

- Technische Infrastrukturbauten
- Sanierung und Bestandsbewertung

Im ersten Schritt wurde außerdem nur das Gebäude betrachtet (Außenanlagen wurden nicht berücksichtigt).

Als Ergebnisse sollen vorliegen:

- Leitfaden „Graue Energie von Gebäuden“ mit den methodischen Grundlagen
- Dokumentation und Analyse der Ergebnisse der „Grauen Energie“-Berechnungen von Gebäuden – Status Quo und Best practice
- Richtwerte für die „Graue Energie“ von Gebäuden

4.1.3 Abgrenzung

Die technische Infrastruktur der Siedlung (wie Verkehrsflächen, Wasserver- und -entsorgung, etc.) wird im entwickelten Bewertungssystem (noch) nicht behandelt. Sie sollte zukünftig als eigener Bereich („Graue Energie“ von Infrastrukturbauten) behandelt werden.

Jeglicher Güterverkehr von Rohstoffen bis zur Fertigstellung des Baumaterials ist in der „Grauen Energie“ enthalten. Der Transport der Baumaterialien zur Baustelle ist dem Sektor „Graue Energie Gebäude“ und nicht dem Sektor „Mobilität“ zuzuordnen. Der Abtransport von Abfällen bzw. Recyclinggut nach dem Ausbau bzw. Abbruch ist in den Richtwerten für die Entsorgung enthalten und wird damit ebenfalls dem Sektor „Graue Energie Gebäude“ zugeordnet. Die „Graue Energie“ für die Herstellung und Entsorgung von privaten Fahrzeugen bzw. öffentlichen Verkehrsmitteln sind hingegen im Sektor „Alltagsmobilität“ berücksichtigt (siehe Abschnitt 6.4.1).

Die ökologischen Aufwände für die Herstellung von Haustechnik-Komponenten werden dem Sektor „Graue Energie Gebäude“ zugeordnet.

Die Aufwände für die Errichtung von PV-Anlagen sollten – gemeinsam mit den Erträgen der PV-Anlage (siehe Abschnitt 5 „Gebäudebetrieb“) – separat dargestellt werden, da diese im Vergleich zu anderen Haustechnik-Komponenten relativ hoch sind.

In Bezug auf die Zielwerte pro Person sei vorab festgehalten, dass für den Bereich der „Grauen Energie“ jede Neubautätigkeit eine zusätzliche Belastung bedeutet. Eine Optimierung der „Grauen Energie“ im Neubaubereich reduziert keine Belastungen, sondern vermeidet noch höhere. „Das Nichtbauen“ ist im Hinblick auf die erforderliche „Graue Energie“ daher immer die ökologisch beste Variante. Neubautätigkeiten können daher nur im Gesamtkontext „Graue Energie“, „Betriebsenergie“ und „Alltagsmobilität“ als „2000 Watt-kompatibel“ erachtet werden.

4.1.4 Weiterführende Literatur

Die für das Bewertungssystem geltende Methode der Ökobilanzierung ist im Methoden-Leitfaden „Graue Energie von Gebäuden“ zusammengestellt. Im vorliegenden Kapitel werden einige Eckdaten daraus hervorgehoben. Für die Details ist der jeweils aktuelle Leitfaden zu konsultieren. Bei Widersprüchen zwischen nachfolgenden Texten mit dem Leitfaden gilt der Leitfaden: Figl H.: Methoden-Leitfaden „Graue Energie von Gebäuden“. IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Wien 2017.

4.2 Methodik

4.2.1 Vorgehensweise

Einheitliche Regeln für die Berechnung sind die Basis jedes Bewertungssystems. Im ersten Schritt wurden daher die Grundlagen und die Methodik für die „Graue Energie“-Berechnung und Richtwertableitung nach dem Bottom-up-Ansatz festgelegt. Methodische Grundlage für die Berechnung der „Grauen Energie“ sind die Produktkategorieregel für die Ökobilanzierung von Bauprodukten der EN 15804 und der dazugehörigen Produkt-TC's (z.B. EN 16485 PKR für Holz).

Ein wichtiger Punkt für die Anwenderfreundlichkeit des Bewertungssystems war der Abgleich mit den österreichischen Bewertungssystemen auf Produkt- und Gebäudeebene (klimaaktiv, Total Quality Building (TQB) und Bau EPD). Die Ergebnisse wurden im Methoden-Leitfaden „Graue Energie von Gebäuden“ zusammengefasst.

Eine wichtige Grundlage für die Ableitung von Richt- und Zielwerten und die spätere Optimierung von Gebäuden und Siedlungen in Richtung dieser Richt- und Zielwerte ist die gute Kenntnis des Status Quo. Zunächst wurde daher die „Graue Energie“ unterschiedlicher Gebäude entsprechend der festgelegten Typen ausgewertet.

Die Berechnung erfolgte nach den Vorgaben der österreichischen Gebäudebewertungssysteme (Herstellung und Austausch von Materialien gemäß klimaaktiv, TQB) mit erweiterter Systemgrenze (gesamtes Gebäude, inkl. Entsorgung). Abweichungen von den Bewertungssystemen wurden festgestellt, Möglichkeiten der Anerkennung bzw. erforderliche Adaptie-

rungen der österreichischen Bewertungssysteme auf Siedlungsebene wurden im Leitfaden „Graue Energie von Gebäuden“ festgehalten.

Die begrenzte Zahl an Gebäuden, die im Rahmen der Studie analysiert werden konnte, ist nicht ausreichend, um daraus statistisch abgesicherte Richt- und Zielwerte abzuleiten. Da die Basisdaten für die Ökobilanz und die eingesetzten Baumaterialien und Bauweisen zwischen Schweiz und Österreich sehr gut vergleichbar sind, wurden die Schweizer Richtwerte für die Graue Energie als guter Anhaltspunkt für die Ableitung von Test-Richtwerten herangezogen. Die Test-Richtwerte wurden an Hand der analysierten Gebäude getestet und aus den Ergebnissen die Schlussfolgerungen der Bottom-Up-Analyse für österreichische Richtwerte gezogen.

Die Arbeitsschritte im Einzelnen waren:

- Festlegung und Dokumentation der Bewertungsmethode
- Auswahl von typischen Gebäuden für Einfamilienhaus (EFH), Mehrfamilienhaus (MFH), Bürogebäude, Schulen und Kindergärten
- Festlegung unterschiedlicher Bauweisen (Holzrahmen, Stahlbeton, Ziegel, etc.) für die einzelnen Gebäudekategorien
- Festlegung von Haustechniksystemen für „real“ und für „best practice“ für die einzelnen Gebäudekategorien
- Ableitung von auf m²-bezogenen Test-Richtwerten
- Berechnung der Grauen Energie für die unterschiedlichen Gebäudevarianten
- Ableitung der auf m²-bezogenen Richtwerte und Revision der methodischen Grundlagen

4.2.2 Bilanzrahmen

4.2.2.1 Betrachtete Lebensphasen (Systemgrenzen)

Entsprechend der ÖNORM EN 15978 wird der Lebensweg des Gebäudes in die Herstellungsphase, Errichtungsphase, Nutzungsphase und Entsorgungsphase unterteilt, welche wiederum in weitere Teilabschnitte gegliedert werden (vgl. Tabelle 7). Außerhalb der Systemgrenze des Gebäudelebenszyklus liegt das sogenannte „Modul D“, in dem Vorteile und Belastungen durch Recycling oder Energierückgewinnung abgebildet werden können (z.B. Verbrennung von Altholz substituiert Verbrennung von Gas).

Tabelle 7: Lebenswegphasen („Module“) nach EN 15978

Herstellungsphase	A1	Rohstoffbeschaffung	o
	A2	Transport	o
	A3	Produktion	o
	A1-A3	Summe aus A1 bis A3	x
Errichtungsphase	A4	Transport	o
	A5	Errichtung / Einbau	
Nutzungsphase	B1	Nutzung	
	B2	Instandhaltung	
	B3	Instandsetzung	
	B4	Austausch	x
	B5	Modernisierung	
	B6	Energieverbrauch im Betrieb	
	B7	Wasserverbrauch im Betrieb	
Entsorgungsphase	C1	Rückbau/Abriss	o
	C2	Transport	o
	C3	Abfallbehandlung	o
	C4	Beseitigung	o
	C1-C4	Summe aus C1 bis C4	x
Gutschriften und Lasten	D	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotential	i

Die mit einem „x“ markierten Phasen sind in der vorliegenden Methode verpflichtend zu bilanzieren und auszuweisen. Für die Herstellungsphase und die Entsorgungsphase werden in der Regel aggregierte Kennwerte, d.h. die Summe von A1 bis A3 bzw. die Summe C1 bis C4 herangezogen. Optional können – bei entsprechender Datenlage – natürlich die Submodule auch einzeln berechnet und dann addiert werden („o“). Das „o“ bei Transporten Errichtungsphase (A4) bedeutet, dass die Betrachtung optional ist.

Das Modul D wird zugunsten der Transparenz nicht in das Bewertungssystem einbezogen. Das „i“ (für informativ) bedeutet, dass in einer eigenen Info-Box die Gutschriften und Lasten aus Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotential angezeigt werden sollen.

4.2.2.2 Betrachtete Gebäudekomponenten

Die Sachbilanz des Gebäudes sowie sonstiger Bauwerke auf dem Grundstück erfolgt über die Bauteile („Bauteilmethode“). Die Graue Energie des Bauteils im Gebäude wird berechnet aus den Indikatorwerten pro m^2 (oder m^3) Bauteil multipliziert mit der Fläche (oder dem Volumen) des Bauteils.

Werden die Abmessungen nicht exakt erhoben, sollen für die Bauteile der thermischen Gebäudehülle die Bruttoflächen (Außenabmessungen) wie im Energieausweis herangezogen werden. Für Innenbauteile können Nettoflächen verwendet werden.

Grundsätzlich sind sämtliche Bauteilschichten einer Konstruktion einzugeben. Hilfsstoffe (Schrauben, Klebstoffe, etc.) und Beschichtungen können vernachlässigt werden. Ebenso können lineare Elemente am Rande von Bauteilen wie Dachrinnen, Fensterzargen usw. vernachlässigt werden.

Grundsätzlich sollten alle Bauteile und Komponenten eines Gebäudes berücksichtigt werden (Bilanzgrenze 6 gemäß OI3-Berechnungsleitfaden). Aus praktischer Sicht kann dies jedoch zu einem unvermeidbar hohen Erfassungsaufwand führen. In den Gebäudebewertungssystemen von klimaaktiv und Total Quality Building werden daher auch reduzierte Betrachtungen der Gebäudebestandteile zugelassen (Bilanzgrenze BG0 bzw. BG3 gemäß OI3-Berechnungsleitfaden). Wie auch im Projekt HEROES gezeigt wurde, werden in der Bilanzgrenze BG0 relevante Umweltwirkungen vernachlässigt (HEROES, 2017). Für die vorliegende Bewertung gilt daher die Bilanzgrenze BG3 als Ausgangslage:

- Baukörper komplett: vollständige Konstruktionen der thermischen Gebäudehülle (inkl. Abdichtungen, hinterlüfteter Fassaden, Dachhaut, ...), inkl. Zwischendecken, Innenwände, -türen, -fenster inkl. aller Bauteile des Kellers, nicht-konditionierter Puffer- und Nebenräume im Baukörper, Tiefgaragen
 - exkl. offener Stiegenhäuser, Laubengänge, Feuerstiegen, exkl. Außenanlagen und Erschließungswege am Grundstück, exkl. kleinerer Nebengebäude wie Carports, Trafostationen, etc., exkl. Haustechnik-Komponenten
 - Berücksichtigung von Nutzungsdauern und Austauschzyklen von Baumaterialien
- aber um folgende Erweiterungen ergänzt:
- Die Graue Energie von Photovoltaikanlagen ist zu erfassen, wird jedoch nicht als Bestandteil der Grauen Energie von Gebäuden, sondern als eigener Aspekt behandelt (siehe auch Kapitel Abgrenzung).
 - Wesentliche Elemente der Haustechnik (mit Ausnahme von Photovoltaikanlagen) sollten erfasst werden. Sie können entweder genau bilanziert werden oder mit den im Leitfaden „Graue Energie von Gebäuden“ genannten Werten angesetzt werden. Ausnahme: Besonders aufwändige, nicht übliche Haustechnik-Komponenten wie z.B. große thermische Solarspeichersysteme, Tiefbohrsonden oder Batteriespeicher sollten zusätzlich erfasst werden.
 - Aufwändige Nebengebäude wie Hochgaragen etc. sind zu berücksichtigen. Carports, Gartenhäuser, Fahrradboxen, Trafostationen, etc. können vernachlässigt werden.

4.2.3 Methode der Ökobilanz

4.2.3.1 Normen

Folgende Normen (in geltender Fassung) bilden die methodischen Grundlagen für die Ökobilanzierung:

- ÖNORM EN ISO 14040 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen
- ÖNORM EN ISO 14044 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen
- ÖNORM EN 15804 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltdeklarationen für Produkte – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte
- ÖNORM EN 15978 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bestimmung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode
- ÖNORM EN 16485 Rund- und Schnittholz – Umweltproduktdeklarationen – Produktkategorieregeln für Holz und Holzwerkstoffe im Bauwesen
- CEN/TR 16970 Nachhaltiges Bauen — Leitfaden für die Anwendung von EN 15804

4.2.3.2 Graue Energie

Die „Graue Energie“ beschreibt die gesamte Menge an Primärenergie, welche für alle über den gesamten Lebensweg eines Baumaterials oder Gebäudes stattfindenden Prozesse (Rohstoffgewinnung, Herstellung, Verarbeitung, Instandhaltung, Entsorgung, Transporte) aufgewendet wird. Wie im Schweizer Vorbild wird in der vorliegenden Studie außerdem das Klimaerwärmungspotenzial (Global Warming Potential unter dem Begriff „Graue Energie“ subsumiert.

Unter dem Begriff „Graue Energie“ werden im vorliegenden Projekt folgende Indikatoren subsumiert:

PENRM	Nicht erneuerbare Primärenergie, als Rohstoff
PENRE	Nicht erneuerbare Primärenergie, als Energieträger
PENRT	Nicht erneuerbare Primärenergie, total (Summe aus PENRM und PENRE)
PERM	Erneuerbare Primärenergie, als Rohstoff
PERE	Erneuerbare Primärenergie, als Energieträger
PERT	Erneuerbare Primärenergie, total (Summe aus PERM und PERE)
PEE	Nicht erneuerbare und erneuerbare Primärenergie, als Energieträger (Summe aus PENRE und PERE)
PET	Nicht erneuerbare und erneuerbare Primärenergie, total (Summe aus PENRT und PERT)
GWP C-Gehalt bzw. GWP C	Globales Erwärmungspotenzial des in Biomasse gespeicherten Kohlenstoffs

GWP Prozess bzw. GWP P	Globales Erwärmungspotenzial der in Prozessen emittierten Treibhausgasemissionen
GWP Summe bzw. GWP T	Globales Erwärmungspotenzial, total (Summe aus GWP C-Gehalt und GWP Prozess)

Hinweis: Diese Indikatoren stellen wichtige ökologische Bewertungsgrößen dar. Für eine umfassendere Beurteilung der Umweltbelastungen über den Lebensweg eines Gebäudes müssen weitere Parameter hinzugezogen werden.

4.2.3.3 Wesentliche methodische Vorgaben

Im Einklang mit der OI3-Methode wird für alle untersuchten Gebäudekategorien (Wohn-, Büro- und Schulgebäude) ein Betrachtungszeitraum von 100 Jahren festgelegt.

Nutzungsphase (B4)

Die Nutzungsdauer von Gebäuden, Bauteilen und Baustoffen spielt eine wesentliche Rolle für die ökologische Gebäudequalität. Gebäudekomponenten, die doppelt so lange halten wie Alternativprodukte, könnten mit höherem Aufwand hergestellt werden und dennoch in der Gesamtbetrachtung ökologisch besser abschneiden.

Für die Nutzungsdauern von Gebäudekomponenten stehen in den österreichischen Bewertungssystemen derzeit zwei Quellen mit Vorschlagswerten zur Verfügung:

- baubook-Vorschlagswerte für Nutzungsdauern von Gebäudekomponenten
- Vorschlagswerte auf Basis eines detaillierteren Nutzungsdauermodells nach (Zelger et al., 2009).

Auf Grund der vielen Einflussfaktoren kann eine Nutzungsdauerprognose nur am konkreten Gebäude unter Kenntnis der konkreten Einbaubedingungen erfolgen. Die Vorschlagswerte können (und sollen) daher durch gebäude- und produktspezifische Werte ersetzt werden.

Aus den angenommenen Nutzungsdauern resultieren Austauschraten für die Baumaterialien. Die ÖNORM EN 15978 sieht nur ganzzahlige Austauschraten vor. Da die vorliegende Methode in Einklang mit den gängigen Normen sein soll, wird diese Vorgangsweise trotz der stark eingeschränkten Differenzierungsmöglichkeiten hier übernommen. Das vereinfachte Gebäudebilanzierungsmodell sieht vor, dass das Baumaterialien jedes Mal mit dem gleichen ökologischen Aufwand hergestellt wird. Das bedeutet, dass die Ökobilanz-Indikatoren für die Herstellung mit der Anzahl der Austauschraten multipliziert werden.

Einen Spezialfall stellt die Berechnung des GWP des im Material gespeicherten biogenen Kohlenstoffs (GWP C) dar. Bei jedem Materialtausch wird das GWP C ausgebucht. Das bedeutet, dass das GWP C nur einmal (für die Ersterrichtung) angerechnet wird. Für die Nutzungsphase (B4) ist das GWP C gleich Null.

End of life

In den österreichischen Gebäudebewertungssystemen wird die Entsorgung derzeit qualitativ (mit dem Entsorgungsindikator EI) bewertet. Bis die Entsorgungsphase auch in der Ökobilanz berücksichtigt wird, wird folgende Vorgangsweise als Alternative zur genauen Ökobilanzierung angeboten:

- Das $GWP_{C\text{-Gehalt}}$ des in biogenen Materialien gespeicherten Kohlenstoffs muss in der Entsorgungsphase normgemäß wieder ausgebucht werden (ÖNROM EN 16485 bzw. CEN/TR 16970):
 - Das $GWP_{C\text{-Gehalt}}$ für die Entsorgungsphase der Baumaterialien der Herstellungsphase (C1-C4 aus A1-A3) entspricht daher dem positiven Werte des $GWP_{C\text{-Gehalt}}$ in der Herstellung.
 - Für die Nutzungsphase (B4) ist die Ausbuchung des gespeicherten CO_2 von Materialien, die in die Entsorgung gehen, bereits berücksichtigt und somit im $GWP_{C\text{-Gehalt}}$ enthalten (siehe letzter Absatz im Abschnitt „Nutzungsphase (B4)“).
- Die prozessbezogenen Indikatoren (PENRE, PERE und das GWP_P) für die Entsorgung der Baumaterialien aus der Herstellungsphase (C1-C4 aus A1-A3) werden mit Hilfe der Gesamtmasse des Gebäudes mit Hilfe folgender Basisannahmen abgeschätzt:
 - Betone und Estriche nehmen in der Mehrheit der Gebäude den weitaus größten Masseanteil ein.
 - Der Primärenergiebedarf und das GWP unterscheiden sich nicht wesentlich zwischen dem Recycling und der Deponierung von mineralischen Baurestmassen, weil die Deponierung von mineralischen Baurestmassen selbst wenig Energieaufwand benötigt und keine Treibhausgasemissionen verursacht.
 - Der IBO-Richtwert „Beton zur Deponierung“ enthält einen höheren Aufwand für den Abbruch als die Datensätze für die mineralischen Baurestmassen bzw. für das Recycling.

Im Sinne eines Worst-Case Scenarios wird daher für die gesamte Gebäudemasse der IBO-Richtwert „Beton zur Deponierung“ herangezogen, um den PENRE, PERE und das GWP_P der Entsorgungsphase abzuschätzen. Vergleiche zwischen berechneten und abgeschätzten Ergebnissen zeigten gute Übereinstimmung (in der Größenordnung von 10 % bei insgesamt geringer Bedeutung dieser Indikatorwerte – weit unter 10 % – im Lebenszyklus).

Die Gesamtmasse des Gebäudes wird z.B. in der Bilanzierungssoftware eco2soft mitberechnet.

- Die Entsorgungsphase für die über den Lebenszyklus des Gebäudes ausgetauschten Baumaterialien wird vernachlässigt (geringe Masse im Vergleich zur Herstellung).
- Die Entsorgung von Haustechnikkomponenten kann derzeit wegen der fehlenden Datensätze nicht berücksichtigt werden.

Transporte zur Baustelle (A4)

In der Bilanzierungssoftware eco2soft besteht die Möglichkeit, die Baumaterialtransporte zur Baustelle detailliert zu berechnen. Alternativ können die Belastungen durch den Transport zur Baustelle wie bei der Entsorgung aus der Gesamtmasse des Gebäudes abgeschätzt werden. Es wird dabei angenommen, dass alle Baumaterialien im Durchschnitt über 100 km und mit einem 16t-LKW transportiert werden.

4.2.3.4 Datenquellen

Für die Berechnung der „Grauen Energie“ sind die baubook Richtwerte bzw. produktspezifische Werte, welche nach den Produktkategorieregeln der Bau EPD GmbH berechnet wurden und auf der Hintergrunddatenbankecoinvent beruhen², heranzuziehen, da in diesem Fall die methodische Übereinstimmung mit den Richtwerten gegeben ist.

Für die baubook Richtwerte werden die Ökobilanzindikatoren der IBO-Richtwerte für Baumaterialien mit den bauphysikalischen Daten aus baubook (Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit) kombiniert. Die Baumaterialien sind stufenkumuliert über alle Prozesse von der Rohstoffgewinnung bis zum Ende der Produktionsphase bilanziert (Cradle to Gate, Module A1 bis A3 gemäß ÖNORM EN 15804).

Im baubook Rechner für Bauteile (<https://www.baubook.info/BTR/>) sind vorgefertigte Beispielbauteile zu finden, die kopiert und bearbeitet werden können. Es können Schichten gelöscht, neue hinzugefügt, die Reihenfolge der Schichten und die Schichtdicken geändert werden. Die Beispielaufbauten sind auch direkt aus eco2soft, dem Ökobilanzrechner für Gebäude auf baubook, aufrufbar und bearbeitbar. Datenquelle der Beispielaufbauten für den Neubaubereich ist der IBO Passivhaus-Bauteilkatalog (Zelger et al., 2008). Dieser umfasst 68 Regelquerschnitte in zwei Varianten.

4.3 Ergebnisse der Gebäudeanalyse

4.3.1 Methode Gebäudeanalyse

4.3.1.1 Auswahl von Gebäuden

Im vorliegenden Projekt wurden zunächst Wohngebäude, Bürogebäude und Schulgebäude im Neubau betrachtet.

Es wurde versucht, möglichst repräsentative Gebäude für alle Gebäudekategorien zu finden. Da der Aufwand für eine umfassende Datenerhebung und Ökobilanz von Gebäuden über den Lebenszyklus jedoch beträchtlich ist, wurde im Rahmen des Projekts auf Ergebnisse aus anderen Projekten zurückgegriffen werden. Diese wurden um die fehlenden Daten und Berechnungen ergänzt, um die Systemgrenzen zu vervollständigen.

² Aufnahmekriterien für produktspezifische Ökobilanzdaten in die baubook

Untersucht wurden unterschiedlichste Bauweisen anhand gleicher Baukörper (Massivbau, Holzleichtbau, Holzmassivbau). Bei einer Wohnhausanlage wurden auch unterschiedliche Haustechnikausstattungen betrachtet (realisierte Haustechnik, Haustechnik mit höchsten Materialeinsatz und mit geringstem Materialeinsatz).

Die Gebäudehüllen weisen vorwiegend Passivhausqualität auf. Zum Vergleich wurde eine Wohnhausanlage in Niedrigenergiehausstandard (Baustandard aus dem Jahr 2000) hinzugenommen.

Die Kompaktheitsklassen reichen von $l_c = 1,45$ m (kleinstvolumigen Objekten) bis zu hochhausähnlichen Objekten mit l_c von 4,5 m (l_c = charakteristische Länge, V/A).

In der Tabelle 8 sind die untersuchten Objekte in den unterschiedlichen Varianten kurz beschrieben:

Tabelle 8: Beschreibung der betrachteten Gebäude. Abkürzungen: EFH ... Einfamilienhaus, WHA ... Wohnhausanlage, KiGa ... Kindergarten; A ... Oberfläche, V ... Volumen, BGF ... Bruttogrundfläche, kond... .. konditionierte, ges ... gesamte; weitere Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis

Bezeichnung	Beschreibung	A/V	kond. BGF	ges BGF
EFH 1 Holz leicht g	Holz Leichtbau; gängige Baumaterialien; Hülle in PH-Qualität, nicht kond. Keller Quelle BK: eco2soft, HT: Sölkner et al 2013	0,7	158	217
EFH 1 Holz leicht a	Holz Leichtbau; alternative Baumaterialien; Hülle in PH-Qualität, nicht kond. Keller Quelle BK: eco2soft, HT: Sölkner et al 2013	0,7	158	217
EFH 1 Holz massiv g	Holz massiv; gängige Baumaterialien; Hülle in PH-Qualität, nicht kond. Keller Quelle BK: eco2soft, HT: Sölkner et al 2013	0,7	158	217
EFH 1 Holz massiv a	Holz massiv; alternative Baumaterialien; Hülle in PH-Qualität, nicht kond. Keller Quelle BK: eco2soft, HT: Sölkner et al 2013	0,7	158	217
EFH 1 Beton g	Beton; gängige Baumaterialien; Hülle in PH-Qualität, nicht kond. Keller Quelle BK: eco2soft, HT: Sölkner et al 2013	0,7	158	217
EFH 1 Beton a	Beton; alternative Baumaterialien; Hülle in PH-Qualität, nicht kond. Keller Quelle BK: eco2soft, HT: Sölkner et al 2013	0,69	158	217
EFH 1 Ziegel g	Ziegel; gängige Baumaterialien; Hülle in PH-Qualität, nicht kond. Keller Quelle BK: eco2soft, HT: Sölkner et al 2013	0,69	158	217
EFH 1 Ziegel a	Ziegel; alternative Baumaterialien; Hülle in PH-Qualität, nicht kond. Keller Quelle BK: eco2soft, HT: Sölkner et al 2013	0,69	158	217
EFH 1 optimiert	wie EFH 1 Holz massiv a; einfache HT (Komfortlüftung mit WRG und WP) Quelle BK: eco2soft, HT: Sölkner et al 2013	0,69	158	217
EFH 2 Stroh	Strohballenhaus; EFH (OG) auf Geschäftsfläche; nicht unterkellert; Hülle in PH-Qualität; durchschnittl. HT	0,62	355	355

Bezeichnung	Beschreibung	A/V	kond. BGF	ges BGF
	Quelle BK: eco2soft, HT: Sölkner et al 2013			
WHA 1 Ziegel+EPS	HLZ+EPS; Hüllqualität PH, HT 1: Sole-WP 35 kW (Tiefensonden), 115 m ² Flachkollektoren, keine PV Quelle BK und HT: HEROES	0,40	1 800	2 600
WHA 1 Holzmassiv	Holzmassiv; Hüllqualität PH, HT 1 siehe WHA Ziegel+EPS Quelle BK und HT: HEROES	0,40	1 800	2 600
WHA 1 Ziegel Wi	Ziegel mit integrierter Steinwolle (Wi); Hüllqualität PH, HT 1 siehe WHA Ziegel+EPS Quelle BK und HT: HEROES	0,40	1 800	2 600
WHA 1 Holzleicht	Holzleichtbau; Hüllqualität PH, HT 1 siehe WHA Ziegel+EPS Quelle BK und HT: HEROES	0,40	1 800	2 600
WHA 1 BW 1 HT 2	BW 1; Hüllqualität PH; aufwändigste Haustechnik: Sole WP, PV-Anlage 20 kW _{peak} , 120 m ² therm. Solaranlage, Lüftung mit WRG Quelle BK und HT: HEROES	0,40	1 800	2 600
WHA 1 BW 1 HT 3	BW 1; Hüllqualität PH; minimale Haustechnik: Fernwärme, keine Solaranlagen, Abluftanlage Quelle BK und HT: HEROES	0,40	1 800	2 600
WHA 2 Mischbau	PH, Mischbauweise/Holzleichtbauwände; Pelletsheizung, 42 m ² therm Solaranlage (Flachkollektor); Lüftung mit WRG Quelle BK und HT: TQB	0,50	1 400	1 600
Büro 1 STB+EPS	STB+EPS, keine Haustechnikdaten Quelle BK: TQB	0,35	1 900	1 900
Büro 2 Holzverbund	Holzverbund; keine Haustechnikdaten Quelle BK und HT: TQB	0,27	4 900	6 100
Büro 3 Holzverbund	Holzverbund; keine Haustechnikdaten Quelle BK und HT: TQB	0,22	20 600	24 400
KiGa 1	PH, Neu/Zubau Quelle BK und HT: IBO 2017	0,25	3 000	3 201
Schule 1	PH, Massivbau Grundwasser-WP, Lüftung mit WRG (zentral, Rotations-WT) Quelle BK und HT: IBO 2017	0,26	7 000	7 000

Beim Strohballenhaus (EFH 2 Stroh) handelt es sich um einen Spezialfall eines Einfamilienhauses. Die EFH-Einheit befindet sich im Obergeschoß. Im Erdgeschoß befindet sich eine Geschäftseinheit (Aufenthaltsräume für die Mitarbeiter des Gewerbebetriebs).

4.3.1.2 Bilanzierung der Haustechnik

Die Datenverfügbarkeit für die „Graue Energie“ der Haustechnikanlagen war besonders schlecht, da die Ökobilanz für die Herstellung der Haustechnik in den Gebäudebewertungssystemen und häufig auch in Forschungsprojekten nicht berücksichtigt wird. Sie ist außerdem zum Teil in den Konversionsfaktoren – welche für die Berechnung des Primärenergie-

bedarfs und der CO₂-Emissionen für den Gebäudebetrieb im Energieausweis herangezogen werden – enthalten.

Daten für die Haustechnik lagen für folgende Gebäudekategorien vor (siehe auch Beschreibung in Tabelle 8):

- Wohnhausanlagen (WHA 1 und WHA 2)
- Schulgebäude (Schule 1)

Für die restlichen Gebäude wurde die „Graue Energie“ der Haustechnikanlagen wie im Folgenden beschrieben abgeleitet.

Einfamilienhaus

Die „Graue Energie“ der Haustechnikanlage des Einfamilienhauses wurde aus den Berechnungen der Autorin im Rahmen des Projekts (Sölkner et al., 2013) abgeleitet. In diesem Projekt wurde ein Einfamilienhaus in unterschiedlichen Bauweisen und Energiestandards (Niedrigenergiehaus NEH, Passivhaus PH, Sonnenhaus, Plusenergiegebäude PEH) analysiert. Die Tabelle 9 zeigt die Indikatorwerte für die Haustechnik-Komponenten der unterschiedlichen Varianten pro m² konditionierte Bruttogrundfläche (BGF).

Tabelle 9: Indikatorwerte für unterschiedliche Haustechnikkonzepte gemäß (Sölkner et al., 2013)

Energiestandard	PENRT	PENRE	PENRM	PERT	PERE	PERM	GWP	GWP C
	kWh/m ² BGF	kgCO ₂ eq/m ² BGF	kgCO ₂ eq/m ² BGF					
NEH1	578	578	0	36	36	0	168	0
NEH2	397	397	0	35	35	0	100	0
PH1	367	367	0	26	26	0	161	0
PH2	496	496	0	42	42	0	125	0
Sonnenhaus	768	768	0	90	90	0	200	0
Mittelwert MW	521	521	0	46	46	0	151	0
Max NEH, PH, MW	578	578	0	46	46	0	168	0
nicht ber: PEH	2080	2080	0	167	167	0	540	0

Das Plusenergiegebäude PEH wurde in der vorliegenden Arbeit nicht einbezogen, da der hohe Anteil an Photovoltaik (PV) vergleichsweise hohe Belastungen bei der Errichtung verursacht (die sich im Betrieb rasch wieder amortisieren) und als eigener Aspekt behandelt wird (siehe auch Kapitel Abgrenzungen). Die sonstigen Haustechnikkomponenten des Plusenergiegebäudes entsprechen dem Passivhaus PH1. Das Sonnenhaus wurde in die Mittelwertbildung einbezogen, obwohl die Aufwände für die haustechnische Anlage ebenfalls deutlich höher liegen (in der Regel 1,5 bis 2,0fache der Niedrigenergie- und Passivhaus-Konzepte). Um zusätzlich für die Richtwertableitung auf der sicheren Seite zu sein, wurde das Maximum des Mittelwerts und der Gebäude in Niedrigenergiehaus- und Passivhausstandard gesucht. Außerdem wurde für eine Variante des Einfamilienhauses eine Gebäudevariante mit der haustechnischen Ausstattung des Passivhauses PH1 (Komfortlüftungsanlage mit Luft-Wärmepumpe, geringste Aufwendungen) berechnet.

Anmerkungen: Nach vorliegender Methode wird die PV-Anlage getrennt betrachtet. Außergewöhnliche Aufwände für die Haustechnik wie z.B. Speichersysteme des Sonnenhauses sollten genau bilanziert werden. Die höheren Aufwände in der Haustechnik spiegeln sich in der Regel in einem niedrigeren Betriebsenergie-Verbrauch wider, wobei in der Gesamtbeurteilung wesentlich ist, welche Energieträger (Wärme, Strom) substituiert werden. Für Gebäude mit besonderen haustechnischen Anlagen sind immer der Richtwert für Betriebsenergie und Graue Energie gemeinsam zu betrachten.

Wohnhausanlagen

Für die Wohnhausanlage WHA 1 lagen dank des Projekts „HEROES“ unterschiedliche Haustechnik-Varianten vor. Für das vorliegende Projekt wurden die Ergebnisse für die realisierte Variante (HT 1), die aufwändigste Variante (HT 2) und die Variante mit den geringsten Aufwendungen (HT 3) herangezogen. Für die Wohnhausanlage WHA 2 standen Daten für die realisierte Variante zur Verfügung.

Schulgebäude und Kindergarten

Für das Schulgebäude lagen Daten zur Haustechnik vor, die eine größenordnungsmäßige ökobilanzielle Abschätzung ermöglichten.

Für den Kindergarten standen keine Daten für die Haustechnik zur Verfügung. Zur Vervollständigung der Systemgrenze wurden die Werte der für das Einfamilienhaus verwendeten Standardvariante (HT 1) herangezogen.

Bürogebäude

Für keines der Bürogebäude standen Daten für die Haustechnik zur Verfügung. Zur Vervollständigung der Systemgrenze wurden die Indikatorwerte der für die Wohnhausanlage WHA 1 verwendeten Standardvariante (HT 1: innovative Wärmeversorgung mit Tiefensonde und Sole-Wärmepumpe sowie Flachkollektoren für thermische Energiegewinnung) mit einem Aufschlag von 50 % (für im Büro im Vergleich zu normalen Wohngebäuden ohne kontrollierte Zu- und Abluftanlage zusätzlich erforderliche Lüftungs- und Klimaanlage) versehen.

4.3.1.3 Ableitung von Test-Richtwerten

Die begrenzte Zahl an Gebäuden, die im Rahmen der Studie analysiert werden konnte, ist nicht ausreichend, um daraus statistisch abgesicherte Richt- und Zielwerte abzuleiten. Da die Basisdaten für die Ökobilanz und die eingesetzten Baumaterialien und Bauweisen zwischen Schweiz und Österreich sehr gut vergleichbar sind, können die Schweizer Richtwerte für die Graue Energie als guter Anhaltspunkt herangezogen werden.

In Kombination mit den nationalen österreichischen und Schweizer Zielwerten für alle Bereiche und den Schweizer Richtwerten für den Bereich „Graue Energie“ wurden österreichische Test-Richtwerte für den Bereich „Graue Energie“ abgeleitet. Dabei wurde das Verhältnis der Österreichischen und Schweizer Ziel- und Richtwerte als Faktor auf die final festgelegten Schweizer Richtwerte für Graue Energie beaufschlagt (z.B. Test-Richtwert PENRT:

30/2000*260 = 3,9 kWh/m²a). Tabelle 10 zeigt die zugrundeliegenden Daten und Ergebnisse.

Für das GWP wurde zusätzlich zum nationalen Zielwert von 2,2 t CO₂-eq. pro Person und Jahr noch der ambitioniertere Zielwert von 1,5 t CO₂-eq. pro Person und Jahr in Betracht gezogen (vgl. auch Abschnitt 3.2).

Tabelle 10: Ableitung von Test-Richtwerten für die Gebäudeanalyse

Ableitung von Test-Richtwerten	PENRT	PEE	GWP	GWP ambitioniert
Zielwert für 2050 pro Person und Jahr	W/P.a	W/P.a	tCO ₂ eq/P.a	tCO ₂ eq/P.a
Schweiz	2000	3500	2	2
Österreich (gerundet)	260	2900	2,2	1,5
Faktor Österreich / Schweiz	0,13	0,83	1,10	0,75
Richtwerte für 2050 pro m² BGF und Jahr	kWh/m ² /a	kWh/m ² /a	kgCO ₂ eq/m ² /a	kgCO ₂ eq/m ² /a
Wohngebäude Schweiz	30	36	8,5	8,5
Wohngebäude Österreich (Test-Richtwert)	3,9	30	9,4	6,4
Bürogebäude Schweiz	36	42	10	10
Bürogebäude Österreich (Test-Richtwert)	4,7	35	11	7,5
Bildungseinrichtung Schweiz	30	42	9	9
Bildungseinrichtung Österreich (Test-RW)	3,9	35	9,9	6,8

4.3.2 Analyse Einfamilienhaus

In Abbildung 7 und Abbildung 8 sind die Detailergebnisse der Ökobilanzen für das Einfamilienhaus in Bezug auf die konditionierte Bruttogrundfläche (BGF) dargestellt.

Beim Primärenergieinhalt überwiegen bei allen Bauweisen die Aufwände aus der Herstellung der Baumaterialien und Haustechnikkomponenten (Module A1-A3, B4). Der Transport und die Entsorgung der Baumaterialien sind von geringerer Bedeutung. Der Primärenergieinhalt an nicht erneuerbaren Ressourcen liegt deutlich über jenem der erneuerbaren Ressourcen. Eine Ausnahme stellt die stofflich gebundene erneuerbare Energie (PERM) von Gebäuden in Leichtbauweise dar. Diese Energie kann nach der Entsorgung der Baumaterialien noch energetisch genutzt werden.

Beim Globalen Erwärmungspotenzial (GWP T) überwiegen bei den Bauweisen mit hohem Anteil an Baumaterialien aus erneuerbaren Rohstoffen die Emissionen in der Entsorgungsphase. Wie aus der Grafik für das GWP C-Gehalt ersichtlich, werden hier die Kohlendioxid-Äquivalente des in den Baumaterialien gespeicherten Kohlenstoffes ausgebucht. Eine tatsächliche Emission erfolgt nur bei der Verbrennung des Altmaterials. Es ist davon auszugehen, dass die dabei erzeugte Wärme energetisch genutzt wird.

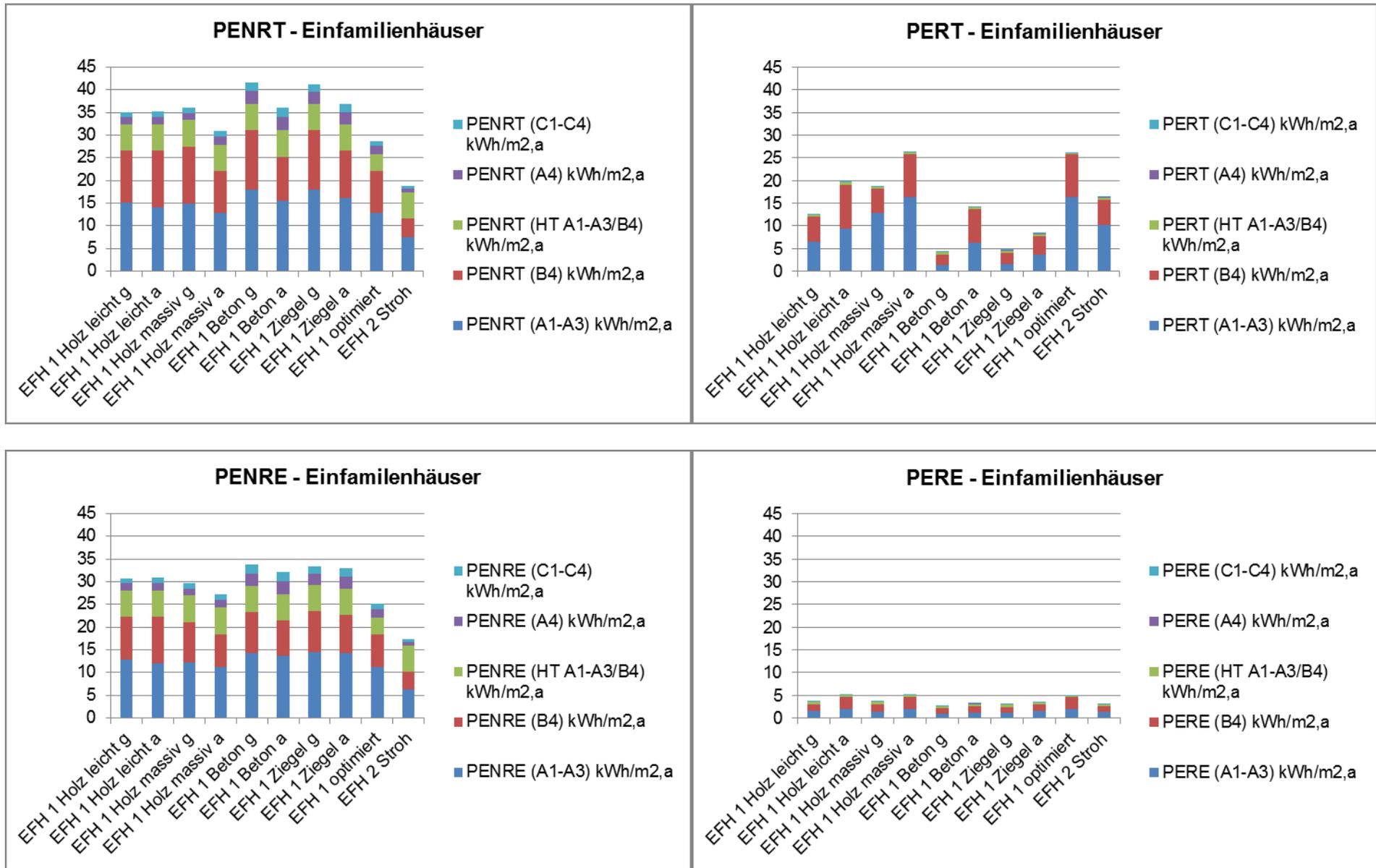


Abbildung 7: PENRT, PERT, PENRE, PERE der Ökobilanz der Einfamilienhäuser aufgesplittet nach Lebensphasen. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis (Darstellung: IBO, 2017)

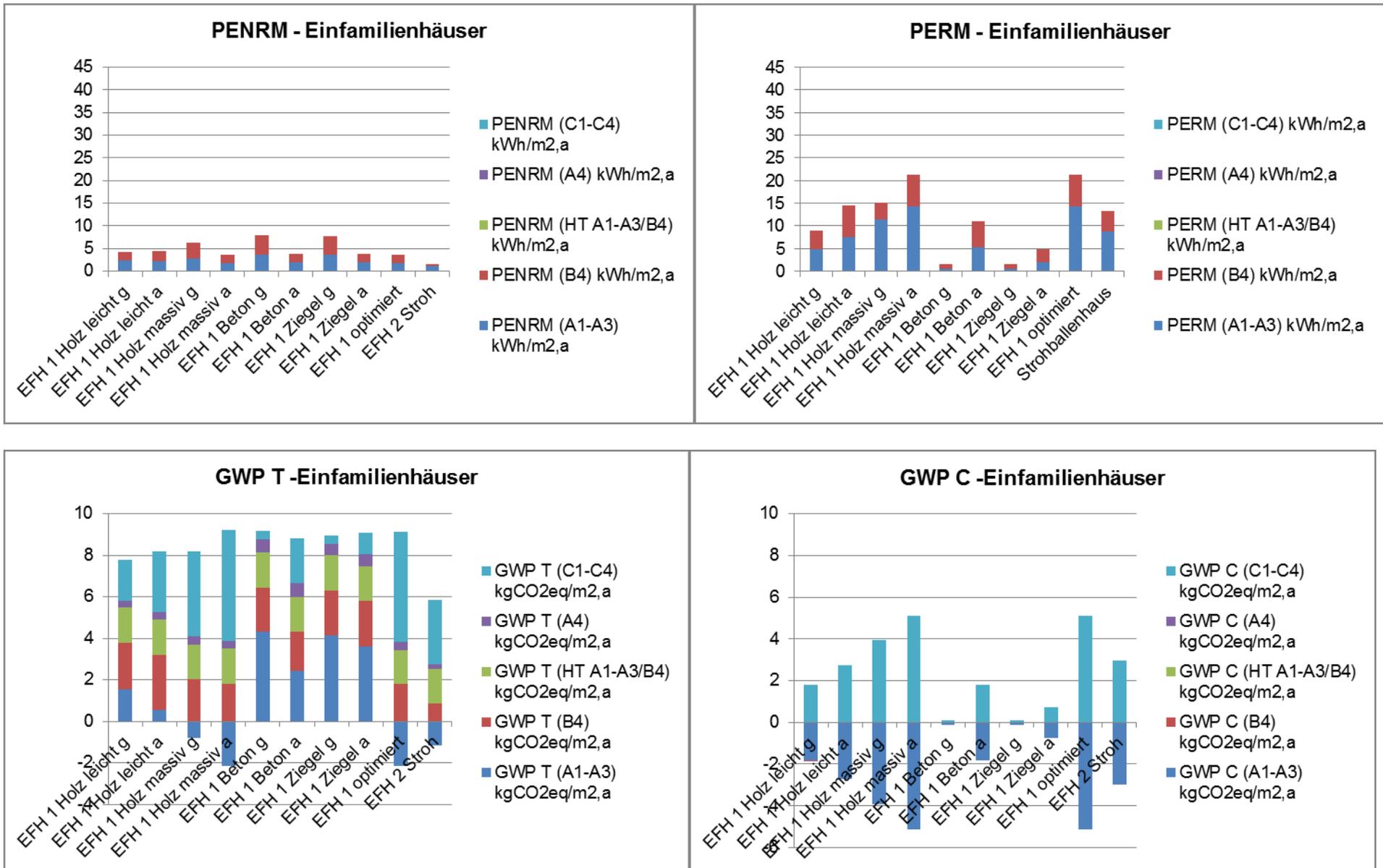


Abbildung 8: PENRM, PERM, GWP T und C der Ökobilanz der Einfamilienhäuser aufgesplittet nach Lebensphasen. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis (Darstellung: IBO, 2017)

Tabelle 11 zeigt den Grad der Richtwerterreichung – zunächst für die in der Schweiz aufgestellten Richtwerte, anschließend für die österreichische Test-Richtwerte (Erläuterungen zu den Test-Richtwerten siehe 4.3.1.3).

Tabelle 11: Erreichung der Schweizer und der österreichischen Test-Richtwerte in % und in JA/NEIN für die unterschiedlichen Einfamilienhaus-Varianten. Bezugsfläche: kond. BGF. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Projektname	Einhaltung [%] RW Schweiz 2050		Einhaltung [-] RW Schweiz 2050		Einhaltung [%] Test-Richt- werte Österreich 2050			Einhaltung [-] Test-Richt- werte Österreich 2050		
	PENRT	GWP T	PENRT	GWP T	PENRT	PEE	GWP T	PENRT	PEE	GWP T
	kWh/m ² ,a	kgCO ₂ eq/m ² ,a	kWh/m ² ,a	kgCO ₂ eq/m ² ,a	kWh/m ² ,a	kWh/m ² ,a	kgCO ₂ eq/m ² ,a	kWh/m ² ,a	kWh/m ² ,a	kgCO ₂ eq/m ² ,a
Richtwert:	30	8,5	30	8,5	3,9	30	9,4	3,9	30	9,4
EFH 1 Holz leicht g	116%	92%	NEIN	JA	896%	114%	83%	NEIN	NEIN	JA
EFH 1 Holz leicht a	118%	96%	NEIN	JA	904%	120%	87%	NEIN	NEIN	JA
EFH 1 Holz massiv g	120%	87%	NEIN	JA	924%	111%	79%	NEIN	NEIN	JA
EFH 1 Holz massiv a	103%	83%	NEIN	JA	792%	108%	75%	NEIN	NEIN	JA
EFH 1 Beton g	139%	108%	NEIN	NEIN	1066%	121%	98%	NEIN	NEIN	JA
EFH 1 Beton a	120%	104%	NEIN	NEIN	925%	118%	94%	NEIN	NEIN	JA
EFH 1 Ziegel g	137%	105%	NEIN	NEIN	1056%	121%	95%	NEIN	NEIN	JA
EFH 1 Ziegel a	123%	107%	NEIN	NEIN	945%	122%	97%	NEIN	NEIN	JA
EFH 1 optimiert	96%	83%	JA	JA	738%	100%	75%	NEIN	JA	JA
Strohballenhaus	63%	55%	JA	JA	485%	68%	50%	NEIN	JA	JA

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, erfüllen das optimierte Einfamilienhaus „EFH 1 optimiert“ und das Strohballenhaus „EFH 2 Stroh“ die Schweizer Richtwerte für PENRT. Die anderen Gebäudevarianten des EFH 1 liegen bis zu 40 % über den Richtwert für PENRT. Die Richtwerte für das GWP werden von allen Einfamilienhäusern in Holzbauweise erreicht. Die Gebäude in Massivbauweise erreichen den GWP-Richtwert knapp nicht (bis zu 8 % über Soll).

Die für Österreich abgeleiteten Test-Richtwerte für die Gesamtenergie PEE werden nur vom Strohballenhaus „EFH 2 Stroh“ und optimierten Einfamilienhaus „EFH 1 optimiert“ erreicht. Alle anderen Gebäude liegen zwischen 8 und 22 % über den Test-Richtwerten. Der Richtwert für den PENRT liegt für alle Gebäude in unerreichbaren Höhen (Überschreitung um Faktor 8 bis 18). Grund dafür ist, dass in der Schweiz erst für das Jahr 2100 ein entsprechend hoher Anteil an Erneuerbaren gefordert wird (vgl. auch Abschnitt 3.2).

Da alle Gebäude noch Optimierungspotenzial besitzen, können auf der Analyse des Einfamilienhauses die aus der Top-Down-Analyse abgeleiteten Richtwerte für den PEE weiterverfolgt werden.

Die GWP-Werte aller Gebäudevarianten liegen unter dem Test-Richtwert. Das Ergebnis für den ambitionierten Zielwert von 1,5 t CO₂-eq. pro Person und Jahr würde folgendermaßen aussehen:

Tabelle 12: Erreichung des GWP-Test-Richtwertes für das ambitionierte GWP-Ziel von 1,5 t CO₂-eq. pro Person und Jahr in % und in JA/NEIN für die unterschiedlichen Einfamilienhaus-Varianten. Bezugsfläche: kond. BGF. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Einhaltung Test-Richtwerte ambitioniert		
Projektname	GWP T	GWP T
	%	-
Richtwert:	6,4	6,4
EFH 1 Holz leicht g	122%	NEIN
EFH 1 Holz leicht a	128%	NEIN
EFH 1 Holz massiv g	116%	NEIN
EFH 1 Holz massiv a	111%	NEIN
EFH 1 Beton g	144%	NEIN
EFH 1 Beton a	138%	NEIN
EFH 1 Ziegel g	140%	NEIN
EFH 1 Ziegel a	142%	NEIN
EFH 1 optimiert	110%	NEIN
Strohballenhaus	73%	JA

Nur das Strohballenhaus erreicht den ambitionierten Test-Zielwert.

4.3.3 Analyse Wohnhausanlagen

In Abbildung 9 und Abbildung 10 sind die Detailergebnisse der Ökobilanzen für die Wohnhausanlagen in Bezug auf die konditionierte Bruttogrundfläche (BGF) dargestellt.

Die auf die m² BGF bezogenen Indikatorwerte für die Wohnhausanlagen liegen deutlich unter jenen der Einfamilienhäuser. Bei der Verteilung der Belastungen zeigt sich ein den Ergebnissen für das Einfamilienhaus vergleichbares Bild: Beim Primärenergieinhalt überwiegen bei allen Bauweisen die Aufwände aus der Herstellung der Baumaterialien und Haustechnikkomponenten (Module A1-A3, B4). Der Transport und die Entsorgung der Baumaterialien sind von geringerer Bedeutung. Der Primärenergieinhalt an nicht erneuerbaren Ressourcen liegt deutlich über jenem der erneuerbaren Ressourcen. Die stofflich gebundene erneuerbare Energie (PERM) der Gebäude liegt deutlich über der energetisch verbrauchten erneuerbaren Energie (PERE). Die im PERM repräsentierte Energie kann nach der Entsorgung der Baumaterialien noch energetisch genutzt werden. Im Vergleich zu den Einfamilienhäusern ist der PERM geringer.

Beim Globalen Erwärmungspotenzial (GWP T) überwiegen bei den Bauweisen mit hohem Anteil an Baumaterialien aus erneuerbaren Rohstoffen die Emissionen in der Entsorgungsphase. Wie aus der Grafik für das GWP C-Gehalt ersichtlich werden hier die Kohlendioxid-Äquivalente des in den Baumaterialien gespeicherten Kohlenstoffes ausgebucht. Eine tatsächliche Emission erfolgt nur bei der Verbrennung des Altmaterials. Es ist davon auszugehen, dass die dabei erzeugte Wärme energetisch genutzt wird.

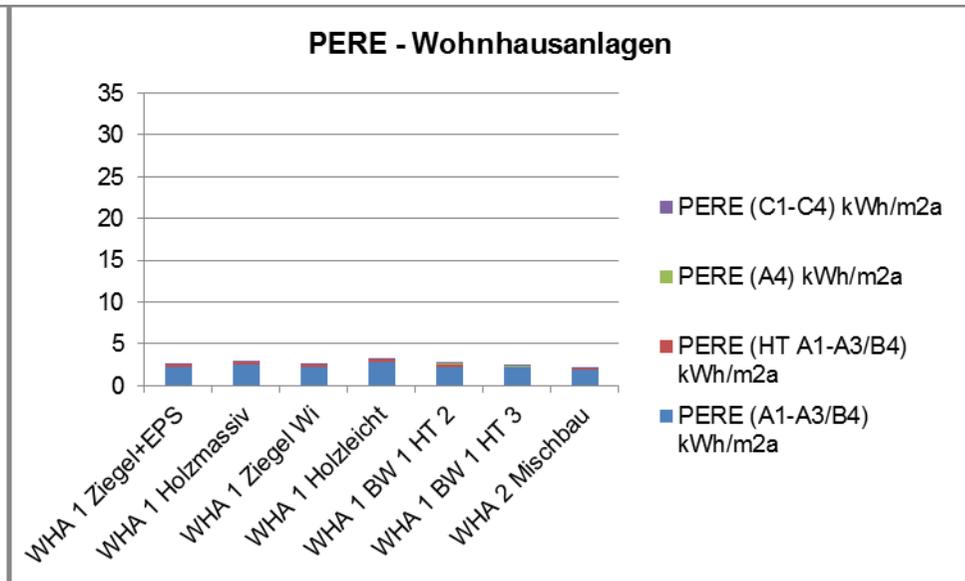
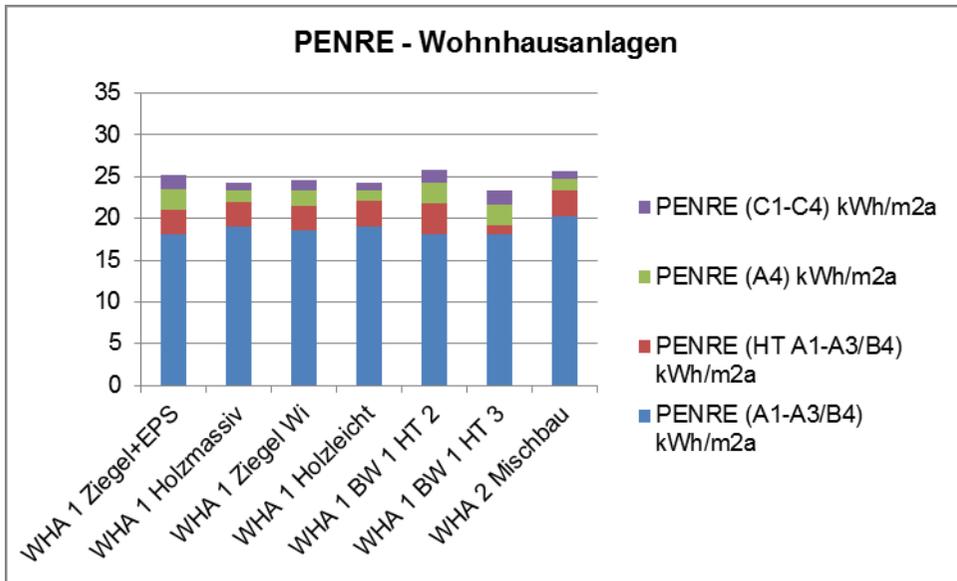
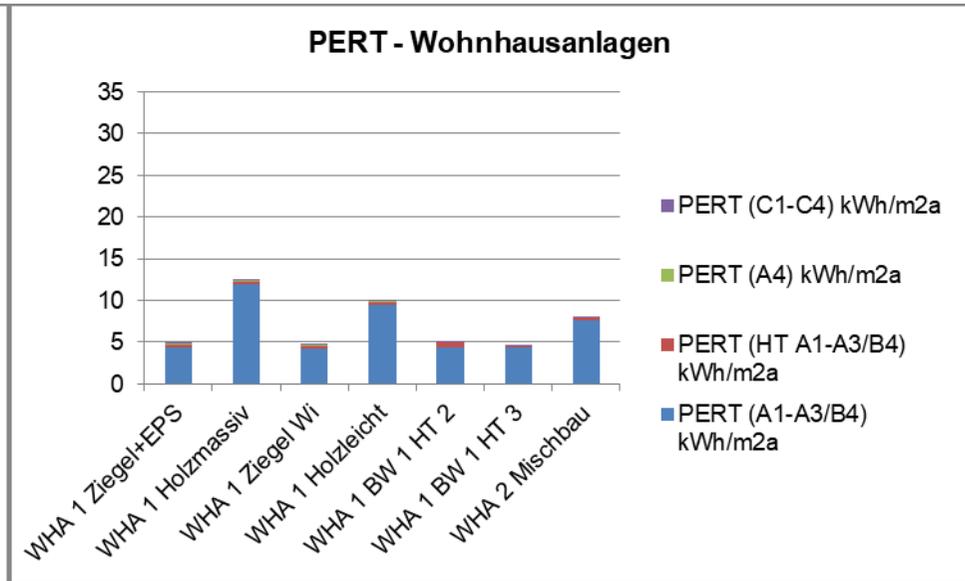
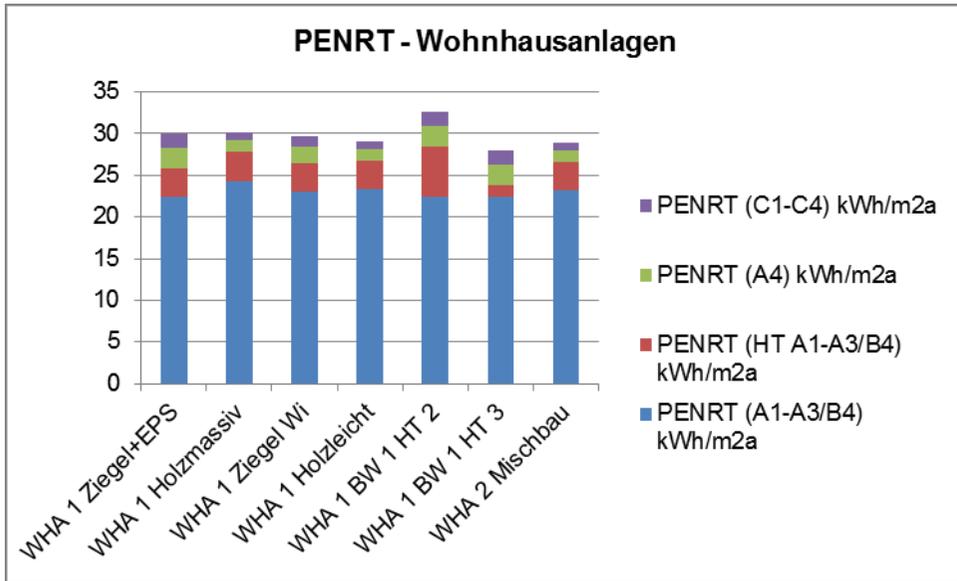


Abbildung 9: PENRT, PERT, PENRE, PERE der Ökobilanz der Wohnhausanlagen aufgesplittet nach Lebensphasen. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis (Darstellung: IBO, 2017)

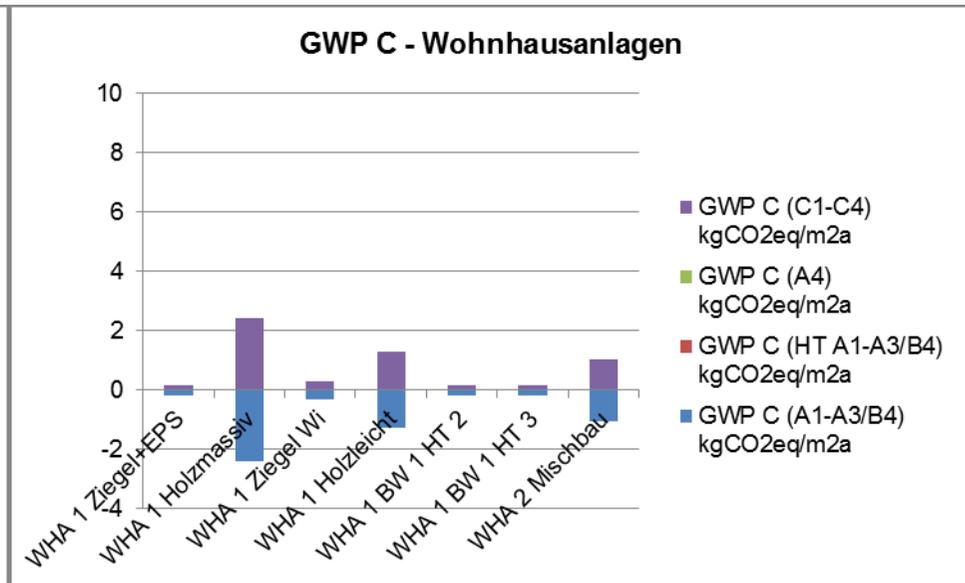
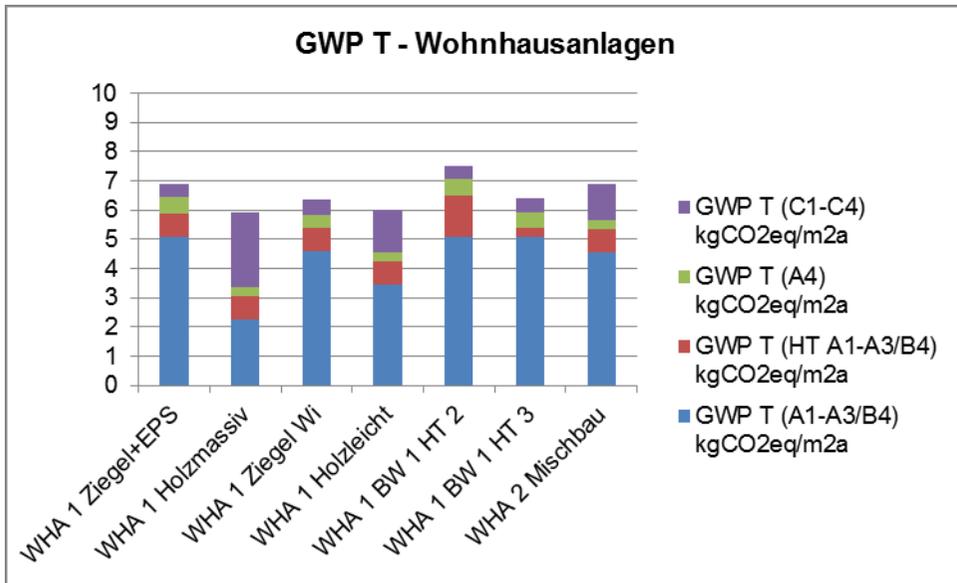
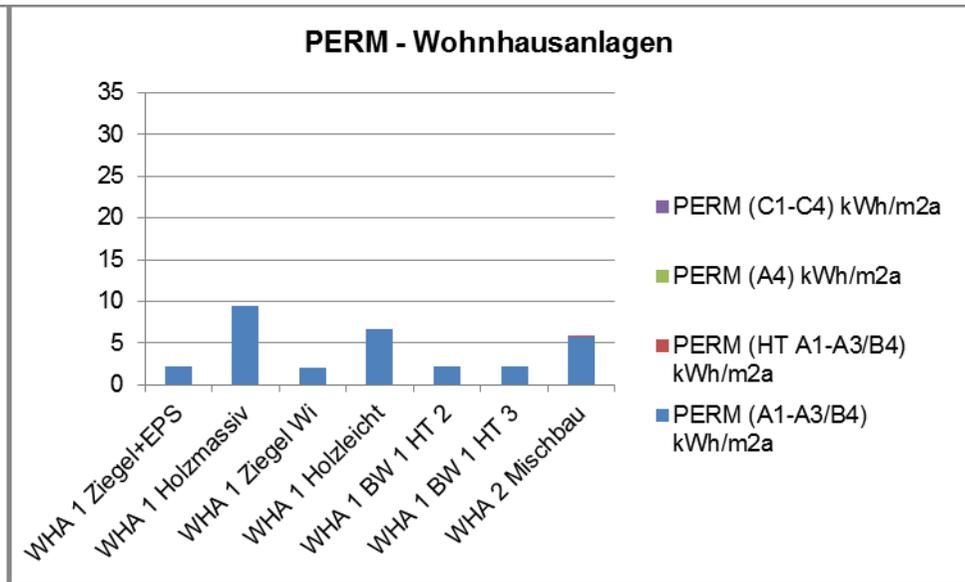
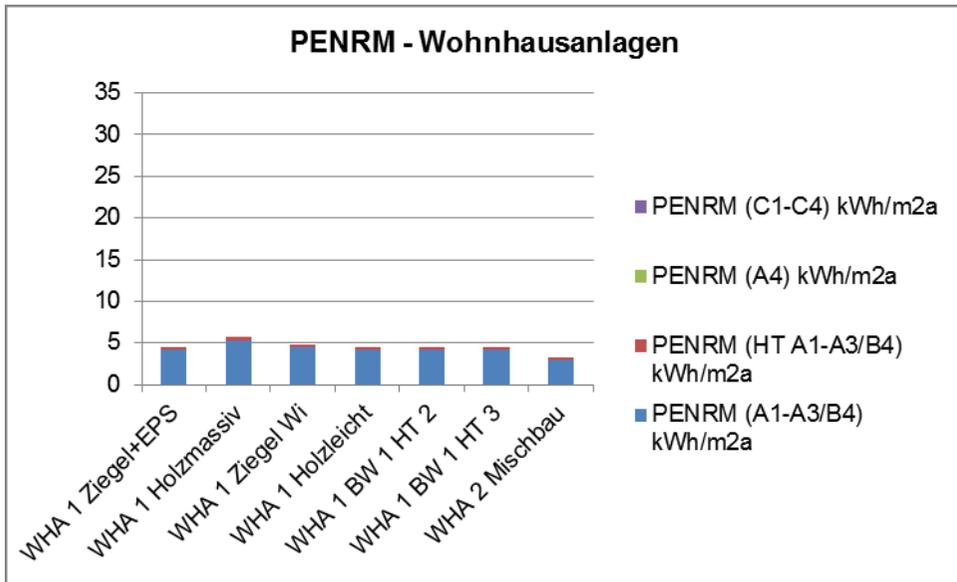


Abbildung 10: PENRM, PERM, GWP T und C der Ökobilanz der Wohnhausanlagen aufgesplittet nach Lebensphasen. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis (Darstellung: IBO, 2017)

Tabelle 13 zeigt den Grad der Richtwerterreichung zunächst für die in der Schweiz aufgestellten Richtwerte, anschließend für die österreichischen Test-Richtwerte (Erläuterungen zu den Test-Richtwerten siehe 4.3.1.3).

Tabelle 13: Erreichung der Schweizer und der österreichischen Test-Richtwerte in % und in JA/NEIN für die unterschiedlichen Wohnhausanlagen-Varianten. Bezugsfläche: kond. BGF. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Projekt	Einhaltung [%] RW Schweiz 2050		Einhaltung [-] RW Schweiz 2050		Einhaltung [%] Test-Richt- werte Österreich 2050			Einhaltung [-] Test-Richt- werte Österreich 2050		
	PENRT	GWP T	PENRT	GWP T	PENRT	PEE	GWP T	PENRT	PEE	GWP T
	kWh/m ² /a	gCO ₂ eq/m ² /a	kWh/m ² /a	gCO ₂ eq/m ² /a	kWh/m ² /a	kWh/m ² /a	gCO ₂ eq/m ² /a	kWh/m ² /a	kWh/m ² /a	gCO ₂ eq/m ² /a
Richtwert:	30	8,5	30	8,5	3,9	30	9,4	3,9	30	9,4
WHA 1 Ziegel+EPS	100%	81%	JA	JA	769%	86%	74%	NEIN	JA	JA
WHA 1 Holzmassiv	100%	70%	JA	JA	773%	87%	63%	NEIN	JA	JA
WHA 1 Ziegel Wi	99%	75%	JA	JA	761%	86%	68%	NEIN	JA	JA
WHA 1 Holzleicht	97%	71%	JA	JA	744%	89%	64%	NEIN	JA	JA
WHA 1 BW 1 HT 2	109%	88%	NEIN	JA	835%	95%	80%	NEIN	JA	JA
WHA 1 BW 1 HT 3	93%	75%	JA	JA	717%	79%	68%	NEIN	JA	JA
WHA 2 Mischbau	97%	81%	JA	JA	742%	88%	73%	NEIN	JA	JA

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, erfüllen alle Gebäude die Schweizer Richtwerte mit einer Ausnahme; Der PENRT für die Wohnhausanlage WHA 1 mit der aufwändigsten Haustechnik überschreitet den Richtwert um 9 %.

Die Test-Richtwerte für Österreich werden für den PEE und das GWP von allen Wohnhausanlagen deutlich unterschritten. Die Test-Richtwerte für den PENRT werden wie in der vorhergehenden Analyse von keinem Gebäude erreicht.

Der ambitionierte Zielwert von 1,5 t CO₂-eq. pro Person und Jahr wird für die Wohnhausanlage WHA 1 in Ziegel+EPS Bauweise mit der Variante HT3 gerade erreicht, mit den anderen Haustechnikvarianten überschritten. Die Wohnhausanlage WHA 2 liegt 7 % über dem Test-Richtwert.

Tabelle 14: Erreichung des GWP-Test-Richtwertes für das ambitionierte GWP-Ziel von 1,5 t CO₂-eq. pro Person und Jahr in % und in JA/NEIN für die unterschiedlichen Mehrfamilienhaus-Varianten. Bezugsfläche: kond. BGF. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Projekt	Einhaltung Test-Richtwerte ambitioniert	
	GWP T in %	GWP T in JA/NEIN
	kgCO ₂ eq/m ² /a	kgCO ₂ eq/m ² /a
Richtwert:	6,4	6,4
WHA 1 Ziegel+EPS	108%	NEIN
WHA 1 Holzmassiv	93%	JA
WHA 1 Ziegel Wi	100%	JA
WHA 1 Holzleicht	94%	JA
WHA 1 BW 1 HT 2	117%	NEIN
WHA 1 BW 1 HT 3	100%	JA
WHA 2 Mischbau	107%	NEIN

Für den PENRT gilt das beim Einfamilienhaus Gesagte (deutliche Überschreitung).

4.3.4 Analyse der Bürogebäude und Bildungseinrichtungen

Die Datenverfügbarkeit für die Ökobilanz der Bürogebäude und Bildungseinrichtungen ist am geringsten. Die „Graue Energie“ der Haustechnik wurde zum Teil auf Basis der Daten für die Wohngebäude abgeschätzt. Die Verteilung der Belastungen über den Lebenszyklus entspricht damit dem Bild bei den Einfamilienhäusern und Wohngebäuden.

Die Tabelle 15 zeigt den Grad der Richtwerterreichung (Erläuterungen zu den Richtwerten siehe 4.3.1.3).

Tabelle 15: Erreichung der Schweizer und der österreichischen Test-Richtwerte in % und in JA/NEIN für die unterschiedlichen Bürogebäude und Bildungseinrichtungen. Bezugsfläche: kond. BGF. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis.

Projekt	Einhaltung [%] RW Schweiz 2050		Einhaltung [-] RW Schweiz 2050		Einhaltung [%] Test-Richt- werte Österreich 2050			Einhaltung [-] Test-Richt- werte Österreich 2050		
	PENRT	GWP T	PENRT	GWP T	PENRT	PEE	GWP T	PENRT	PEE	GWP T
	kWh/m2/a	kgCO2eq/m2/a	kWh/m2/a	kgCO2eq/m2/a	kWh/m2/a	kWh/m2/a	gCO2eq/m2/	kWh/m2/a	kWh/m2/a	gCO2eq/m2/
	Richtwert:	36	10	36	10	4,7	35	11,0	4,7	35
Büro 1 STB+EPS	77%	66%	JA	JA	587%	70%	60%	NEIN	JA	JA
Büro 2 Holzverbund	69%	59%	JA	JA	528%	65%	54%	NEIN	JA	JA
Büro 3 Holzverbund	58%	52%	JA	JA	441%	56%	47%	NEIN	JA	JA
Richtwert:	30	9	30	9	3,9	30	9,9	3,9	30	9,9
KiGa 1	86%	66%	JA	JA	662%	75%	60%	NEIN	JA	JA
Schule 1	82%	64%	JA	JA	632%	71%	58%	NEIN	JA	JA
Richtwert wie WHA:	30	8,5	30	8,5	3,9	30	9,4	3,9	30	9,4
Büro 1 STB+EPS	92%	78%	JA	JA	708%	82%	70%	NEIN	JA	JA
Büro 2 Holzverbund	83%	70%	JA	JA	636%	75%	63%	NEIN	JA	JA
Büro 3 Holzverbund	69%	61%	JA	JA	531%	66%	55%	NEIN	JA	JA
Richtwert wie WHA:	30	8,5	30	8,5	3,9	30	9,4	3,9	30	9,4
KiGa 1	86%	70%	JA	JA	662%	75%	63%	NEIN	JA	JA
Schule 1	82%	67%	JA	JA	632%	71%	61%	NEIN	JA	JA

Da die Richtwerte für PEE und GWP deutlich unterschritten werden, wurde eine weitere Auswertung für die für die Wohngebäude abgeleiteten Richtwerte gemacht. Die betrachteten Büro- und Schulgebäude weisen deutlich höhere Kompaktheitsklassen (Ic von 3,0-4,5) auf als die betrachteten Wohngebäude (Ic 2,0-2,5³). Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, werden daher auch die Richtwerte für Wohngebäude („WHA“) deutlich unterschritten. Aus den vorliegenden Ergebnissen wird die Schlussfolgerung gezogen, für alle Gebäudetypen den gleichen Richtwert pro m2 kond. BGF und Jahr zu übernehmen.

Der für das ambitionierte Ziel von 1,5 Tonnen CO₂-eq. pro Person und Jahr abgeleitete Richtwert von 6,4 kg CO₂-eq. pro m² BGF und Jahr wird nur vom Kindergarten um 3 % überschritten, alle anderen Gebäude liegen darunter (in der Tabelle nicht dargestellt).

³ In Wien liegt man im Schnitt bei WHA bei einer charakteristischen Länge von 3,5 und mehr.

4.4 Schlussfolgerung und Ausblick

4.4.1 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der Gebäudeanalyse zeigen, dass die Kompaktheit des Gebäudes ein wesentlicher Faktor für gute Ergebnisse in der Ökobilanz ist. Einfamilienhäuser sind hier von Haus aus benachteiligt (vgl. auch Tabelle 16).

Tabelle 16: Ergebnisse im Überblick für die „Graue Energie“ über den gesamten Lebenszyklus bezogen auf m² BGF und Jahr

	A/V	PENRT (A1-C4)	PENRE (A1-C4)	PENRM (A1-C4)	PERT (A1-C4)	PERE (A1-C4)	PERM (A1-C4)	PEE (A1-C4)	GWP T (A1-C4)	GWP C (A1-C4)	GWP P (A1-C4)
	1/m	kWh/m2a	kWh/m2a	kWh/m2a	kWh/m2a	kWh/m2a	kWh/m2a	kWh/m2a	kgCO2eq/m2a	kgCO2eq/m2a	kgCO2eq/m2a
Einfamilienhäuser											
EFH 1 Holz leicht g	0,7	34,94	30,64	4,30	12,44	3,56	8,89	34,20	7,79	0,00	7,79
EFH 1 Holz leicht a	0,7	35,27	30,92	4,36	19,59	5,04	14,55	35,96	8,19	0,00	8,19
EFH 1 Holz massiv g	0,7	36,03	29,66	6,37	18,65	3,58	15,07	33,24	7,40	0,00	7,40
EFH 1 Holz massiv a	0,7	30,88	27,21	3,67	26,28	5,05	21,23	32,26	7,08	0,00	7,08
EFH 1 Beton g	0,7	41,58	33,73	7,85	4,23	2,68	1,55	36,41	9,19	0,00	9,19
EFH 1 Beton a	0,7	36,09	32,21	3,88	14,14	3,14	11,00	35,36	8,80	0,00	8,80
EFH 1 Ziegel g	0,7	41,16	33,40	7,77	4,55	3,00	1,56	36,40	8,95	0,00	8,95
EFH 1 Ziegel a	0,7	36,85	32,97	3,88	8,26	3,52	4,74	36,49	9,10	0,00	9,10
EFH 1 optimiert	0,7	28,77	25,10	3,67	26,08	4,85	21,23	29,95	7,01	0,00	7,01
Strohballenhaus		18,90	17,37	1,52	16,26	3,08	13,18	20,45	4,66	0,00	4,66
Maximum		41,58	33,73	7,85	26,28	5,05	21,23	36,49	9,19	0,00	9,19
Minimum		18,90	17,37	1,52	4,23	2,68	1,55	20,45	4,66	0,00	4,66
Mittelwert		34,05	29,32	4,73	15,05	3,75	11,30	33,07	7,82	0,00	7,82
Wohnhausanlagen											
WHA 1 Ziegel+EPS	0,4	29,97	25,74	4,24	4,80	2,55	2,25	25,76	6,91	0,00	6,91
WHA 1 Holzmassiv	0,4	30,13	24,78	5,35	12,33	2,85	9,48	26,21	5,94	0,00	5,94
WHA 1 Ziegel Wi	0,4	29,66	25,16	4,51	4,61	2,53	2,08	25,74	6,37	0,00	6,37
WHA 1 Holzleicht	0,4	29,01	24,79	4,23	9,87	3,14	6,73	26,57	5,99	0,00	6,00
WHA 1 BW 1 HT 2	0,4	32,57	28,33	4,24	5,01	2,76	2,25	28,57	7,51	0,00	7,51
WHA 1 BW 1 HT 3	0,4	27,97	23,73	4,24	4,60	2,35	2,25	23,56	6,40	0,00	6,40
Maximum		32,57	28,33	5,35	12,33	3,14	9,48	28,57	7,51	0,00	7,51
Minimum		27,97	23,73	4,23	4,60	2,35	2,08	23,56	5,94	0,00	5,94
Mittelwert		29,89	25,42	4,47	6,87	2,70	4,17	26,07	6,52	0,00	6,52
Bürogebäude											
Büro 1 STB+EPS	0,35	27,61	24,61	3,36	1,89	1,64	0,25	24,58	6,60	0,00	6,60
Büro 2 Holzverbund	0,27	24,81	22,37	2,44	10,82	2,14	8,69	22,58	5,91	0,00	5,92
Büro 3 Holzverbund	0,22	20,73	19,59	1,14	9,36	1,89	7,46	19,76	5,16	0,00	5,16
Maximum		27,61	24,61	3,36	10,82	2,14	8,69	24,58	6,60	0,00	6,60
Minimum		20,73	19,59	1,14	1,89	1,64	0,25	19,76	5,16	0,00	5,16
Mittelwert		24,38	22,19	2,31	7,36	1,89	5,47	22,31	5,89	0,00	5,89
Bildungseinrichtung											
KiGa 1	0,25	25,82	22,84	2,97	7,27	2,63	4,64	22,64	5,94	0,00	5,94
Schule 1	0,26	24,66	20,86	3,80	4,61	2,14	2,46	21,18	5,72	0,00	5,72

Für die Gebäudeanalyse wurden in einem ersten Schritt Test-Richtwerte für die „Graue Energie“ von Gebäuden in Österreich abgeleitet. Ausgangspunkte waren die nationalen österreichischen und Schweizer Zielwerte für alle Bereiche sowie der Schweizer Richtwerte für die „Graue Energie“ (vgl. Tabelle 17).

Tabelle 17: Ableitung von Test-Richtwerten für die Gebäudeanalyse

Ableitung von Test-Richtwerten	PENRT	PEE	GWP	GWP ambintioniert
Zielwert für 2050 pro Person und Jahr	W/P.a	W/P.a	tCO ₂ eq/P.a	tCO ₂ eq/P.a
Schweiz	2000	3500	2	2
Österreich (gerundet)	260	2900	2,2	1,5
Faktor Österreich / Schweiz	0,13	0,83	1,10	0,75
Richtwerte für 2050 pro m2 BGF und Jahr	kWh/m ² /a	kWh/m ² /a	kgCO ₂ eq/m ² /a	kgCO ₂ eq/m ² /a
Wohngebäude Schweiz	30	36	8,5	8,5
Wohngebäude Österreich (Test-Richtwert)	3,9	30	9,4	6,4
Bürogebäude Schweiz	36	42	10	10
Bürogebäude Österreich (Test-Richtwert)	4,7	35	11	7,5
Bildungseinrichtung Schweiz	30	42	9	9
Bildungseinrichtung Österreich (Test-RW)	3,9	35	9,9	6,8

Die Gebäudeanalyse ergab, dass die Test-Richtwerte für PENRT unerreichbar niedrig liegen. Das liegt am hohen Prozentsatz an nicht erneuerbaren Energieträgern, die zum heutigen Stand der Technik für die Herstellung von Baumaterialien und Haustechnik-Komponenten verwendet werden. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung sollte sich das Verhältnis in absehbarer Zeit zugunsten erneuerbarer Energieträger ändern. Da die Akteure der Siedlungsentwicklung keinen Einfluss auf die Produktionsweisen der Bauindustrie haben, wird daher vorgeschlagen einen Indikator für die gesamte energetisch verbrauchte Primärenergie (erneuerbar und nicht erneuerbar) als Richtwert heranzuziehen.

Im PENRM und im PERM wird die im Baumaterial gebundene Energie bewertet. Diese Energie ist noch nicht verbraucht und steht nach der Entsorgungsphase als verwertbare Energie zur Verfügung. Für den Zeitpunkt der Entsorgung der Baumaterialien wird in guter Übereinstimmung mit der gängigen Bau- und Entsorgungspraxis angenommen:

- dass kein brennbares Altmaterial in relevanten Mengen deponiert wird.
- dass die brennbaren Altmaterialien energetisch verwertet und nicht ungenutzt beseitigt werden.
- dass die Menge an nicht rückgewinnbaren brennbaren Altmaterialien (z.B. in mineralischen Bindemitteln eingeschlossenes Material) im Vergleich zu den rückgewinnbaren Mengen vernachlässigbar ist.
- dass die Energie brennbarer Altmaterialien, welche stofflich recycelt werden, nach dem Durchlaufen weiterer Lebenszyklen in der Regel erhalten bleibt.

Die Indikatoren PENRM und PERM sollen daher in den Richt- und Zielwerten nicht berücksichtigt, sondern dafür verwendet werden, Informationen über die im Gebäude gebundene verwertbare Energie zu geben.

Als Richtwert soll daher die Primärenergie der als Energieträger verbrauchten erneuerbaren und nicht erneuerbaren Ressourcen (PEE = PENRE+PERE) dienen.

Die im Schweizer Bewertungssystem im Vergleich zum Bereich „Wohnen“ höheren Richtwerte für Bürogebäude und Bildungseinrichtungen wurden in der Gebäudeanalyse deutlich un-

terschritten. Es wird daher vorgeschlagen, für den Bereich „Graue Energie“ einheitliche Richtwerte für alle Gebäudekategorien zu verwenden.

Der Test-Richtwert für den PEE von $30 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF},a}$ wird von allen Gebäuden außer den Einfamilienhäusern deutlich unterschritten. Als ambitionierteres Ziel könnte der Mittelwert der Wohnhausanlage ($26 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF},a}$, siehe Tabelle 16) herangezogen werden.

Der Test-Richtwert für das GWP von $9,4 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^2_{\text{BGF},a}$ wird ebenfalls von allen Gebäuden eingehalten. Der Test-Richtwert von $6,4 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^2_{\text{BGF},a}$, der sich aus dem ambitionierten Zielwert von $1,5 \text{ t CO}_2\text{-eq}$ pro Person und Jahr ableitet, würde vom Einfamilienhaus in Strohballenbauweise und von allen anderen Gebäudevarianten (mit Ausnahme einer Wohnhaus- und einer Bürovariante) unterschritten werden. Aus Sicht der Autorin spricht dies für die Einführung des ambitionierten Richtwerts.

Im vorliegenden Kapitel wurden wie in den österreichischen Gebäudebewertungssystemen und Energieausweis-Berechnungen üblich die konditionierte Brutto-Grundflächen herangezogen. Eine größenordnungsmäßige Abschätzung der Ergebnisse mit Bezug auf „Energiebezugsfläche“ statt „Bruttogrundfläche“ ist mit dem Umrechnungsfaktor 1,25 möglich (vgl. Abschnitt 5.2.1).

Zusammenfassend werden aus der Bottom-Up-Analyse folgende Richtwerte für die „Graue Energie“ von Gebäuden vorgeschlagen:

Tabelle 18: Vorgeschlagene Richtwerte für die Bewertung der „Grauen Energie“ von Gebäuden in Österreich pro m^2 konditionierter BGF und EBF

	PEE	GWP	PEE	GWP
	kWh/ $\text{m}^2_{\text{BGF},a}$	kgCO₂eq/ $\text{m}^2_{\text{BGF},a}$	kWh/ $\text{m}^2_{\text{EBF},a}$	kgCO₂eq/ $\text{m}^2_{\text{EBF},a}$
Richtwerte Wohnen pro BGF	26	6,4	33	8,0
Richtwerte Büro pro BGF	26	6,4	33	8,0
Richtwerte Bildung pro BGF	26	6,4	33	8,0

Mit den im Kapitel „Betriebsenergie“ abgeleiteten Flächen pro Person je Gebäudekategorie (vgl. auch Abschnitt 5.5) können die folgenden Richtwerte pro Person abgeleitet werden:

Tabelle 19: Richtwerte für die Bewertung der Grauen Energie von Gebäuden in Österreich pro Person

	Fläche pro Person	PEE	GWP T
Richtwerte pro Person	$\text{m}^2_{\text{EBF}}/P$	W/P,a	kgCO₂eq/P,a
Wohnen	36,2	136	290
Büro	5	19	40
Bildung	2,2	8	18

Im Bereich der „Grauen Energie“ ist hier neben der Kompaktheit des Gebäudes der zweitwichtigste Optimierungsfaktor gegeben: Je höher die Belegungsdichte, desto leichter sind die Zielwerte zu erreichen.

4.4.2 Offene Fragestellungen

Dieses Projekt beschränkte sich auf die Ökobilanzierung von Neubauvorhaben. Es wurde an Hand von Berechnungen und Auswertungen von Wohn-, Büro-, Kindergarten- und Schulgebäuden erstellt. Es sei in diesem Zusammenhang noch einmal darauf hingewiesen, dass die aus Sicht der „Grauen Energie“ beste Option das „Nicht-Neubauen“ (d.h. Sanieren des Gebäudebestands, Erhöhen der Nutzungseffizienz, Verdichten durch Umnutzen, Aufstocken etc.) ist.

In der entwickelten Bewertungsmethode noch nicht betrachtet wurden folgende ökologisch relevante Bauvorhaben:

- Technische Infrastrukturbauten
- Sanierungen und Bestandsbewertung

Eine Erweiterung der Methode auf diese Bereiche ist – v.a. im Zusammenhang mit der Siedlungsbewertung als prioritär zu betrachten.

Im vorliegenden Projekt nicht betrachtet wurden außerdem „A5 Errichtung / Einbau“ und damit alle auf der Baustellen stattfindenden Prozesse (Entsorgung von Bestandsbauten, Urbarmachung von Baugrund, Aushubtätigkeiten etc.). Dies ist eine in der Ökobilanzierung von Gebäuden übliche Vorgehensweise, denn die Beiträge der Baustellenprozesse zur Grauen Energie von Gebäuden über den Lebenszyklus werden meist als vergleichsweise gering betrachtet. Dies ergaben auch etliche Untersuchungen von Gebäudeökobilanzen (z.B. Lüsner, 1996; Bruck & Fellner, 2004; Nemry & Uihlein, 2008). In einer Analyse des IBO von Hochbauprojekten eines Infrastrukturunternehmens zeigte sich dagegen, dass vor allem Erdarbeiten einen durchaus relevanten Beitrag zu den Indikatoren der „Grauen Energie“ liefern können.

Die Vernachlässigung von „A5 Errichtung / Einbau“ bedeutet, dass nicht nur Prozesse auf der Baustelle, sondern auch Materialverluste beim Einbau nicht berücksichtigt werden. Dadurch können z.B. bei Baumaterialien und Verlegeweisen, welche einen hohen Verschnitt verursachen, relevante ökologische Auswirkungen unberücksichtigt bleiben. Wie beim vorhergehenden Punkt wird dieser Aspekt in Übereinstimmung mit der Schweizer Methode vernachlässigt, sollte aber in weiteren Studien näher untersucht werden.

Ein Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchung war die möglichst enge Orientierung an den bestehenden Gebäudebewertungssystemen, um den zusätzlichen Aufwand möglichst gering zu halten. Die Aufnahme der fehlenden Lebensabschnitte (v.a. A5) sollte daher zunächst im Rahmen der bestehenden Gebäudebewertungssysteme noch einmal auf Basis neuerer Daten untersucht werden.

Im ersten Schritt wurde nur die Ökobilanzierung des Gebäudes selbst betrachtet (Außenanlagen und Nebengebäude wurden nicht berücksichtigt). Auch das sollte in weiteren Studien untersucht werden.

4.4.3 Ausblick

Der Leitfaden „Graue Energie von Gebäuden“ (vgl. auch Kapitel 1) und die abgeleiteten Richtwerte für die „Graue Energie“ von Gebäuden sollten eine gute Grundlage für erste Bewertungen von Siedlungen im Rahmen des neuen Bewertungssystems liefern. Auf Basis von umfangreicheren Berechnungsergebnissen und Auseinandersetzung mit den offenen Fragestellungen sollten die Richtwerte noch einmal überprüft werden.

5 Richtwerte Betriebsenergie Gebäude (Bottom-Up)

5.1 Überblick Kapitel 5

5.1.1 Abkürzungen

PE	Primärenergie
PE _{n.em.}	Primärenergie nicht erneuerbar
PE _{ern}	Primärenergie erneuerbar
CO ₂ -eq.	CO ₂ -äquivalente Emissionen
WP	Wärmepumpe
PV	Photovoltaik

5.1.2 Inhalt

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die im SIA Merkblatt 2040 Effizienzpfad Energie (Merkblatt SIA 2040, 2011) genannten Ziel- und Richtwerte für den Gebäudebetrieb auf ihre Übertragbarkeit auf Österreich zu überprüfen. Die Überprüfung bezieht sich sowohl auf die verwendeten Indikatoren, als auch auf die im Merkblatt festgelegten Annahmen und Randbedingungen, das Rechenverfahren und die quantitativen Ziel- und Richtwerte.

5.1.3 Abgrenzung

In der SIA 2040 findet die Energiebezugsfläche entsprechend SIA 308/1 2009 Anwendung. Diese entspricht der konditionierten Bruttogrundfläche gemäß ÖN B 8110-6 bzw. nach OIB Richtlinie 6 (2015) in Österreich. Davon abzugrenzen ist die Kenngröße der PHPP-Berechnung (Passivhaus-Projektierungspaket), auf welche in diesem Kapitel Bezug genommen wird; diese wird auch als Energiebezugsfläche [m^2_{EBF}] bezeichnet. Das Verhältnis dieser beiden Flächen wurde mit 1,25 festgelegt (vgl. Roßkopf und Ploß, 2017).

5.1.4 Weiterführende Literatur

Detailergebnisse sind in folgendem Bericht dargestellt: Roßkopf T., Ploß M.: Methodische Grundlagen Gebäudebereich – Betriebsenergie. Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn 2017.

5.2 Methodik zur Ableitung von Österreichischen Richtwerten

5.2.1 Vergleich mit Zielen der 2.000-Watt-Gesellschaft

Im ersten Schritt wurden die Ziele der 2.000-Watt-Gesellschaft für den Gebäudebereich analysiert, um diese in einem nächsten Schritt nachrechnen zu können.

Grundsätzlich sind die Ziele für den Gebäudebereich im SIA Merkblatt 2040 Effizienzpfad Energie (Merkblatt SIA 2040, 2011) und der ergänzenden SIA Dokumentation 0236 beschrieben und quantifiziert (Dokumentation D 0236, 2011). Die Zielwerte für den Effizienzpfad Energie wurden top-down aus den Reduktionszielen der 2.000-Watt-Gesellschaft abgeleitet. Die SIA Dokumentation 2040 zielt auf den Betrachtungszeitraum 2050 ab. Zur Festlegung der Zielwerte wurden einige wichtige Annahmen getroffen, u.a.:

- Die Wohn- und Nutzfläche pro Kopf bleibt konstant
- Alle Neubauten entsprechen den in der Dokumentation spezifizierten Zielwerten
- Alle Bestandsgebäude werden bis 2050 entsprechend der Zielwerte für Umbauten saniert. Dies setzt eine deutliche Steigerung der Sanierungsrate und -qualität voraus.

Als Flächenbezugsmaß wird in der SIA 2040 „die Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen, die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist“, verwendet, wie in der Schweizer Norm SIA 380/1 2009 beschrieben (Norm SIA 380/1, 2009). Diese Fläche wird als Energiebezugsfläche bezeichnet und entspricht der konditionierten Bruttogrundfläche nach OIB RL 6. Die Richtwerte der SIA 2040 werden somit wie die OIB-Kennwerte auf m^2_{BGF} bezogen. Davon abzugrenzen sind die Kenngrößen der PHPP-Berechnung (Passivhaus-Projektierungspaket), welche auf die Energiebezugsfläche in m^2_{EBF} bezogen sind. Das Verhältnis dieser beiden Flächen wurde mit 1,25 festgelegt (vgl. Roßkopf und Ploß, 2017). Als Indikatoren für die Betriebsenergie werden in SIA 2040 die Primärenergie nicht erneuerbar und die Treibhausgasemissionen herangezogen.

Die folgenden drei Tabellen zeigen die Schweizer Richt- und Zielwerte für die Gebäudekategorien Wohnen, Büro und Schulen.

Tabelle 20: Richtwerte Wohnen gemäß SIA 2040

	Primärenergie nicht erneuerbar		Treibhausgasemissionen	
	MJ/($m^2_{BGF} \cdot a$) bzw. kWh/($m^2_{BGF} \cdot a$)		kg CO ₂ eq./($m^2_{BGF} \cdot a$)	
Wohnen	Neubau	Umbau	Neubau	Umbau
Richtwert Erstellung	110 → 30,56	60 → 16,67	8,5	5,0
Richtwert Betrieb	200 → 55,56	250 → 69,44	2,5	5,0
Richtwert Mobilität	130 → 36,11	130 → 36,11	5,5	5,5
Zielwerte	440 → 122,22		16,5	15,5

Tabelle 21: Richtwerte Büro gemäß SIA 2040

	Primärenergie nicht erneuerbar		Treibhausgasemissionen	
	MJ/(m ² _{BGF} *a) bzw. kWh/(m ² _{BGF} *a)		kg CO ₂ eq./ (m ² _{BGF} *a)	
Büro	Neubau	Umbau	Neubau	Umbau
Richtwert Erstellung	130 → 36,11	80 → 22,22	10,0	6,0
Richtwert Betrieb	300 → 83,33	350 → 97,22	4,0	7,0
Richtwert Mobilität	230 → 63,89	230 → 63,89	11,5	11,5
Zielwerte	660 → 183,33		25,5	24,5

Tabelle 22: Richtwerte Schulen gemäß SIA 2040

	Primärenergie nicht erneuerbar		Treibhausgasemissionen	
	MJ/(m ² _{BGF} *a) bzw. kWh/(m ² _{BGF} *a)		kg CO ₂ eq./ (m ² _{BGF} *a)	
Schulen	Neubau	Umbau	Neubau	Umbau
Richtwert Erstellung	110 → 30,56	60 → 16,67	9,0	5,5
Richtwert Betrieb	180 → 50,00	230 → 63,89	2,5	5,0
Richtwert Mobilität	60 → 16,67	60 → 16,67	3,0	3,0
Zielwerte	350 → 97,22		14,5	13,5

Die folgende Tabelle 23 zeigt die Richt- und Zielwerte bezogen auf die Personen der Gesamtbevölkerung. Dabei werden folgende spezifische Flächenbedarfsgrößen bezogen auf die Gesamtbevölkerungsanzahl verwendet:

- Wohnen: 60,0 m²_{BGF}/P
- Büro: 5,0 m²_{BGF}/P
- Schulen: 2,5 m²_{BGF}/P

Tabelle 23: Richt- und Zielwerte bezogen auf Personen der Gesamtbevölkerung gemäß SIA 2040

	Mittlere jährliche Leistung der Primärenergie nicht erneuerbar			Treibhausgasemissionen		
	W/P			t CO ₂ eq./P		
	Wohnen	Büro	Schulen	Wohnen	Büro	Schulen
Richtwert Erstellung	210	21	9	0,240	0,025	0,011
Richtwert Betrieb	378	47	14	0,432	0,056	0,018
Richtwert Mobilität	252	37	5	0,288	0,044	0,006
Zielwert	840	105	28	0,960	0,125	0,035

Im Merkblatt SIA 2040 sind die Zielwerte für die mittlere jährliche Leistung der Primärenergie gesamt sowie den nicht erneuerbaren Anteil für das Jahr 2050 angeben. Aus dem Verhältnis zwischen den beiden Zielwerten und den Werten aus Tabelle 23 lassen sich die mittleren jährlichen pro Kopf-Leistungen für Primärenergie gesamt ermitteln, welche in der folgenden Tabelle 24 aufgeführt sind.

Tabelle 24: Primärenergie gesamt – Richt- und Zielwerte gemäß SIA 2040

Mittlere jährliche Leistung der Primärenergie gesamt			
W/P			
	Wohnen	Büro	Schulen
Richtwert Erstellung	368	37	16
Richtwert Betrieb	661	82	24
Richtwert Mobilität	441	65	9
Zielwert	1.470	184	49

5.2.2 Ausgangsvariante

Im zweiten Schritt wurde ein Wohngebäude mit einem Heizwärmebedarf von $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{EBF}} \cdot \text{a})$ und den in Tabelle 25 aufgeführten Kenngrößen berechnet und mit den im Abschnitt 5.2.1 dargestellten Richtwerten verglichen.

Tabelle 25: Kenngrößen des Modellgebäudes

Kenngröße	Einheit	Wert
Warmwasserwärmebedarf	$\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$	13,9
Solarthermie Jahresertrag	$\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{Modul}} \cdot \text{a})$	444,4
Auslegung Solarthermie	$\text{m}^2_{\text{Modul}}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$	0,025
Nutzenergie für Warmwasserwärmebedarf	$\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$	-11,1
Hilfsenergie	$\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$	0,56
Lüftung	$\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$	1,67
Beleuchtung	$\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$	3,33
Betriebsenergie	$\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$	6,94
PV Jahresertrag	$\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{Modul}} \cdot \text{a})$	119,4
Auslegung PV	$\text{m}^2_{\text{Modul}}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$	0,025
Nutzenergie für Betriebsenergiebedarf	$\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$	-3,0

Dabei wurden der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen für die Wärmeerzeuger Öl, Gas, Pellets, Stückholz, Fernwärme und Erdreich-Wärmepumpe ermittelt. Varianten, welche den Richtwert für PE nicht erneuerbar von $55,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a})$ nicht erreichen, wurden mit einer Solarthermie- oder PV-Anlage bzw. mit beiden Anlagen kombiniert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Variantenberechnung Wohngebäude Heizwärmebedarf 10 kWh/m²_{BGF}a

Richtwerte Betrieb Flächenbezogen	Primärenergie nicht erneuerbar		Treibhausgasemissionen	
	kWh/(m ² _{BGF} *a)	Richtwert	kg/(m ² _{BGF} *a)	Richtwert
Gas	69,1	55,6	9,6	2,5
Gas + Solar	50,1		5,5	
Pellets	41,6		3,3	
Stückholz	35,3		2,5	
Fernwärme	36,2		3,3	
Erdreich-WP	56,6		3,2	
Erdreich-WP + PV	48,7		2,7	

Das Ergebnis zeigt, dass bei den Varianten mit Wärmeerzeuger Gas und Erdreich-Wärmepumpe ohne eine Solarthermie- oder PV-Anlage der Primärenergie nicht erneuerbar Richtwert selbst bei einem Wohngebäude mit Passivhausqualität (HWB 10 kWh/(m²_{BGF}*a)) nicht erreicht wird. Wird der Wärmeerzeuger Gas um eine Solarthermie-Anlage und der Wärmeerzeuger Erdreich-Wärmepumpe um eine PV-Anlage erweitert, jeweils mit einer spezifischen Modulgröße von 0,025 m²_{Modul}/m²_{BGF}, kann der Primärenergie nicht erneuerbar Richtwert von 55,6 kWh/(m²_{BGF}*a) eingehalten werden. Im Gegensatz dazu erreichen die Varianten mit Energieträger Pellets, Stückholz und biomasse-basierte Fernwärme den Primärenergie nicht erneuerbar Richtwert problemlos.

Die Anforderung an die maximalen Treibhausgasemissionen ist weitaus strenger formuliert und wird nur von sehr wenigen Varianten eingehalten: Das CO_{2-eq.}-Kriterium wird bei Wohnnutzung (ohne Aufzugsanlage) nur bei einer Stückholz-Heizungsanlage (HWB 10 kWh/(m²_{BGF}*a)) eingehalten.

Die verwendeten Konversionsfaktoren wurden aus dem SIA Merkblatt 2040 übernommen.

5.2.3 Berücksichtigung der Begrenztheit der Biomasse-Ressourcen

Die Kombination der Indikatoren Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen ist nicht zielführend, da beide zur gleichen Grundaussage führen: Biomasse-basierte Heizsysteme sind am besten zur Erreichung der 2.000-Watt-Ziele geeignet.

Gebäude mit Biomasse-basierten Heizsystemen oder Fernwärme erreichen die Richtwerte für Primärenergie nicht erneuerbar auch mit sehr schlechten Werten des Heizwärmebedarfs. So erreichen beispielsweise Wohngebäude (ohne Aufzugsanlage) mit den im Folgenden aufgeführten Heizwärmebedarfswerten das Primärenergiekriterium der 2.000-Watt-Gesellschaft:

- Holzschnitzel: 260 kWh/(m²_{BGF}*a)
- Pellets: 60 kWh/(m²_{BGF}*a)
- Stückholz: 294 kWh/(m²_{BGF}*a)
- Fernwärme: 194 kWh/(m²_{BGF}*a)

Dies gilt auch für Nicht-Wohngebäude: Bei Büronutzung (1 Aufzug pro 1.000 m²_{BGF}) liegen die möglichen HWB-Werte etwas höher (279, 78, 312, 211), bei Schulen (1 Aufzug pro 1.000 m²_{BGF}) niedriger (89, 23, 100, 67). Da auch Biomasse begrenzt verfügbar ist und das Energieeffizienzkriterium auch für alle Formen von erneuerbaren Energie gilt, stellt der Indikator Primärenergiebedarf nicht erneuerbar für Biomasse-basierte Heizsysteme keine sinnvollen Anforderungen.

Im Bereich Betriebsenergie wird daher der gesamte Primärenergiefaktor anstatt des nicht erneuerbaren Primärenergiefaktors verwendet.

5.2.4 Gebäudeenergiebilanzierung

Der österreichische Energieausweis verwendet in vielen Bereichen Pauschalwerte um eine schnelle und einfache Gebäudeenergiebilanzierung zu gewährleisten: Pauschalwerte für interne Wärmequellen, Warmwasserenergiebedarf, Haushaltsstrombedarf bzw. Beleuchtungs- und Betriebsstrombedarf (Nicht-Wohngebäude).

Bei den Gebäuden, welche im Rahmen der Siedlungsbewertung beurteilt werden, handelt es sich um effiziente Gebäude mit innovativen Haustechniksystemen. Diese können nur bedingt realitätsnah mit der Energieausweisberechnung abgebildet werden. Das Passivhaus-Projektierungspaket bietet die notwendige Flexibilität um sowohl Wohn- und Nicht-Wohngebäude realitätsnah abzubilden und zu optimieren.

Die Siedlungsbewertung wird hauptsächlich bei großvolumigen Baukörpern angewandt werden, weshalb der finanzielle Mehraufwand durch die zusätzliche Berechnung im Promillebereich liegt. Wie die Erfahrung gezeigt hat, werden die Mehrkosten der zusätzlichen aber realitätsnäheren Berechnungen in der Regel in wenigen Jahren durch ein optimiertes Energiekonzept amortisiert. Die Optimierung ungeeigneter Berechnungsverfahren führt jedoch zu ineffizienten Gebäudeenergiekonzepten und höheren Lebenszykluskosten. Aus den genannten Gründen wird das Passivhaus-Projektierungspaket als Nachweisberechnungsprogramm für die Siedlungsbewertung empfohlen.

Die Erzeugung erneuerbarer Energien durch ein solarthermisches System am Standort wird direkt im PHPP berücksichtigt und führt zu einer Reduktion des Endenergiebedarfs.

Die Erzeugung einer PV-Anlage führt in der hier vorgeschlagenen Methode nicht zu einer Reduktion des Endenergiebedarfs, da dazu der eigen genutzte Anteil, welcher den Strombezug tatsächlich reduziert, mithilfe einer dynamischen Simulation ermittelt werden müsste. Stattdessen wird der PV-Ertrag einer Siedlung – unabhängig von Eigennutzung oder Netzeinspeisung – auf die überbaute Fläche der Gebäude bezogen ermittelt und separat bewertet.

5.2.5 Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs von erneuerbarer Stromerzeugung und Energiebedarf

Die Ziel- und Richtwerte der 2.000-Watt-Gesellschaft wurden zu einem Zeitpunkt formuliert, zu dem der zeitliche Verlauf von Bedarf und Erzeugung regenerativer Systeme noch nicht im

Fokus stand. Inzwischen zeigt sich, dass dieser Aspekt in Energieversorgungssystemen mit hohen regenerativen Anteilen von zentraler Bedeutung ist. In derartigen Systemen dominieren die fluktuierenden Quellen Wind, Sonne und Wasser, lediglich bei der Biomassenutzung spielt der zeitliche Aspekt keine Rolle. Neuere Studien zur Struktur des zukünftigen Energiesystems zeigen einhellig eine stark ausgeprägte Dominanz strombasierter Technologien (WP).

Die Übertragung der Ziele der 2.000-Watt-Gesellschaft auf Österreich und die Entwicklung eigener Methoden zur Beschreibung der Ziel- und Richtwerte bieten die Chance, den Aspekt der jahreszeitlichen Unterschiede der Strombereitstellung zu berücksichtigen. Da die 2.000-Watt-Gesellschaft nur eine Dauerleistung bewertet, wird der jahreszeitliche Unterschied der Verbrauchsstruktur eines Gebäudes nicht abgebildet (Sommer/Winter-Problematik).

Analog zur Berechnung der PE- und CO₂-Emissions-Faktoren nach den Erläuternden Bemerkungen der OIB Richtlinie 6 (OIB 6, 2015) wurden deshalb monatliche Konversionsfaktoren ermittelt. Daraus werden Faktoren für das Winterhalbjahr abgeleitet, mit welchen der Endenergiebedarf (sofern der Wärmeerzeuger mit Strom betrieben ist) und der Hilfsenergiebedarf für Heizung und Lüftung im Winter bewertet werden können. Der Endenergiebedarf und Hilfsenergiebedarf für Warmwasser sowie der Strombedarf für Beleuchtung, Betriebseinrichtung und Lüftung im Sommer wurde mit den eigens ermittelten Jahresfaktoren bewertet. Somit konnte der jahreszeitliche Unterschied der Strombereitstellung berücksichtigt werden. In der Ermittlung der monatlichen Konversionsfaktoren wurde das Szenario Erneuerbare Energie 2050 der Umweltbundesamt GmbH berücksichtigt, da der 2.000-W-Ansatz den Bezug auf das Jahr 2050 hat und Siedlungen das Ziel in diesem Jahr erreichen sollten. Die Erläuterung zur Ermittlung der monatlichen Konversionsfaktoren folgt im folgenden Abschnitt.

5.3 Ermittlung monatlicher Konversionsfaktoren für Energieträger Strom

5.3.1 Faktoren aus Betriebsstatistiken 2014 und 2015 gemittelt

Als Basis für die Ermittlung der monatlichen Faktoren für Österreich wurden die Betriebsstatistiken der E-Control der Jahre 2014 und 2015 verwendet, die in Form von Monatswerten vorliegen (E-Control, 2014 und E-Control, 2015). Die Zusammensetzung der Inlandserzeugung ist aus der Statistik „Monatliche Erzeugung elektrischer Energie nach Komponenten“ entnommen. Der Strombedarf für den Netzbetrieb, bestehend aus Strom für Pumpspeicherung, Netzverluste und Eigenbedarf, sowie der Endverbrauch Österreichs stammen aus der Statistik „Monatliche Bilanz elektrischer Energie“. Die monatlichen Stromimporte und –exporte, aufgeteilt auf die jeweiligen beteiligten Länder, sind aus der Statistik „Physikalische Importe und Exporte elektrischer Energie“ entnommen.

Im ersten Schritt wurden die Brennstoffe „Derivate“ und „Erdölderivate“ zu „Erdöl und Derivate“ sowie „Biogene Brennstoffe“ und „Sonstige Biogene“ zu „Biomasse“ zusammengefasst. Im zweiten Schritt wurden die statistischen Korrekturen und Zusätze, welche nur als Jahreswerte vorliegen, anteilig der einzelnen monatlichen Erzeugungen zugeordnet. Dies gilt für

den Endverbrauch und die folgenden Erzeugungsquellen: Erzeugung Wasserkraftwerke, Erdgas und Derivate, Biogene Brennstoffe, Sonstige Brennstoffe und Sonstige Erzeugung. Im dritten Schritt wurde die monatliche Erzeugung aus sonstigen Brennstoffen, anteilig auf die anderen Brennstoffe (Steinkohle, Erdöl und Derivate, Erdgas und Derivate sowie Biomasse) aufgeteilt. Im vierten Schritt erfolgte die monatliche Aufteilung der sonstigen Erzeugung auf den kompletten Erzeugungsmix Österreichs. Das Ergebnis ist die monatliche Bruttostromerzeugung von Österreich für die Jahre 2014 und 2015, in nachfolgender Abbildung 11 dargestellt, aus folgenden Quellen: Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik, Steinkohle, Erdöl und Derivate, Erdgas und Derivate sowie Biomasse.

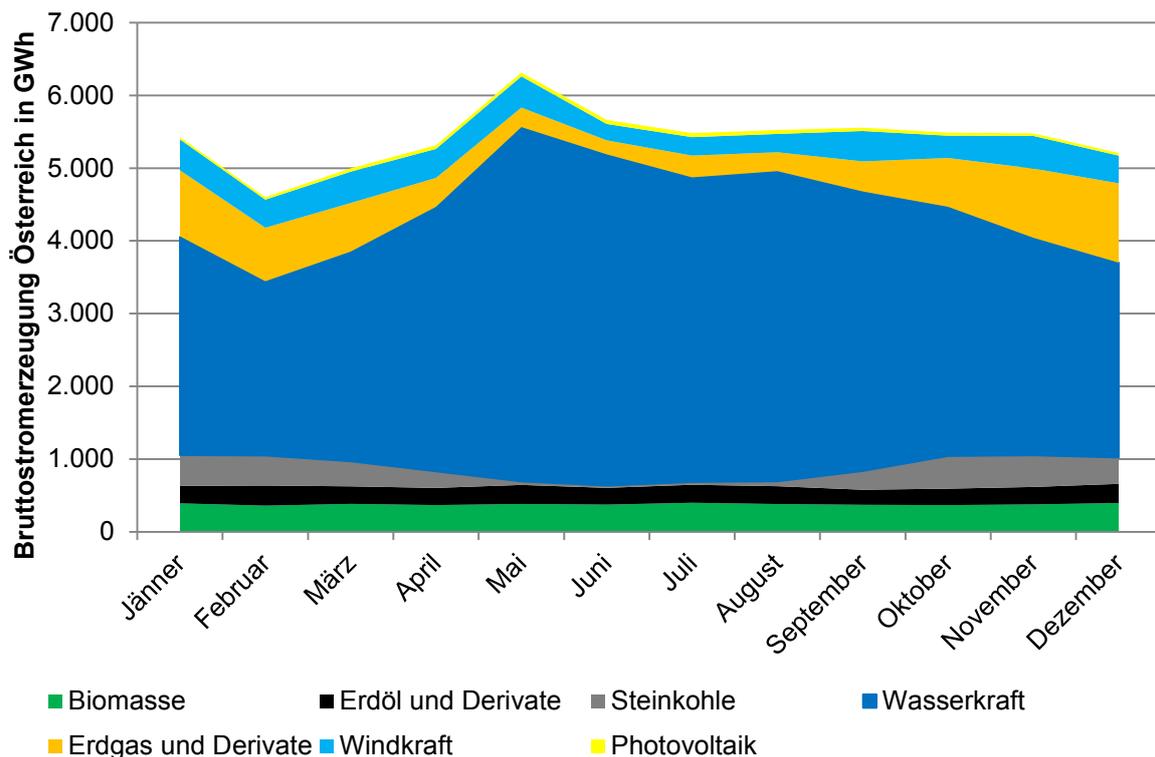


Abbildung 11: Bruttostromerzeugung Österreich (Darstellung: EIV, 2017)

Daraus wurde die gemittelte, monatliche Erzeugungsverteilung als prozentuale Aufteilung der Erzeugung aus den Jahren 2014 und 2015 ermittelt. In Kombination mit den Umweltkennwerten und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen von Stolz und Frischknecht (Stolz und Frischknecht, 2017) ergaben sich monatliche Primärenergiefaktoren und CO₂-äquivalente Emissionen für die Österreichische Bruttostromerzeugung. Mithilfe des Strombedarfs für den Betrieb des Österreichischen Stromnetzes, bestehend aus Strombedarf für Pumpspeicherung, Netzverluste und Eigenbedarf, wurden die monatlichen Aufwandszahlen für die Stromverteilung ermittelt. Die Aufwandszahlen wurden in der Berechnung der monatlichen Konversionsfaktoren berücksichtigt. Die folgende Tabelle 27 zeigt die berechneten, monatlichen Konversionsfaktoren der Bruttostromerzeugung Österreichs mit Berücksichtigung der monatlichen Aufwandszahlen des Stromnetzes.

Tabelle 27: Konversionsfaktoren Bruttostromerzeugung Österreich (Berechnung: EIV, 2017)

Konversionsfaktor	Einheit	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Primärenergiefaktor gesamt	kWh _{PE} /kWh	2,09	2,34	2,44	2,27	2,01	1,80	1,81	1,88	1,85	1,97	2,20	2,31	2,44
Primärenergiefaktor erneuerbar	kWh _{PE,ern} /kWh	1,33	1,25	1,24	1,31	1,37	1,41	1,46	1,45	1,42	1,35	1,26	1,22	1,22
Primärenergiefaktor nicht erneuerbar	kWh _{PE,n.ern} /kWh	0,76	1,09	1,20	0,97	0,65	0,38	0,35	0,43	0,43	0,62	0,94	1,10	1,21
CO ₂ -äquivalente Emissionen	kg _{CO2-equ} /kWh	0,204	0,290	0,323	0,261	0,178	0,103	0,096	0,116	0,117	0,172	0,259	0,291	0,314

Bei genauer Betrachtung der Stromimporte und –exporte ist ersichtlich, dass Österreich Nettoimporteur (Importe > Exporte) von Strom aus Deutschland und der Tschechischen Republik ist. Bei den anderen angrenzenden Ländern wird mehr Strom exportiert als importiert (Schweiz, Fürstentum Liechtenstein, Italien, Slowenien und Ungarn). Aus diesem Grund wurden für die weiteren Betrachtungen nur Deutschland und die Tschechische Republik genauer betrachtet.

Dazu wurde die Erzeugungsstatistik des Verbands Europäischer Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E) verwendet (ENTSO-E, 2017). Analog zu Österreich erfolgte die Ermittlung des monatlichen Bruttostromerzeugungsmix als prozentuale Aufteilung, gemittelt aus den Jahren 2014 und 2015. Dabei wurden die gemischten Brennstoffe (Mixed fuels) mit dem Brennstoff Öl zusammengefasst und die sonstigen Fossilen und sonstigen Erneuerbaren anteilig auf die anderen Fossilen (Braunkohle, Steinkohle, Gas und Öl) bzw. Erneuerbaren (Wind, Solar und Biomasse) aufgeteilt. Aus dem monatlichen Inlandserzeugungsmix von Deutschland und der Tschechischen Republik ergaben sich monatliche Primärenergiefaktoren und CO₂-äquivalente Emissionen für jedes der beiden Länder. Die folgende Abbildung 12 zeigt die monatliche Bruttostromerzeugung Deutschlands. In der folgenden Tabelle 28 sind die berechneten Konversionsfaktoren der Tschechischen Republik angeführt.

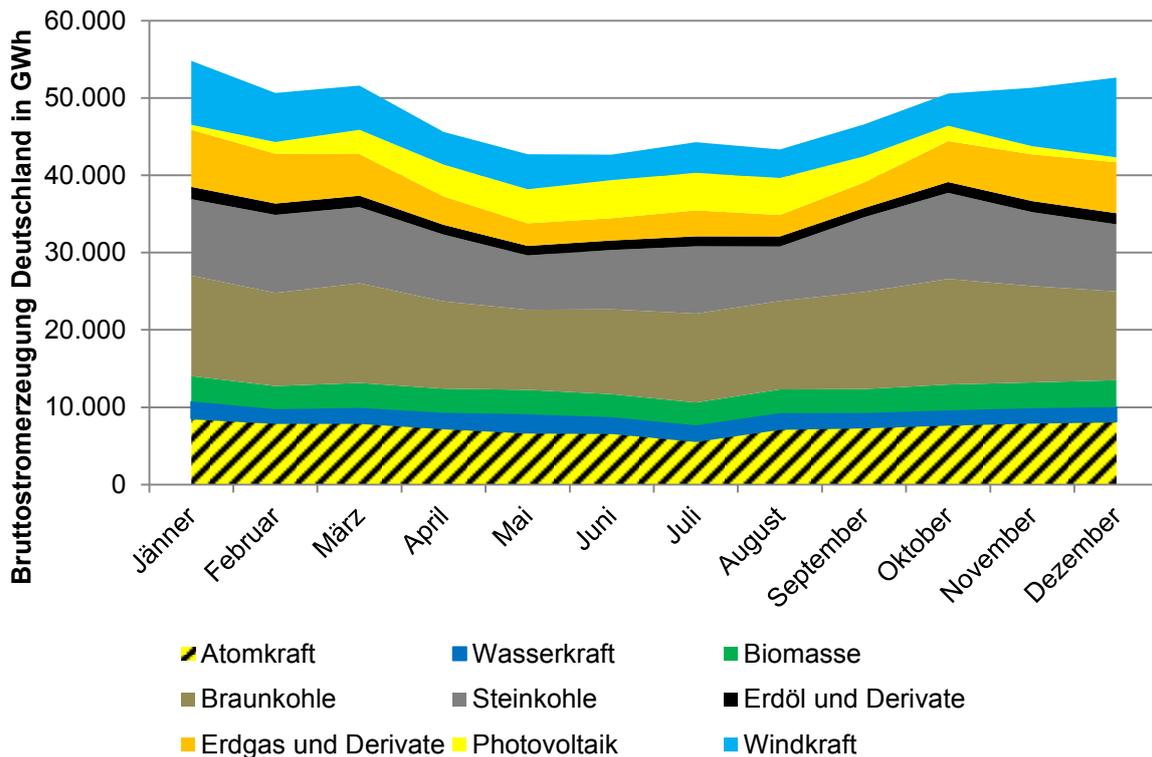


Abbildung 12: Bruttostromerzeugung Deutschland (Darstellung: EIV, 2017)

Tabelle 28: Konversionsfaktoren Bruttostromerzeugung Tschechische Republik (Berechnung: EIV, 2017)

Konversionsfaktor	Einheit	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Primärenergiefaktor gesamt	kWh _{PE} /kWh	3,71	3,76	3,75	3,72	3,68	3,65	3,66	3,65	3,69	3,69	3,72	3,73	3,73
Primärenergiefaktor erneuerbar	kWh _{PE,em} /kWh	0,25	0,21	0,21	0,23	0,26	0,29	0,28	0,29	0,28	0,26	0,24	0,24	0,25
Primärenergiefaktor nicht erneuerbar	kWh _{PE,n.ern.} /kWh	3,45	3,55	3,54	3,49	3,42	3,36	3,38	3,36	3,41	3,43	3,48	3,49	3,47
CO ₂ -äquivalente Emissionen	kg _{CO2-equ.} /kWh	0,677	0,662	0,706	0,689	0,683	0,641	0,604	0,683	0,634	0,668	0,683	0,733	0,719

Aus der österreichischen Bruttostromerzeugung, abzüglich dem Strombedarf für den Netzbetrieb, sowie den Importen und Exporten konnte der monatliche Anteil der Inlandstromerzeugung am Endverbrauch Österreichs abgeleitet werden.

Aus den monatlichen Import- und Exportwerten konnten die monatlichen Nettoimporte (Importe – Exporte) aus Deutschland und der Tschechischen Republik sowie die prozentualen Anteile der beiden Länder an den gesamten monatlichen Nettoimporten ermittelt werden (z.B. x% aus Deutschland und y% aus der Tschechischen Republik, x + y = 100%). Diese Anteile wurden gemittelt für die Jahre 2014 und 2015 erfasst.

Aus der österreichischen Bruttostromerzeugung, den monatlichen Anteilen am Endverbrauch, den prozentualen Anteilen von Deutschland und Tschechien an den Nettoimporten sowie der deutschen und tschechischen Bruttostromerzeugung konnten die monatlichen Primärenergiefaktoren und CO₂-äquivalente Emissionen der Österreichischen Strombereitstellung ermittelt werden.

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die Konversionsfaktoren des Energetischen Endverbrauchs Österreichs. Zusätzlich ist der Jahresmittelwert in orange und der Konversionsfaktor der OIB-Richtlinie 6 Stand 2015 in rot dargestellt.

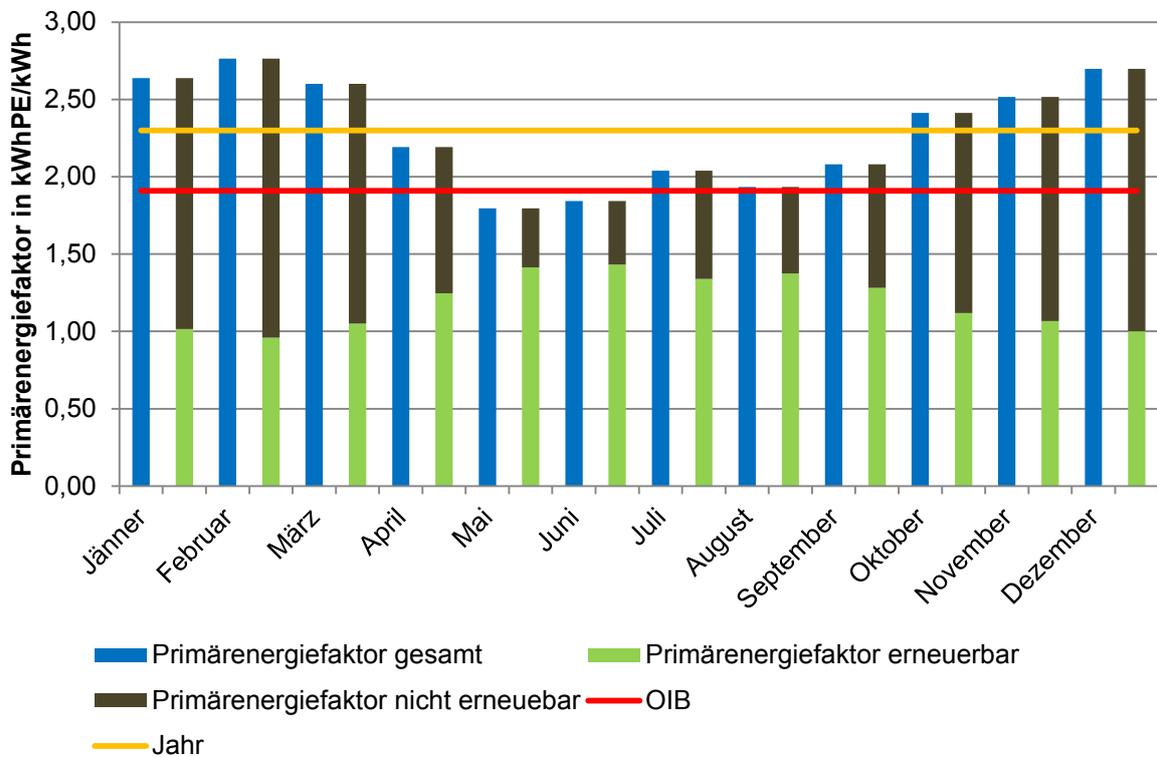


Abbildung 13: Primärenergiefaktoren Energetischer Endverbrauch Österreich (Darstellung: EIV, 2017)

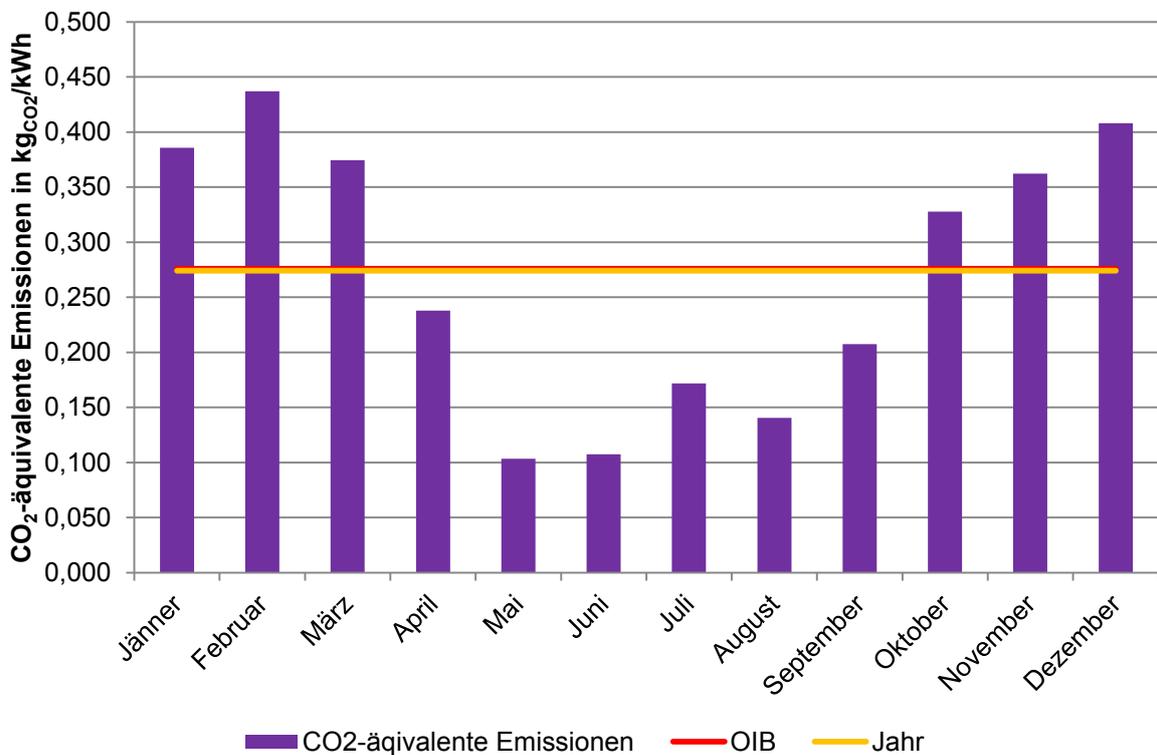


Abbildung 14: CO₂-Faktoren Energetischer Endverbrauch Österreich (Darstellung: EIV, 2017)

5.3.2 Faktoren aus Szenario Erneuerbare Energie 2050

Das Szenario Erneuerbare Energie der Umweltbundesamt GmbH beschreibt für das Jahr 2050 einen starken Zuwachs der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen, vor allem im Bereich Windkraft und Photovoltaik (Umweltbundesamt GmbH 2, 2016). Die Erzeugung aus konventionellen Kraftwerken wird stark reduziert. Die Energieträger Steinkohle und Erdöl sind im Erzeugungsmix von 2050 nicht mehr vorhanden, Erdgas nur noch mit einem sehr geringen Anteil. Gemäß dem Szenario wandelt sich Österreich von einem Nettoimporteur- zu einem Nettoexporteurland. Die folgende Tabelle 29 zeigt die Bruttoerzeugung, die Nettoimporte bzw. -exporte sowie den energetischen Endverbrauch von Strom in Österreich für 2014 und 2050 nach dem Szenario Erneuerbare Energie. Zusätzlich sind für die einzelnen Energieträger sowie die energetischen Endverbrauch Faktoren berechnet, welche das Verhältnis zwischen 2050 und 2014 angeben. Ein Wert über 1 gibt an, dass die Erzeugung des jeweiligen Energieträgers bzw. der Verbrauch zunimmt und umgekehrt abnimmt, falls der Wert geringer als 1 ist.

Tabelle 29: Strombereitstellung Österreich nach Szenario Erneuerbare Energie

Energieträger, Strommenge	2014	2050	Faktor
-	GWh	GWh	-
Wasserkraft	40.600	45.300	1,12
Windkraft	3.700	21.100	5,70
Photovoltaik	900	23.600	26,22
Steinkohle	4.600	0	0,00
Erdöl und Derivate	600	0	0,00
Erdgas und Derivate	5.200	1.000	0,19
Biomasse	3.800	4.900	1,29
Abfall	900	1.000	1,11
Nettoimporte (+) bzw. -exporte (-)	9.300	-19.700	-
Energetischer Endverbrauch	69.600	77.200	1,11

Mithilfe dieser Faktoren wurde die monatliche Bruttostromerzeugung und der Bedarf für den Netzbetrieb sowie der monatlichen energetische Endverbrauch Österreichs für das Jahr 2050 aus den heutigen Werten (2014 und 2015 gemittelt) ermittelt. Da der Bedarf für den Netzbetrieb im Szenario nicht aufscheint, wurde derselbe Faktor des Energetischen Endverbrauchs verwendet, da Stromverbrauch und Netzbetrieb direkt zusammenhängen.

Die Differenz zwischen dem Energetischen Endverbrauch und der Bruttostromerzeugung abzüglich Bedarf für Netzbetrieb ergab dann den Nettoimport bzw. Nettoexport. Nach dem Szenario ergibt sich für Österreich auf Jahresbasis ein Nettoexport. Es wird also mehr Strom erzeugt als benötigt und deshalb exportiert. Bei monatlicher Betrachtung ist jedoch ersichtlich, dass in den Monaten Jänner, Februar und Dezember trotzdem mehr Strom importiert werden muss als exportiert werden kann. Für diese Nettostromimporte wird die heutige Erzeugungsstruktur von Deutschland und der Tschechischen Republik verwendet.

Diese Vereinfachung entspricht nicht dem Szenario erneuerbare Energie, welches die Erreichung des 2-Grad-Ziels der UN-Klimakonferenz in Paris 2015 verfolgt, weshalb auch von einem wesentlich höheren erneuerbaren Anteil in der Erzeugungsstruktur von Deutschland und der Tschechischen Republik in 2050 ausgegangen werden kann. Um die Veränderung in der Erzeugungsstruktur der beiden Länder bis 2050 mitberücksichtigen zu können, müssten ähnliche Szenarien wie das Szenario Erneuerbare Energie für die beiden Länder in die Betrachtung einbezogen werden. Dies war jedoch im Rahmen dieses Projektes nicht möglich. Die Nettoimporte machen gemäß dem Szenario maximal 11,3% des Energetischen Endverbrauchs aus (Monat Dezember), führen jedoch zu einer Verdoppelung des CO_{2-eq.}-Faktors in diesem Monat.

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die Konversionsfaktoren des Energetischen Endverbrauchs Österreichs für das Jahr 2050 nach dem Szenario Erneuerbare Energie der Umweltbundesamt GmbH. Zusätzlich ist der Jahresmittelwert in orange und der heutige, berechnete Jahresmittelwert (2014 und 2015 gemittelt) in rot dargestellt. Bei den CO_{2-eq.}-Faktoren sind klar die drei Nettoimportmonate Jänner, Februar und Dezember ersichtlich.

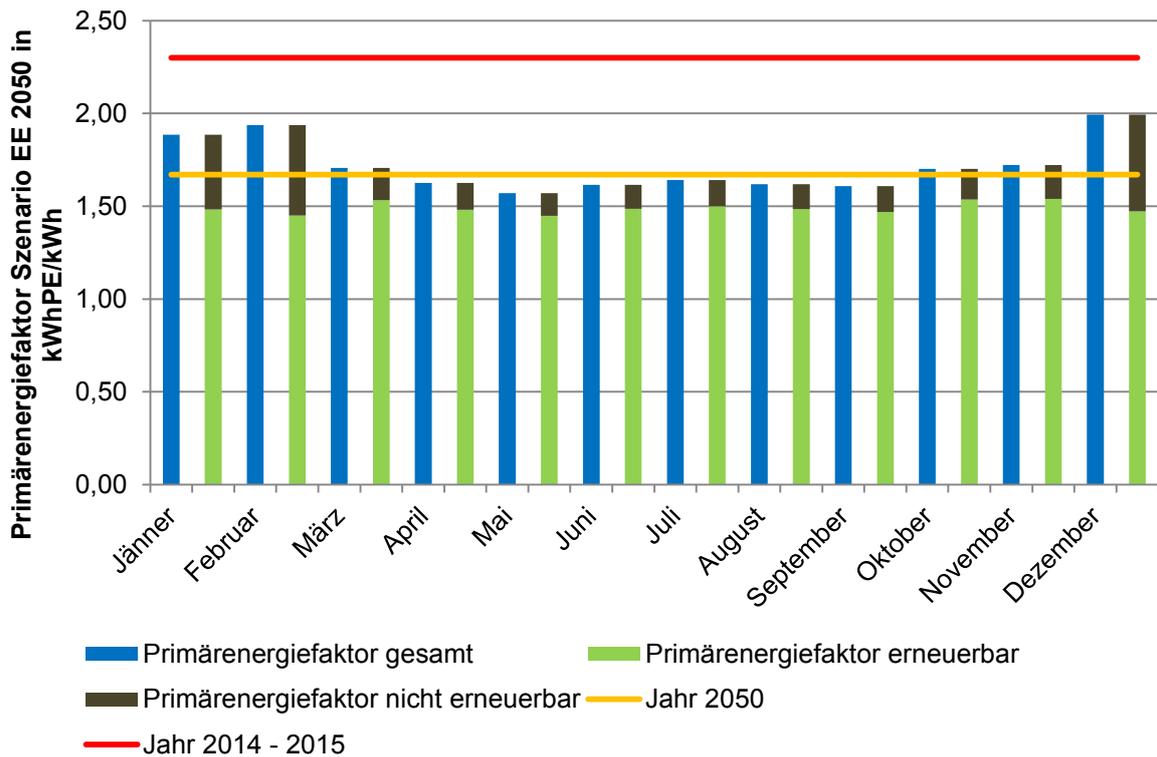


Abbildung 15: Primärenergiefaktoren Energetischer Endverbrauch Österreich 2050 nach Szenario (Darstellung: EIV, 2017)

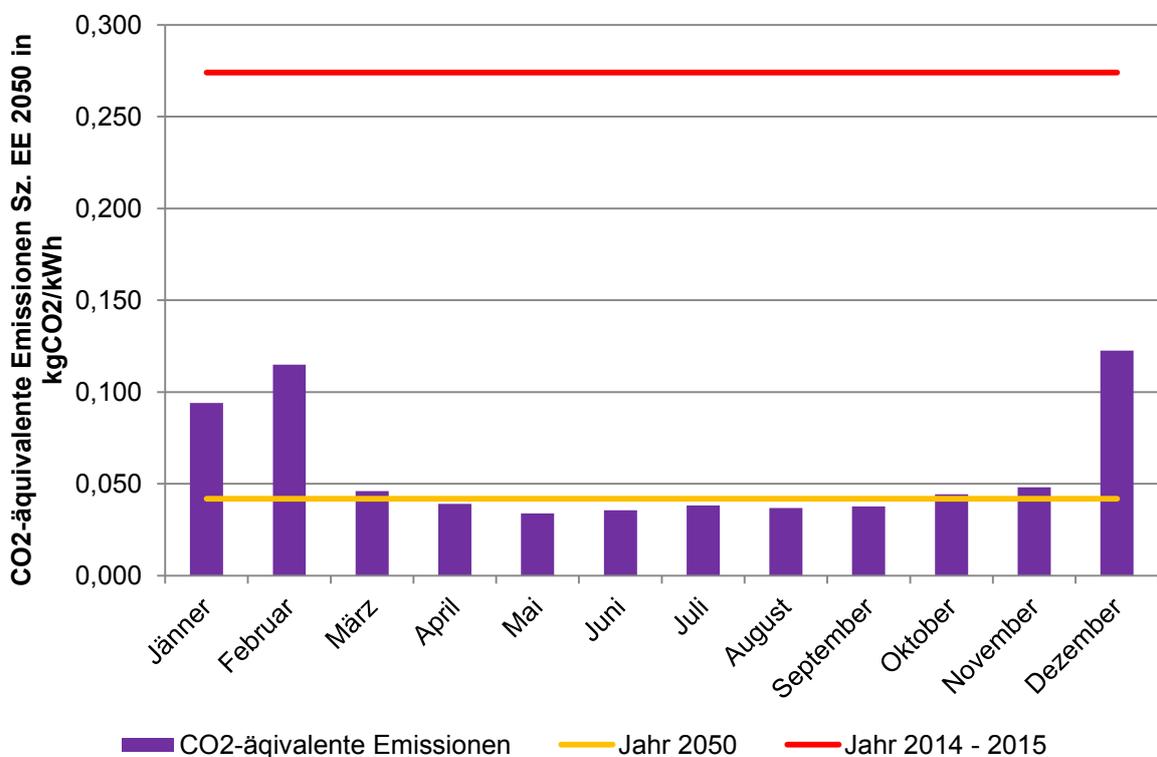


Abbildung 16: CO₂-Faktoren Energetischer Endverbrauch Österreich 2050 nach Szenario (Darstellung: EIV, 2017)

Die Konversionsfaktoren, welche für die Bewertung des Endenergiebedarfs Strom für Siedlungen verwendet wurden, ergaben sich aus dem Mittelwert der heutigen Faktoren (2014 und 2015 gemittelt) und der Faktoren aus dem Jahr 2050 nach dem Szenario Erneuerbare Energie. Diese Faktoren sind in folgender Tabelle 30 aufgeführt.

Tabelle 30: Konversionsfaktoren Strom für Siedlungsbewertung

Konversionsfaktor	Einheit	Jahr	Winter	Sommer
Primärenergiefaktor gesamt	kWh _{PE} /kWh	1,99	2,20	1,79
Primärenergiefaktor erneuerbar	kWh _{PE,ern.} /kWh	1,35	1,28	1,42
Primärenergiefaktor nicht erneuerbar	kWh _{PE,n.ern.} /kWh	0,63	0,92	0,37
CO ₂ -äquivalente Emissionen	kg _{CO2-equ.} /kWh	0,158	0,224	0,096

Für alle anderen Energieträger wurden die Konversionsfaktoren aus der baubook deklaratonszentrale übernommen, wobei für Fernwärme eine 100 % Biomasseversorgung und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) angenommen wurde (www.baubook.info/zentrale/; Zugriff am 30.06.2017).

Tabelle 31: Konversionsfaktoren für alle anderen Energieträger

Energieträger	f _{PE}	f _{PE,n.ern.}	f _{PE,ern.}	f _{CO2-equ.}
	kWh _{PE} /kWh	kWh _{PE,n.ern.} /kWh	kWh _{PE,ern.} /kWh	kg _{CO2-equ.} /kWh
Erdgas	1,17	1,17	0,00	0,262
Fernwärme (100% Biomasse)	0,94	0,03	0,91	0,009
Pellets (15kW)	1,15	0,22	0,93	0,045

5.4 Best Practice Analyse

Im Rahmen einer Best Practice Analyse wurden verschiedene Gebäude mit unterschiedlicher Nutzung (Wohn-, Büro- und Schulnutzung) mit dem Passivhausprojektierungspaket abgebildet. Die wichtigsten Kenngrößen der untersuchten Gebäude sind in der folgenden Tabelle 32 aufgeführt. Die Gebäude sind mit verschiedenen Wärmeerzeugern, Fernwärme, Gas, Pellets und Erdreich-Wärmepumpe, und zusätzlich jeweils mit und ohne Solarthermischer Anlage berechnet worden, deren Kenngrößen in Tabelle 33 dargestellt sind. Die Solarthermische Anlage liefert Wärme an das Warmwasser- und Heizungssystem. Das Bürogebäude und der Kindergarten verfügen über keine Solarthermische Anlage, da sie keine zentrale Warmwasserbereitung und kein Warmwasserverteilsystem haben. Die Warmwasserbereitung erfolgt aufgrund des geringen Warmwasserwärmebedarfs über dezentrale Warmwasseruntertischboiler. Das Bürogebäude ist ohne Klimatisierung im Sommer abgebildet. Für die Siedlungsbewertung wird nämlich empfohlen den Einsatz von passiven Kühlmaßnahmen in Form von qualitativen Bewertungskriterien zu unterstützen. Des Weiteren wird es als sinnvoll empfunden eine dynamische Gebäudesimulation zur Abschätzung der Heiz- und Kühllast sowie der sommerlichen Überhitzung positiv zu bewerten. Sollte beim bewerteten Projekt eine aktive Kälteerzeugung unumgänglich sein, werden die Kombination von PV-Anlage und Kälteerzeugungsanlage und die aktive Nutzung des PV-Stroms zur Deckung des benötigten Kühlstroms empfohlen.

Tabelle 32: Kenngrößen Best Practice Gebäude

Gebäude	Energiebezugsfläche	Netto-Raumfläche	U-Werte	Lüftung
	m ² _{EBF}	m ² _{NRF}	W/(m ² K)	-
Mehrwohnungsgebäude 1	1.421	1.483	Wand 0,118 Dach 0,081 Fenster 0,740	Abluft
Mehrwohnungsgebäude 2	439	454	Wand 0,119 Dach 0,084 Fenster 0,770	79% WRG
Bürogebäude	2.429	2.799	Wand 0,129 Dach 0,105 Fenster 0,850	84% WRG
Schulgebäude	5.157	5.966	Wand 0,212 Dach 0,115 Fenster 0,920	82,8% WRG
Kindergarten	792,9	912,4	Wand 0,136 Dach 0,074 Fenster 0,770	75,5% WRG

Tabelle 33: Kenngrößen Solarthermische Anlagen

Gebäude	Aperturfläche	Anstellwinkel	Azimutwinkel
	m ² _{Apertur}	Grad	Grad
Mehrwohnungsgebäude 1	102,2	45	42
Mehrwohnungsgebäude 2	52,5	90	0
Schulgebäude	150	45	0

Die folgenden Abbildungen zeigen den Primärenergiebedarf und die CO₂-eq.-Emissionen der einzelnen berechneten Varianten getrennt für die Nutzung Wohngebäude, Bürogebäude und Schulgebäude. In allen Abbildungen ist der flächenbezogene Richtwert, welcher aus den Berechnungsergebnissen abgeleitet wurde, dargestellt. Dazu wurde ein Wert gewählt, welcher von einem Großteil der (erneuerbaren) Energiesysteme eingehalten werden kann.

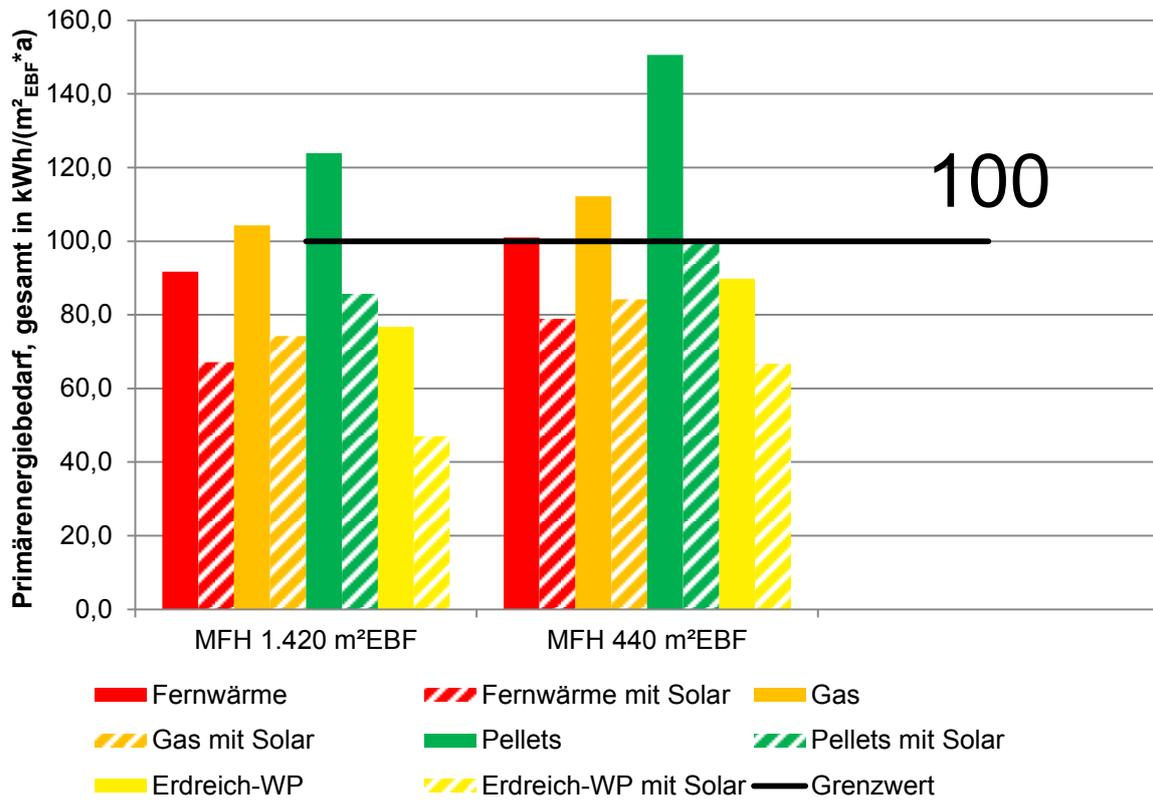


Abbildung 17: Wohngebäude – Primärenergiebedarf gesamt (Darstellung: EIV, 2017)

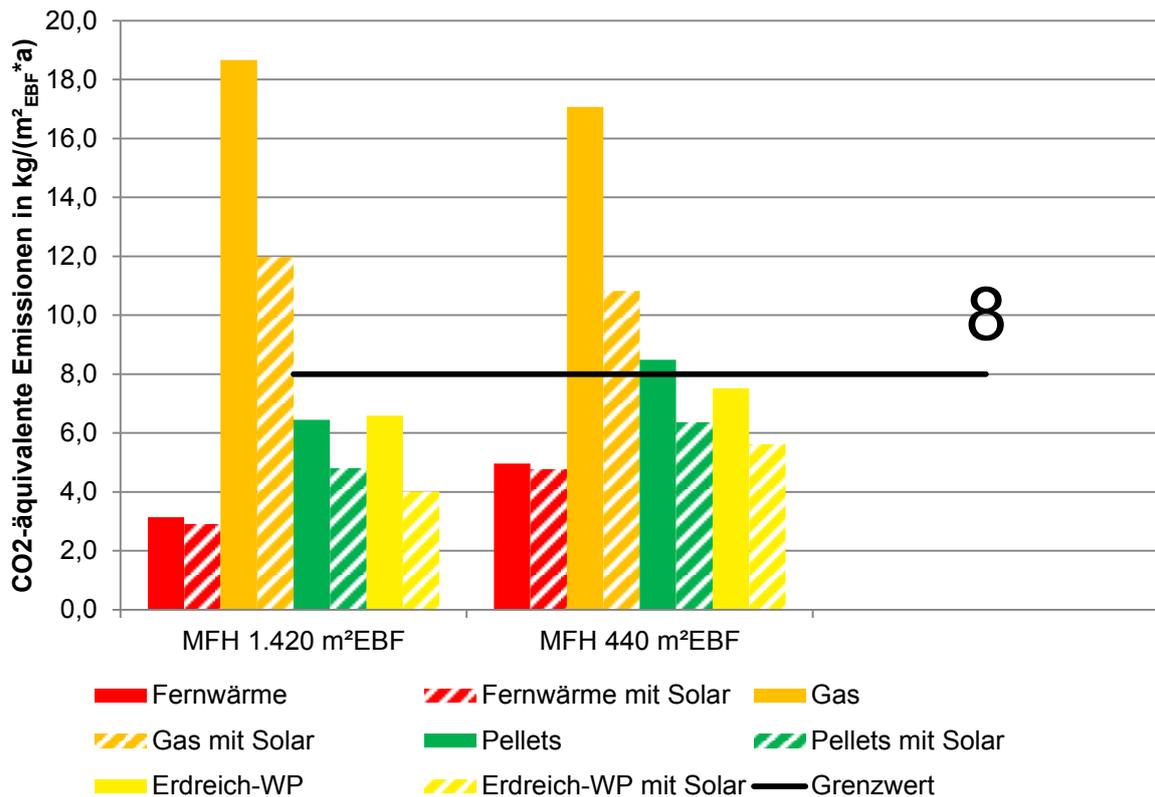


Abbildung 18: Wohngebäude – Treibhausgasemissionen (Darstellung: EIV, 2017)

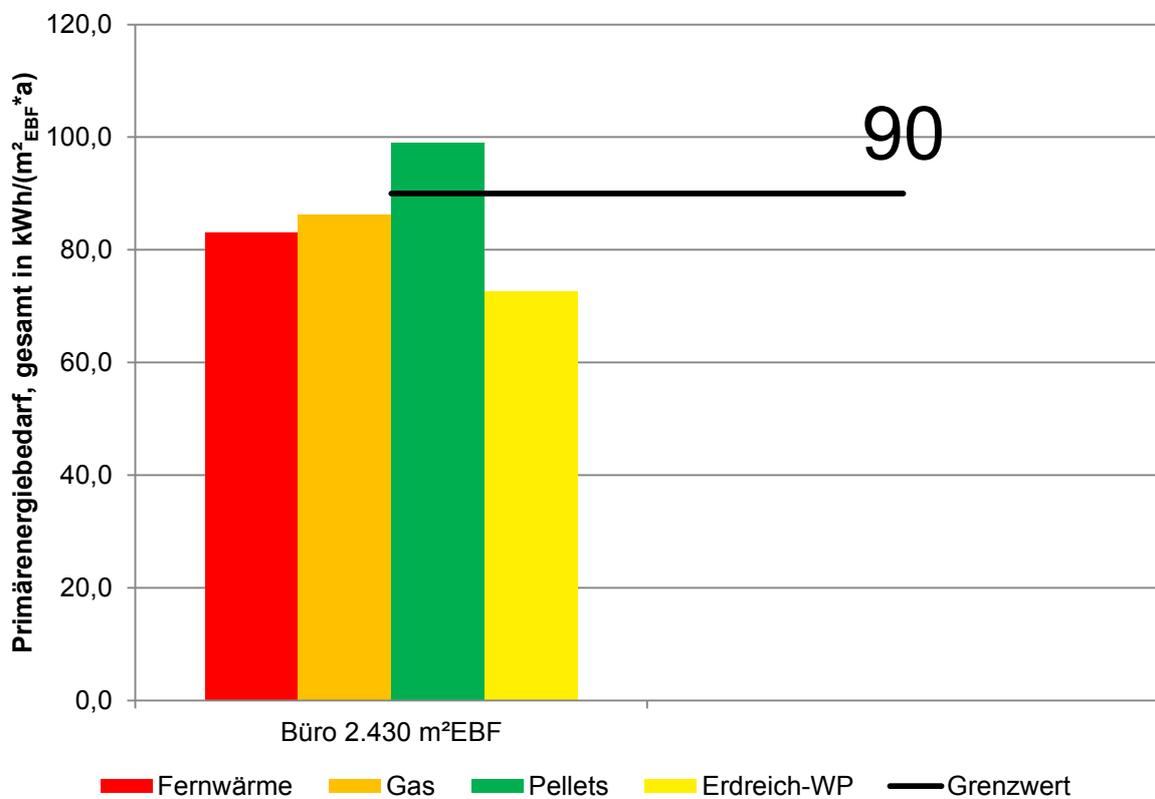


Abbildung 19: Bürogebäude – Primärenergiebedarf gesamt (Darstellung: EIV, 2017)

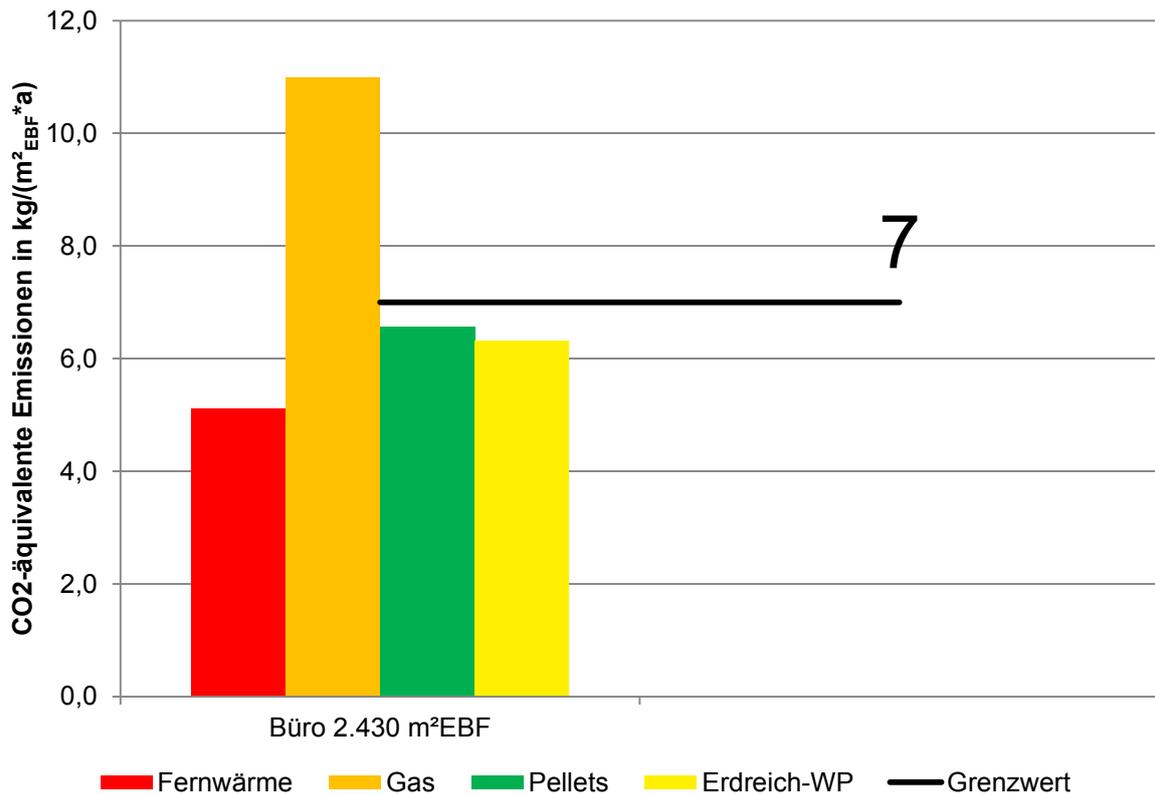


Abbildung 20: Bürogebäude – Treibhausgasemissionen (Darstellung: EIV, 2017)

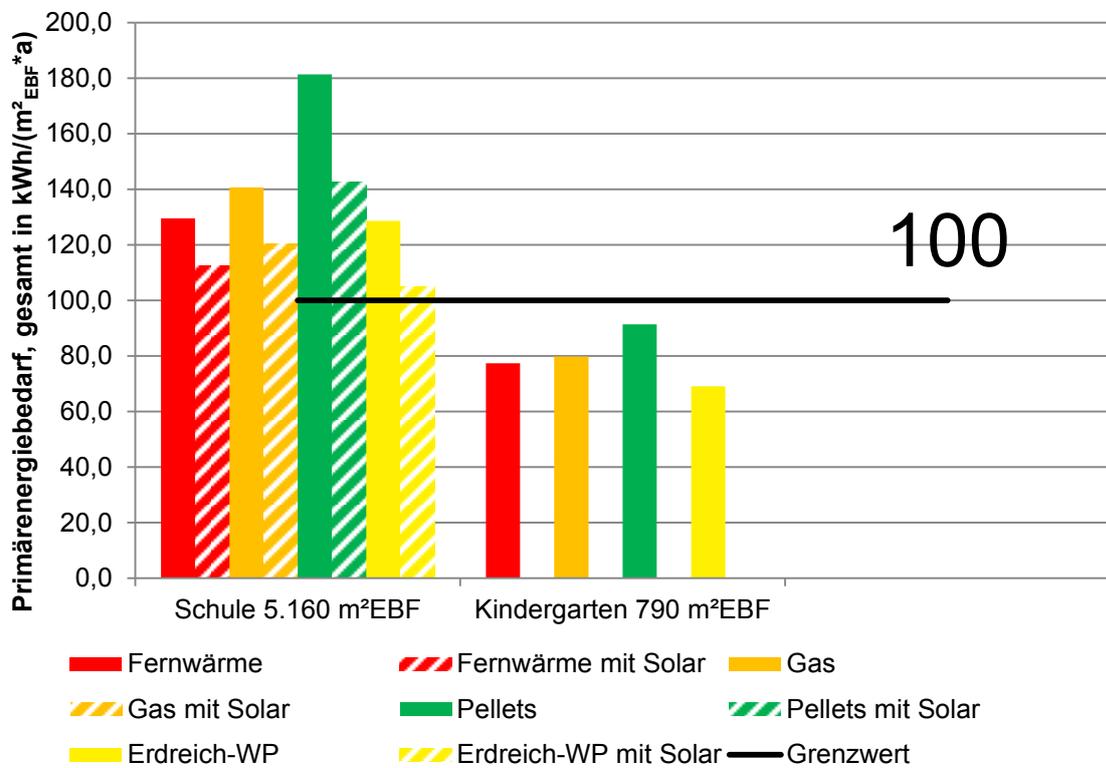


Abbildung 21: Schulgebäude – Primärenergiebedarf gesamt (Darstellung: EIV, 2017)

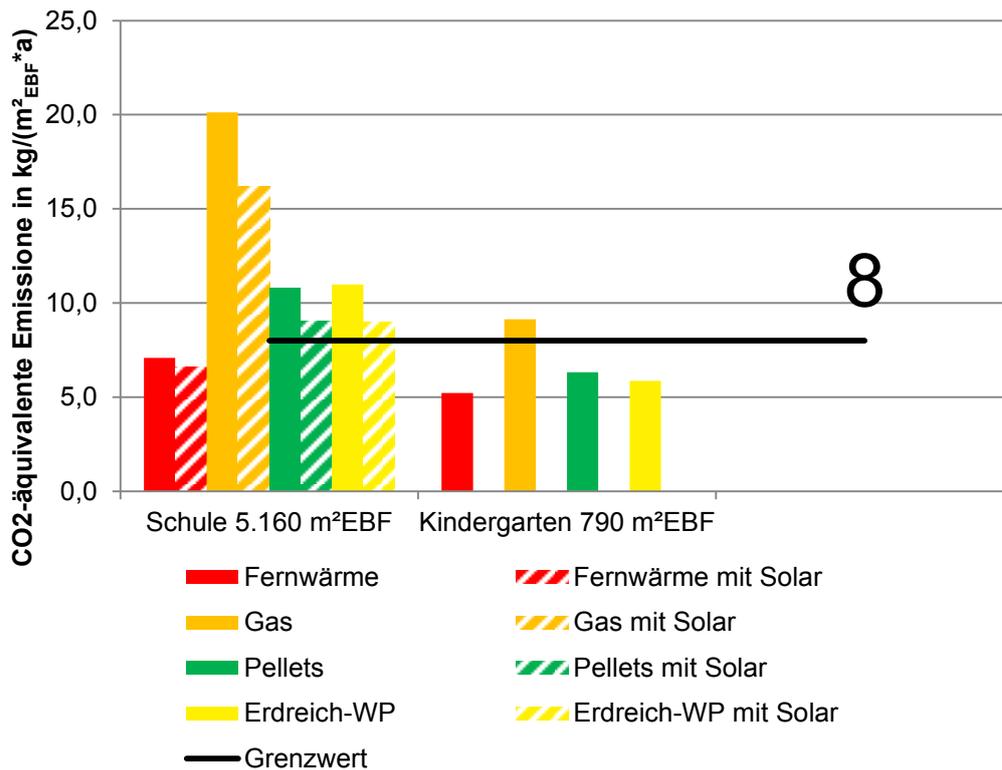


Abbildung 22: Schulgebäude – Treibhausgasemissionen (Darstellung: EIV, 2017)

5.5 Ableitung der personenbezogenen Richtwerte

Um die flächenbezogenen Richtwerte in personenbezogene Richtwerte umrechnen zu können, musste der Energiebezugsflächenbedarf pro Einwohner Österreichs je Nutzeneinheit ermittelt werden.

Bei den Wohngebäuden wurde dafür der Tabellenband "Wohnen 2015" der Statistik Austria verwendet (Statistik Austria, 2015). Die folgende Tabelle 34 zeigt die Anzahl Hauptwohnsitze Österreichs und die durchschnittliche Wohnfläche pro Person nach Rechtsverhältnis.

Tabelle 34: Anzahl Hauptwohnsitze und durchschnittliche Wohnfläche pro Person

Rechtsverhältnis	Anzahl Hauptwohnsitze	Durchschnittliche Wohnfläche pro Person
-	-	m^2_{WNF}/P
Hauseigentum	462.900	51,2
Wohnungseigentum	413.200	42,3
Gemeindewohnung	293.500	30,1
Genossenschaftswohnung	621.500	35,7
Andere Hauptmiete	654.100	35,7
Sonstige	371.500	55,0

Daraus lässt sich eine durchschnittliche Wohnfläche für Einfamilienhäuser (Rechtsverhältnis Hauseigentum und Sonstige) von 52,0 m^2_{WNF}/P sowie eine durchschnittliche Wohnfläche für

Mehrfamilienhäuser (Rechtsverhältnis Wohnungseigentum, Gemeindewohnung, Genossenschaftswohnung und andere Hauptmiete) von $36,2 \text{ m}^2_{\text{WNF}}/\text{P}$ ableiten. Die Wohnnutzfläche kann mit der Energiebezugsfläche gleichgesetzt werden. Bei Einfamilienhäusern entspricht die Energiebezugsfläche genau der Wohnnutzfläche. Bei Mehrwohnungsgebäuden werden bei der Energiebezugsfläche die Verkehrsflächen im Stiegenhaus mit 60% berücksichtigt, was sich jedoch mit der Mitberücksichtigung der Balkonflächen bei der Wohnnutzfläche ausgleicht. Für die Umrechnung der flächenbezogenen Richtwerte der Wohngebäude in personenbezogene Richtwerte wurde der Flächenbedarf von $36,2 \text{ m}^2_{\text{EBF}}/\text{P}$ verwendet.

Da keine statistischen Daten für einen durchschnittlichen personenbezogenen Flächenbedarf in Bürogebäuden verfügbar sind, wurde der Flächenbedarf des Beispielgebäudes von $20 \text{ m}^2_{\text{EBF}}/\text{P}$ verwendet. Aus der Arbeitsmarktstatistik 2015 ergibt sich, dass 2.177.400 Personen (Führungskräfte, Akademische Berufe, Techniker/-innen und gleichrangige nichttechnische Berufe und Bürokräfte und verwandte Berufe; Statistik Austria 3, 2016) in Bürogebäuden tätig sind. Das sind ca. 25,2% der Gesamtbevölkerung. Dadurch ergibt sich ein Flächenbedarf von $5 \text{ m}^2_{\text{EBF}}/\text{P}$ bezogen auf die Österreichische Gesamtbevölkerung, welcher für die weitere Umrechnung verwendet wird.

Zur Ermittlung des Flächenbedarfs im Bereich Schulgebäude wurden die begleiteten Gebäude im Servicepaket „Nachhaltig Bauen in der Gemeinde“, welches in Vorarlberg angeboten wird, analysiert. Es wurden die Energiebezugsfläche und Personenanzahl von 11 Schulgebäude und 12 Kindergärten ausgewertet, wodurch sich ein mittlerer Flächenbedarf von $12 \text{ m}^2_{\text{EBF}}/\text{P}$ ergab.

Aus der Bildungsstatistik der Statistik Austria für Kinderbetreuung (Statistik Austria 1, 2016) und Schulbesuche (Statistik Austria 2, 2016) ergibt sich, dass im Schuljahr 2015/16 1.613.701 Personen in Kinderbetreuungs- und Schuleinrichtungen tätig waren. Diese Zahl beinhaltet LehrerInnen und SchülerInnen sowie KindergartenpädagogInnen und Kindergartenkinder. Hochschulen wurden nicht berücksichtigt.

Gebrochen durch die Gesamtbevölkerung von 8.629.519 Personen (Statistik Austria, 2017) ergibt sich ein Anteil von 18,7%. Wird der mittlere Flächenbedarf von $12 \text{ m}^2_{\text{EBF}}/\text{P}$ nun mit diesem Anteil multipliziert, ergibt sich ein Schulflächenbedarf von $2,2 \text{ m}^2_{\text{EBF}}/\text{P}$ bezogen auf die Österreichische Gesamtbevölkerung. Dieser Wert wird für die Umrechnung der flächenbezogenen Richtwerte der Schulgebäude in personenbezogene Richtwerte verwendet.

Die folgende Tabelle 35 zeigt gesammelt die abgeleiteten flächenbezogenen und personenbezogenen Richtwerte für die Betriebsenergie von Gebäuden, jeweils getrennt für Wohn-, Büro- und Schulgebäude. Die Richtwerte bei Büronutzung sind ohne Klimatisierung im Sommer ermittelt.

Tabelle 35: Abgeleitete Richtwerte Betriebsenergie Gebäude (Berechnung: EIV, 2017)

			Wohnen	Büro	Schule
Richtwerte Flächenbezogen	$PE_{n.ern.}$	$kWh_{PE,n.ern.}/(m^2_{EBF} \cdot a)$	50	45	50
	$PE_{ern.}$	$kWh_{PE,ern.}/(m^2_{EBF} \cdot a)$	50	45	50
	PE	$kWh_{PE}/(m^2_{EBF} \cdot a)$	100	90	100
	CO ₂ -eq.	$kg_{CO2-eq.}/(m^2_{EBF} \cdot a)$	8	7	8
Umrechnung	Flächenverhältnis	m^2_{NRF}/m^2_{EBF}	1,05	1,16	1,18
	Flächenbedarf	m^2_{NRF}/P	37,8	5,8	2,6
Richtwerte Personenbezogen berechnet	$PE_{n.ern.}$	$W_{PE,n.ern.}/(P \cdot a)$	205,5	25,7	12,6
	$PE_{ern.}$	$W_{PE,ern.}/(P \cdot a)$	205,5	25,7	12,6
	PE	$W_{PE}/(P \cdot a)$	411,0	51,4	25,2
	CO ₂ -eq.	$kg_{CO2-eq.}/(P \cdot a)$	288,0	35,0	17,6
Richtwerte Personenbezogen abgeleitet	$PE_{n.ern.}$	$W_{PE,n.ern.}/(P \cdot a)$	206	26	13
	$PE_{ern.}$	$W_{PE,ern.}/(P \cdot a)$	206	26	13
	PE	$W_{PE}/(P \cdot a)$	412	52	26
	CO ₂ -eq.	$kg_{CO2-eq.}/(P \cdot a)$	290	35	18
Richtwerte Betriebsenergie Personenbezogen	$PE_{n.ern.}$	$W_{PE,n.ern.}/(P \cdot a)$	245		
	$PE_{ern.}$	$W_{PE,ern.}/(P \cdot a)$	245		
	PE	$W_{PE}/(P \cdot a)$	490		
	CO ₂ -eq.	$kg_{CO2-eq.}/(P \cdot a)$	343		

6 Richtwerte Alltagsmobilität (Bottom-Up)

6.1 Überblick Kapitel 6

6.1.1 Abkürzungen

KEA	Der kumulierte Energieaufwand (KEA) beschreibt die Summe aller Energieaufwendungen in kWh, die zur Herstellung und Nutzung eines Produktes oder einer Dienstleistung benötigt werden und bezieht sich bei den Verkehrsmitteln auf einen Personenkilometer (Pkm).
Emissionen	Berücksichtigt sind sämtliche vorgelagerte Emissionen d.h. die direkten und indirekten Emissionen der Energiebereitstellung und Fahrzeugherstellung.
11... 93	Kombination aus Regionstyp (erste Ziffer: 1 Städtisch, 2 Ländlich-zentral, 3 Ländlich-peripher, 9 Wien) UND ÖV-Güteklasse (zweite Ziffer: 1 Güteklasse A, 2 Güteklasse B&C, 3 Güteklasse D&E, 4 Güteklasse F&G)

6.1.2 Inhalt

Mittels Bottom-Up Ansatz sollte das reale Mobilitätsverhalten in Österreich berechnet werden. Dazu wurde eine Analyse der aktuellen Verkehrsleistung und der damit in Zusammenhang stehenden Energieverbräuche und CO_{2-eq.}-Austöße, deren Aufteilung nach Regionen und ÖV-Güteklassen sowie nach Gebäudekategorien durchgeführt.

6.1.3 Abgrenzung

Alltagsmobilität

Alle Wege in Zusammenhang mit alltäglichen Aktivitäten. Die Alltagsmobilität entspricht der Jahresmobilität ohne der nicht alltäglichen Mobilität (entspricht der Definition in der Schweiz).

Nicht alltägliche Mobilität

Alle Wege in Zusammenhang mit Flugreisen.

Hintergrund zu dieser Abgrenzung:

- Eine Abgrenzung von „Reisen mit Übernachtung“ (wie in der Schweiz) ist nicht eindeutig möglich. Zwar enden 6,4% der Tageswegketten nicht in der Wohngemeinde der jeweiligen befragten Person, dies bedeutet aber nicht, dass es sich um eine Reise und einen nicht alltäglichen Weg handelt. Es kann sich auch um einen regelmäßig aufgesuchten Zweitwohnsitz oder beispielsweise um einen weiteren Wohnort beim Arbeits- oder Ausbildungsort oder um eine Übernachtung bei einem Freund / einer Freundin handeln. Eine diesbezügliche Abgrenzung ist daher für Österreich nicht möglich.
- Ohne Flugreisen dauern in Österreich nur 0,7% der Wege länger als 3 Stunden (Schweizer Abgrenzung), diese sind vernachlässigbar.

- Reisemobilität (nicht alltägliche Wege) wurde in Österreich nicht explizit abgefragt und ist auf Grund des Stichprobendesigns (Stichtagserhebung) stark unterrepräsentiert. Eine explizite Analyse der nicht alltäglichen Mobilität ist somit generell nicht möglich.
- Bei der österreichischen Mobilitätserhebung wurden grundsätzlich keine Wege im Ausland (ohne Österreich-Bezug) erfasst, somit entfällt zusätzlich ein guter Teil der nicht alltäglichen Wege automatisch.

Graue Energie der Alltagsmobilität

Berücksichtigt sind sämtliche vorgelagerte Emissionen d.h. die direkten und indirekten Emissionen der Energiebereitstellung und Fahrzeugherstellung. Da derzeit wenig Daten und Informationen zu Entsorgungs- oder Recyclingverfahren von Fahrzeugen vorliegen, können etwaige nachgelagerte Emissionen wie Verwertung bzw. Entsorgung der Fahrzeuge, Akkumulatoren und Anlagen nur teilweise berücksichtigt werden. Die Entsorgung ist daher nur bei PKWs berücksichtigt; bei Bus und Zug ist die Entsorgung nicht inkludiert, da der Aufwand für die Bestimmung dieser relativ hoch ist und der Anteil am gesamten Energieaufwand aufgrund der langen Lebensdauer relativ gering ist.

6.1.4 Weiterführende Literatur

Detailergebnisse sind in folgenden Berichten dargestellt:

- Herbst S., Prinz T., Butzhammer A., Tomschy R., Schuster M.: UrbanAreaParameters – Teil Alltagsmobilität. Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH – Studio iSPACE und HERRY Consult GmbH, Salzburg / Wien 2017.
- Tomschy R., Schuster M.: UrbanAreaParameters – Input zum Mobilitätsteil. HERRY Consult GmbH, Salzburg / Wien 2017.

6.2 Methodik

Basis für die Analyse bilden die Daten der österreichweiten Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“ (bmvit, 2016). Ausgehend von der Zuordnung der Gemeinden zu Regions- und ÖV-Qualitätstypen (vgl. Kap. 6.3) wurden sämtliche Datensätze dieser Mobilitätserhebung den Regions- und ÖV-Qualitätstypen zugewiesen und für diese die aktuellen relevanten Mobilitätskennziffern (Modal Split, Anzahl Wege, Wegelängen nach Verkehrsträger, Verkehrsleistung) statistisch ausgewertet und plausibilisiert. So konnten regional unterschiedene, durchschnittliche Verkehrsleistungen nach Verkehrsträger pro Jahr ermittelt werden. Diese Verkehrsleistungen (in Personenkilometer) wurden mit den von der Umweltbundesamt GmbH veröffentlichten CO_{2-eq.}-Emissionkennzahlen je Verkehrsträger und Verkehrsleistung verknüpft und so die durchschnittliche CO_{2-eq.}-Emission pro Person und Jahr, unterschieden nach den Regionstypen und ÖV-Qualitätstypen, berechnet. Darüber hinaus erfolgte eine weitere Differenzierung nach Gebäudekategorien, in dem die zurückgelegten Kilometer nach einem definierten Schema Gebäudekategorien (Wohnen, Arbeiten / Bürogebäude, Schulen) zugeordnet wurden.

6.3 Regions- und ÖV-Qualitätstypen

Die Grundlage für die **Regionstypen** bilden die Gemeindetypen der Urban-Rural-Typologie (Statistik Austria 4, 2016). Diese funktionale Gliederung des urbanen/städtischen und ruralen/ländlichen Raumes durch Statistik Austria berücksichtigt verschiedene nationale und internationale Typologien, ist aber speziell auf die österreichischen Gegebenheiten optimiert. Ziel ist es, den städtischen und ländlichen Raum anhand von strukturellen (Bevölkerung, Wirtschaft) sowie funktionalen Merkmalen zu untergliedern. Die Typologie integriert dazu Daten zu Bevölkerung (Bevölkerungspotenzial bestehend aus Hauptwohnsitzer, Nebenwohnsitzer und Tagesbevölkerung), Arbeitsplätzen, Infrastruktur und generelle MIV-Erreichbarkeit. Es resultieren 11 Regionstypen die wiederum jeweils durch das Zusatzkriterium Tourismus erweitert werden können. Für die gegenständliche Analyse wurden diese zu 3 Regionstypen (städtisch, ländlich–zentral, ländlich-intermediär/peripher) zusammengefasst.

Für die Abbildung von **ÖV-Qualitäten** setzt das Projekt auf die im Frühjahr 2017 im Rahmen der ÖREK-Partnerschaft „Plattform Raumordnung & Verkehr“ erstmals entwickelten österreichweiten flächendeckenden „ÖV-Güteklassen“ (Hiess, 2017) Dabei wurden Rohdaten aus der Verkehrsauskunft Österreich (VAO) mit GIS-Routinen zu ÖV-Qualitäten auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen (Haltestellen-Einzugsgebiete, Rasterzellen) verrechnet. Für die Zuweisung der Güteklassen zu Gemeinden wurde jeweils die beste Güteklasse (A-G) innerhalb der Gemeindefläche verwendet. In einem mit den Regionstypen vergleichbaren Vorgang erfolgte auch bei den ÖV-Typen eine Zusammenfassung in 4 ÖV-Qualitätstypen.

Die aus der Kombination entstehenden 12 Gemeindetypen wurden den Daten der Erhebung Österreich unterwegs zugespielt und in einem ersten Schritt evaluiert, ob die Stichprobe (Anzahl befragter Personen) jeweils ausreichend ist und Typen mit zu geringer Stichprobe zusammengefasst. Um in Wien differenzierter analysieren zu können, wurde Wien nochmals in 3 Bereiche (Typen 91-93) unterteilt. Die resultierenden 11 Gemeindetypen (Abbildung 23) wurden dann mit den Daten aus „Österreich unterwegs“ verschnitten und Verkehrsleistungen und Emissionskennzahlen ermittelt.

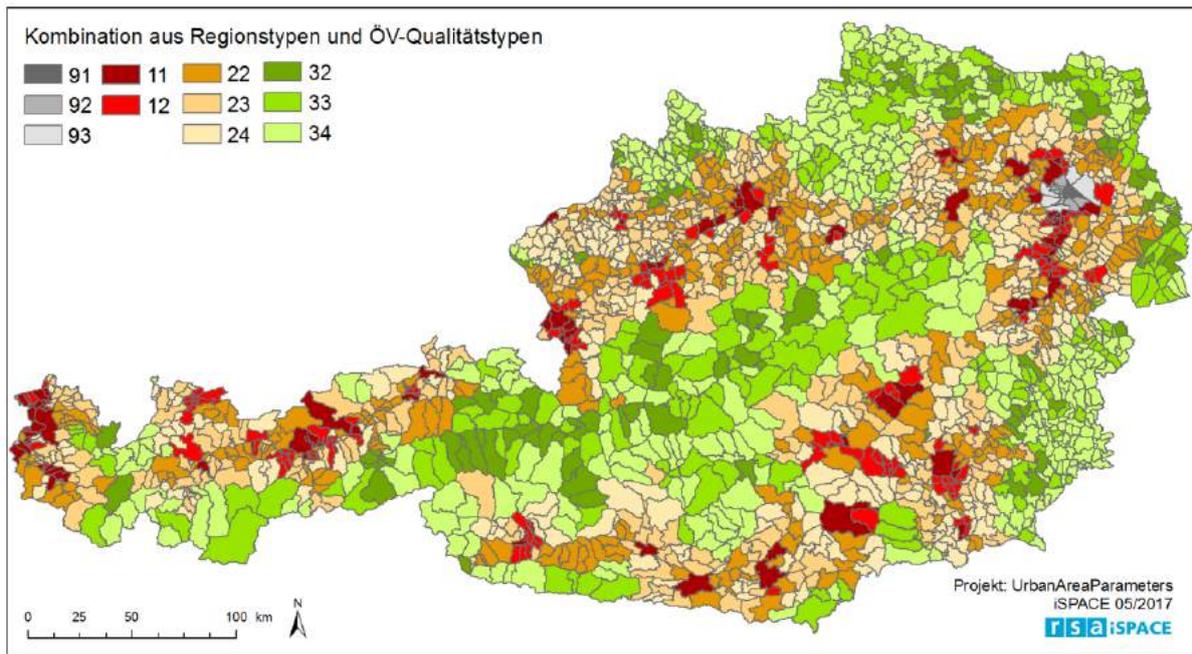


Abbildung 23: UrbanAreaParameters Gemeindetypen (erste Zahl – Regionstyp, zweite Zahl - ÖV-Qualitätstyp; Darstellung: iSPACE, 2017)

6.4 Verkehrsleistung und Emissionskennzahlen

Um in weiterer Folge die Energieverbräuche und CO_{2-eq}-Austöße der österreichischen Bevölkerung berechnen zu können, war in einem ersten Schritt die Berechnung der Verkehrsleistung pro Person und Jahr, unterschieden nach Verkehrsträger, notwendig. Hierbei wurden die in der Erhebung „Österreich unterwegs“ ausgewiesenen „Sonstigen Verkehrsmittel“, die hinsichtlich der Verkehrsleistung zu einem überwiegenden Teil dem Flugzeug zuzurechnen sind, nicht berücksichtigt, da es sich dabei nicht um Alltagsmobilität handelt.

Tabelle 36: Verkehrsleistung [Personen-km] pro Person und Jahr

Verkehrsleistung [Personen-km] pro Person (ab 6 Jahren) und Jahr 2013/2014 je Verkehrsträger und Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination										
Regionstyp/ÖV- Güteklasse- Kombination	Verkehrsträger									Verkehrsleistung alle Verkehrsmittel
	Zu Fuß	Fahrrad	Moped/ Motorrad	Pkw- LenkerIn	Pkw- MitfahrerIn	Stadt/ Regionalbus	Straßenbahn , U-Bahn	Eisenbahn/ Schnellbahn oder Fernzug	Reisebus	
11	310	383	225	5.527	2.666	379	232	1.366	176	11.264
12	276	351	66	6.456	2.903	415	286	867	422	12.042
22	243	223	74	7.810	2.950	404	88	1.996	309	14.096
23	211	188	65	7.846	2.734	566	200	940	173	12.922
24	165	73	133	11.831	3.363	380	99	482	90	16.616
32	333	181	76	7.204	4.220	535	287	1.444	31	14.311
33	247	195	153	8.038	2.954	626	91	1.181	147	13.632
34	215	150	88	9.125	3.744	961	258	949	72	15.562
91	363	257	78	4.062	1.855	337	1.808	3.588	44	12.392
92	339	114	78	3.414	1.803	326	2.031	1.394	33	9.531
93	235	116	146	4.291	2.035	165	1.978	1.463	67	10.496
Österreich 2013/2014*	269	235	121	6.696	2.773	444	555	1.417	169	12.679

* geringfügige Abweichungen zum Ergebnisbericht Österreich unterwegs auf Grund der Neugewichtung möglich

Im Durchschnitt legt eine Person ab 6 Jahren in Österreich im Alltagsverkehr 12.700 km pro Jahr zurück. Die Ergebnisse zeigen auch, dass in städtischen Gebieten, das sind die Regionstypen 11, 12 und 91, 92, 93 (Wien) auf Grund der kompakteren Raumstruktur im Durchschnitt weniger Kilometer zurückgelegt werden. Die zwei ländlichen Regionstypen (22 bis 34) liegen dagegen durchgängig und teilweise deutlich über dem österreichischen Schnitt. Der Pkw dominiert bei den zurückgelegten Kilometern mit rund 9.500 Kilometern (als LenkerIn und MifahrerIn), der Öffentliche Verkehr erreicht in Summe rund 2.600 Kilometer. Zu Fuß und mit dem Fahrrad werden rund 500 km pro Jahr zurückgelegt.

6.4.1 Emissionsberechnung auf Basis der Daten des Umweltbundesamtes

Die Emissionen von Fahrzeugen werden vom Umweltbundesamt seit Jahren im Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) publiziert und können als Basis für die Berechnung der Treibhausgas- und Schadstoffbelastungen des Straßenverkehrs herangezogen werden. Für das vorliegende Projekt wurden vom Umweltbundesamt darüber hinaus unterschiedliche Verkehrsmittel anhand der Emissionsfaktoren und dem Energieaufwand eigens berechnet. Berücksichtigt sind sämtliche vorgelagerte Emissionen d.h. die direkten und indirekten Emissionen der Energiebereitstellung und Fahrzeugherstellung. Da derzeit wenig Daten und Informationen zu Entsorgungs- oder Recyclingverfahren von Fahrzeugen vorliegen, können etwaige nachgelagerte Emissionen wie Verwertung bzw. Entsorgung der Fahrzeuge, Akkumulatoren und Anlagen nur teilweise berücksichtigt werden. Die Entsorgung ist daher nur bei PKWs berücksichtigt; bei Bus und Zug ist die Entsorgung nicht inkludiert, da der Aufwand für die Bestimmung dieser relativ hoch ist und der Anteil am gesamten Energieaufwand aufgrund der langen Lebensdauer relativ gering ist.

Hinsichtlich der CO_{2-eq.}-Emissionen wurden die gesamten CO_{2-eq.}-Emissionen d.h. die direkten und indirekten Emissionen der Energiebereitstellung sowie der Fahrzeugherstellung herangezogen. Der kumulierte Energieaufwand (KEA) beschreibt die Summe aller Energieaufwendungen in kWh, die zur Herstellung und Nutzung eines Produktes oder einer Dienstleistung benötigt werden und bezieht sich bei den Verkehrsmitteln auf einen Personenkilometer (Pkm).

Die folgende Tabelle zeigt die in den weiteren Berechnungen genutzten Emissionskennzahlen.

Tabelle 37: Emissionskennzahlen Datenbasis 2014

Emissionskennzahlen 2016 auf Datenbasis 2014							
Emissionskennzahlen je Verkehrsmittel	Direkte Emissionen in g/Pkm		Indirekte Emissionen in g/Pkm		Gesamte Emissionen in g/Pkm		kumulierter Energieaufwand in kWh/Pkm
	CO ₂ -Äquivalente	CO ₂	CO ₂ -Äquivalente	CO ₂	CO ₂ -Äquivalente	CO ₂	
	Zu Fuß	-	-	-	-	-	
Fahrrad	-	-	-	-	-	-	-
Moped/Motorrad*	92,7	87,4	21,5	17,8	114,2	105,2	0,43
Pkw-LenkerIn	143,5	142,5	33,3	29,0	176,4	171,5	0,69
Pkw-MitfahrerIn	143,5	142,5	33,3	29,0	176,4	171,5	0,69
Stadt/Regionalbus	39,9	39,6	8,0	6,6	48,1	46,2	0,19
Straßenbahn, Ubahn*	16,3	16,3	3,3	2,7	19,5	19,0	0,14
Eisenbahn/Schnellbahn	5,3	5,3	8,9	7,7	13,9	12,9	0,13
Reisebus	43,5	43,2	8,6	7,1	52,1	50,2	0,20

Quelle: UBA, * eigene Berechnungen auf Basis von UBA-Kennzahlen

HERRY 2017

6.5 CO₂-Äquivalente und kumulierter Energieaufwand

Auf Basis der gesamten Emissionen in g/Pkm (CO₂-Äquivalente, grün hinterlegt) sowie der zuvor berechneten Verkehrsleistung (Tabelle 36) wurden die untenstehenden gesamten CO₂-eq.-Emissionen in Österreich im Jahr 2016 in Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten berechnet.

Tabelle 38: CO₂-eq.-Emissionen in Mio. Tonnen pro Jahr in Österreich 2016

CO ₂ -Äquivalente in Mio. Tonnen pro Jahr in Österreich 2016, gesamte (direkte und indirekte) Emissionen			
Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination	CO ₂ -Emissionen in g je Person und Jahr	Personenanzahl (ab 6 Jahren) 2016	CO ₂ -Emissionen in Mio. Tonnen pro Jahr
11	1.521.970	1.841.661	2,80
12	1.718.046	665.165	1,14
22	1.971.549	1.182.813	2,33
23	1.926.875	857.758	1,65
24	2.727.054	505.611	1,38
32	2.076.955	352.780	0,73
33	2.012.330	424.977	0,86
34	2.348.366	531.456	1,25
91	1.156.407	467.693	0,54
92	1.005.661	669.431	0,67
93	1.202.935	517.693	0,62
Österreich 2013/2014	1.744.851	8.017.038	13,99

HERRY 2017

Zusätzlich und analog zur Berechnung der CO₂-eq.-Emissionen wurde der kumulierte Energieaufwand in kWh berechnet. Die Ergebnisse werden in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 39: Kumulierter Energieaufwand in kWh pro Jahr in Österreich 2016

Kumulierter Energieaufwand in Milliarden kWh pro Jahr in Österreich 2016			
Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination	kumulierter Energieaufwand in kWh je Person und Jahr	Personenanzahl (ab 6 Jahren) 2016	kumulierter Energieaufwand in Milliarden kWh pro Jahr
11	6.096	1.841.661	11,23
12	6.836	665.165	4,55
22	7.905	1.182.813	9,35
23	7.659	857.758	6,57
24	10.765	505.611	5,44
32	8.291	352.780	2,93
33	8.004	424.977	3,40
34	9.320	531.456	4,95
91	4.919	467.693	2,30
92	4.177	669.431	2,80
93	4.953	517.693	2,56
Österreich 2013/2014	6.998	8.017.038	56,10

HERRY 2017

6.6 Verkehrsleistung und CO_{2-eq.}-Emissionen je Gebäudekategorie

Um die zurückgelegten Wege einem bestimmten Gebäude zuordnen zu können, wurde folgendes vereinfachendes Zuordnungsprinzip analog der Vorgehensweise in der Schweiz (Merkblatt SIA 2039, 2011) definiert: Einem Gebäude werden alle bei ihm endenden Wege zugeordnet. Das Ziel des Weges definiert demnach, welcher Gebäudenutzung ein Weg zuzuordnen ist. Bei Wegen, welche bei keinem Gebäude enden (z.B. Spaziergang, Wanderung) werden sowohl der Hin- als auch der Rückweg dem Ausgangsgebäude (z.B. der Nutzung Wohnen) angerechnet. Wege, welche bei einem Gebäude mit gleicher Nutzung enden (z.B. Besuche von Wohnung zu Wohnung oder Geschäftsreise von Bürogebäude zu Bürogebäude) werden ebenfalls zu 100% der betroffenen Nutzung angerechnet.

Die in der Erhebung Österreich unterwegs definierten Zielzwecke wurden demnach folgenden Gebäudenutzungen zugeordnet:

- Zielzwecke „privater Besuch“ und „nach Hause“: Wohngebäude
- Zielzwecke „Arbeitsplatz“ und „dienstlich/geschäftlich“: Arbeitsstätten
- Zielzweck „Schule/Ausbildung“: Ausbildungsstätten
- Alle anderen Zielzwecke: Übrige Nutzungen

Somit ergab sich eine relative Verteilung der Nutzungstypen der Zielgebäude anhand der von der Bevölkerung pro Jahr zurückgelegten Distanzen, wie sie in der folgenden Tabelle dargestellt wird.

Demnach sind 49% alle zurückgelegten Kilometer dem Nutzungstyp „Wohngebäude“ zuzurechnen, 21% entfallen auf den Nutzungstyp „Arbeitsstätten“ und 3% auf den Nutzungstyp „Ausbildungsstätten“. Die übrigen Nutzungen ergeben in Summe 27%.

Tabelle 40: Anteile der Nutzungstypen der Gebäude an den zurückgelegten Jahresdistanzen

Zuordnung der Jahrmobilität zu den Nutzungstypen der Zielgebäude (Aufteilung anhand der Jahresdistanzen der Wege je Zielgebäudetyp)				
Regionstyp/ÖV- Güteklasse-Kombination	Nutzungstyp des Zielgebäudes			
	Wohngebäude	Arbeitsstätten	Ausbildungsstätten	Übrige Nutzungen
11	51%	19%	2%	28%
12	50%	17%	3%	31%
22	48%	23%	3%	27%
23	47%	22%	3%	27%
24	49%	25%	2%	24%
32	55%	18%	3%	25%
33	47%	25%	2%	26%
34	49%	22%	3%	26%
91	52%	21%	2%	25%
92	48%	18%	4%	30%
93	50%	17%	3%	29%
Österreich 2013/2014	49%	21%	3%	27%

HERRY 2017

Wendet man nun die oben bereits dargestellten Emissionsfaktoren auf die Verkehrsleistung je Person, Jahr und Gebäudenutzungstyp an, ergeben sich die in den beiden folgenden Tabellen dargestellten Emissionen und kumulierten Energieaufwände.

Tabelle 41: CO₂-Äquivalente in Mio. Tonnen pro Jahr je Nutzungstyp der Zielgebäude

CO₂-Äquivalente in Mio. Tonnen pro Jahr in Österreich 2016, je Verkehrsmittel und in Summe, gesamte (direkte und indirekte) Emissionen					
Verkehrsträger	Nutzungstyp des Zielgebäudes				CO₂-Emissionen alle Gebäudenutzungen
	Wohngebäude	Arbeitsstätten	Ausbildungsstätten	Übrige Nutzungen	
Zu Fuß	-	-	-	-	-
Fahrrad	-	-	-	-	-
Moped/Motorrad	0,05	0,01	0,00	0,05	0,11
Pkw LenkerIn	4,53	2,52	0,07	2,34	9,47
Pkw MitfahrerIn	2,24	0,26	0,07	1,36	3,92
Stadt/Regionalbus oder Reisebus	0,08	0,03	0,03	0,02	0,17
Straßenbahn, Ubahn	0,04	0,02	0,01	0,02	0,09
Eisenbahn/Schnellbahn oder Fernzug	0,08	0,04	0,01	0,02	0,16
Reisebus	0,02	0,00	0,00	0,04	0,07
CO₂-Emissionen alle Verkehrsmittel	7,04	2,89	0,20	3,86	13,99
davon Bürogebäude (23%)*:		0,67			

*Q: STATISTIK AUSTRIA, Mikrozensus-Arbeitskräfteerhebung 2015. Anteil Beschäftigte in den ÖNACE 08 Abschnitten J-O und U.

HERRY 2017

Tabelle 42: Kumulierter Energieaufwand in Milliarden kWh pro Jahr je Nutzungstyp der Zielgebäude

Kumulierter Energieaufwand in Milliarden kWh pro Jahr in Österreich 2016, je Verkehrsmittel und in Summe					
Verkehrsträger	Nutzungstyp des Zielgebäudes				kumulierter Energieaufwand alle Gebäudenutzungen
	Wohngebäude	Arbeitsstätten	Ausbildungsstätten	Übrige Nutzungen	
Zu Fuß	-	-	-	-	-
Fahrrad	-	-	-	-	-
Moped/Motorrad	0,18	0,05	0,01	0,18	0,41
Pkw LenkerIn	17,83	9,92	0,28	9,22	37,25
Pkw MitfahrerIn	8,81	1,01	0,27	5,34	15,43
Stadt/Regionalbus oder Reisebus	0,31	0,13	0,14	0,10	0,67
Straßenbahn, Ubahn	0,28	0,13	0,05	0,15	0,60
Eisenbahn/Schnellbahn oder Fernzug	0,74	0,40	0,10	0,22	1,46
Reisebus	0,09	0,02	0,02	0,15	0,27
kumulierter Energieaufwand alle Verkehrsmittel	28,23	11,66	0,86	15,36	56,10
davon Bürogebäude (23%)*:		2,68			

*Q: STATISTIK AUSTRIA, Mikrozensus-Arbeitskräfteerhebung 2015. Anteil Beschäftigte in den ÖNACE 08 Abschnitten J-O und U.

HERRY 2017

Die Verkehrsleistungen, CO_{2-eq.}-Emissionen sowie die kumulierten Energieaufwände wurden für jede betrachtete Teilregion extra berechnet.

6.7 Ermittlung des optimalen Modal-Splits (quantitativ)

Im Prinzip zielt die gegenständliche Analyse darauf ab, die Varianz der Modal-Split Werte der Verkehrsleistung innerhalb der Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombinationen festzustellen und so den optimal möglichen Modal-Split Wert der Verkehrsleistung abzuleiten. Optimal bedeutet hier beim Umweltverbund (Fußwege, Radwege, ÖV-Wege), die jeweils höchst möglichen Prozentanteile und beim motorisierten Individualverkehr (MIV-Lenker und MIV-Mitfahrer) die jeweils niedrigsten möglichen Prozentanteile festzustellen. Um dies mit den Daten aus Österreich unterwegs zu errechnen, wurde auf Ebene der NUTS3 Gebiete aggre-

giert; eine feinere Unterteilung innerhalb der Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination z.B. nach Gemeinden war auf Grund der Stichprobengröße nicht möglich. Für Wien wurden als Aggregationsebenen Bezirke herangezogen.

Nun wurden die Schwankungen des Modal-Splits der Verkehrsleistung der NUTS3-Gebiete bzw. Bezirke innerhalb der Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination analysiert. Dazu wurde die empirische Standardabweichung (Stichprobenstandardabweichung) der Einzel-Modal-Split Werte der NUTS3-Gebiete bzw. Bezirke innerhalb der Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination herangezogen. Durch Nutzung der empirischen Standardabweichung (statt Minimal- bzw. Maximalwerten) wurden eventuell verbleibende Ausreißer abgefangen.

Die empirische Standardabweichung wurde dabei derart normiert, dass im Endergebnis die Summe der Verkehrsleistungsanteile der einzelnen Verkehrsmittel je Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination 100% ergab. Auf Basis dieser Analyse ergaben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten, theoretischen Optimal-Modal-Split Werte.

Tabelle 43: Optimal-Modal-Split der Verkehrsleistung 2013/2014 je Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination

Optimal-Modal-Split der Verkehrsleistung [Anteil der Weglängen je Verkehrsmittel] pro Person und Jahr 2013/2014 je Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination					
Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination	Verkehrsmittel				
	zu Fuß	Rad	MIV-LenkerIn	MIV-MitfahrerIn	Öffentlicher Verkehr
11	3,9%	5,1%	42,2%	19,5%	29,3%
12	3,7%	5,5%	44,5%	19,8%	26,6%
22	2,5%	3,0%	45,6%	17,0%	31,9%
23	2,3%	3,6%	52,5%	18,1%	23,4%
24	1,7%	1,0%	66,7%	18,7%	12,0%
32	3,6%	2,2%	43,5%	25,2%	25,6%
33	2,9%	2,4%	46,9%	16,9%	30,8%
34	2,1%	2,0%	48,2%	19,6%	28,1%
91	3,4%	3,5%	27,0%	12,1%	54,0%
92	4,4%	2,0%	27,7%	14,3%	51,6%
93	2,7%	2,0%	36,2%	16,6%	42,4%
Österreich 2013/2014	3,0%	3,3%	44,8%	18,2%	30,7%

HERRY 2017

Das Ergebnis der Berechnungen in Tabelle 43 zeigt die auf Basis der Erhebungsdaten Österreich unterwegs 2013/2014 innerhalb der einzelnen Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination festgestellten optimaler Weise möglichen Modal-Split Werte der Verkehrsleistung. Legt man dieses Ergebnis nun auf die pro Person und Jahr zurückgelegte Verkehrsleistung in absoluten Zahlen um, erhält man die in der nachfolgenden Tabelle darstellten Ergebnisse. Angenommen wurde dabei, dass sich die Gesamtverkehrsleistung in Summe je Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination nicht verändert. Darüber hinaus wurde angenommen, dass sich die Anteile der einzelnen Öffentlichen Verkehrsmittel innerhalb des ÖV nicht

verändern sowie ein gleichbleibendes Verhältnis zwischen den Kategorien Moped/Motorrad und PKW-LenkerIn innerhalb des motorisierten Individualverkehrs.

Tabelle 44: Optimal-Verkehrsleistung pro Person und Jahr je Verkehrsträger und Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination

Optimal-Verkehrsleistung [Personen-km] pro Person (ab 6 Jahren) und Jahr je Verkehrsträger und Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination										
Regionstyp/ÖV- Güteklasse-Kombination	Verkehrsträger									Verkehrsleistung alle Verkehrsmittel
	Zu Fuß	Fahrrad	Moped/ Motorrad	Pkw- LenkerIn	Pkw- MitfahrerIn	Stadt/ Regionalbus	Straßenbahn , Ubahn	Eisenbahn/ Schnellbahn oder Fernzug	Reisebus	
11	437	576	186	4.564	2.202	580	355	2.093	270	11.264
12	442	656	54	5.305	2.386	667	459	1.393	679	12.042
22	349	424	60	6.361	2.403	650	142	3.211	496	14.096
23	302	460	56	6.731	2.345	913	323	1.515	279	12.922
24	280	159	123	10.953	3.113	718	188	911	171	16.616
32	510	315	65	6.155	3.606	853	457	2.301	49	14.311
33	397	330	120	6.275	2.306	1.287	186	2.427	303	13.632
34	325	315	72	7.429	3.048	1.877	503	1.853	141	15.562
91	424	437	63	3.279	1.498	390	2.095	4.156	51	12.392
92	423	195	59	2.578	1.361	424	2.638	1.811	42	9.531
93	287	206	125	3.679	1.745	200	2.398	1.774	81	10.496
Österreich Optimal	382	416	101	5.583	2.302	669	836	2.136	254	12.679

HERRY 2017

Durch den veränderten Modal-Split der Verkehrsleistung ergab sich in Summe – trotz gleichbleibender Gesamtverkehrsleistung – eine Reduktion der Emissionen. Die rechnerisch in dieser Abschätzung unter optimalen Bedingungen erreichbaren optimalen Emissionskennzahlen und kumulierten Energieaufwände pro Jahr werden in den folgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 45: CO₂-eq.-Emissionen bei optimalem Modal-Split in Mio. Tonnen pro Jahr in Österreich 2016

CO₂-Äquivalente in Mio. Tonnen pro Jahr beim optimalem Modal-Split der Verkehrsleistung, gesamte (direkte und indirekte) Emissionen			
Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination	CO₂-Emissionen in g je Person und Jahr	Personenanzahl (ab 6 Jahren) 2016	CO₂-Emissionen in Mio. Tonnen pro Jahr
11	1.292.792	1.841.661	2,38
12	1.458.663	665.165	0,97
22	1.657.350	1.182.813	1,96
23	1.693.274	857.758	1,45
24	2.555.232	505.611	1,29
32	1.813.781	352.780	0,64
33	1.642.490	424.977	0,70
34	1.989.602	531.456	1,06
91	969.895	467.693	0,45
92	800.856	669.431	0,54
93	1.056.375	517.693	0,55
Österreich Optimal	1.493.868	8.017.038	11,98

HERRY 2017

Tabelle 46: Kumulierter Energieaufwand in kWh bei optimalem Modal-Split pro Jahr in Österreich 2016

Kumulierter Energieaufwand in Milliarden kWh pro Jahr beim optimalem Modal-Split der Verkehrsleistung			
Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination	kumulierter Energieaufwand in kWh je Person und Jahr	Personenanzahl (ab 6 Jahren) 2016	kumulierter Energieaufwand in Milliarden kWh pro Jahr
11	5.256	1.841.661	9,68
12	5.865	665.165	3,90
22	6.762	1.182.813	8,00
23	6.789	857.758	5,82
24	10.126	505.611	5,12
32	7.330	352.780	2,59
33	6.647	424.977	2,83
34	7.990	531.456	4,25
91	4.244	467.693	1,99
92	3.438	669.431	2,30
93	4.425	517.693	2,29
Österreich Optimal	6.080	8.017.038	48,75

HERRY 2017

Im Ergebnis bedeuten diese Werte eine Reduktion des CO₂-eq.-Austoßes pro Person und Jahr um durchschnittlich rund 2,01 Mio. Tonnen oder rund 14% des Ausgangswertes bzw. eine Reduktion des kumulierten Energieaufwands pro Person und Jahr um durchschnittlich rund 7,35 Milliarden kWh oder rund 13% des Ausgangswertes.

7 Zusammenfassung Bottom-Up Ergebnisse

Die Bottom-Up Ergebnisse aus den einzelnen Kapiteln wurden in einem ersten Schritt wie folgt angepasst.

- Die empfohlenen Richtwerte für die Graue Energie Gebäude wurden aus dem Abschnitt 4.4.1 übernommen und auf die Energiebezugsfläche umgerechnet (Multiplikation mit 1,25).
- Die empfohlenen Richtwerte für die Betriebsenergie Gebäude wurden unverändert aus den Abschnitten 5.5. übernommen.
- Die Modal-Split optimierten Richtwerte für die Alltagsmobilität wurden auf Basis der (personenbezogenen) Ergebnisse aus dem Abschnitt 6.7 und auf Basis der Detailergebnisse aus dem Anhang im Bericht (Tomschy und Schuster, 2017) in flächenspezifische Richtwerte umgerechnet. Dazu wurden die personenbezogenen Ergebnisse mit den im Abschnitt 5.5 beschriebenen Personenflächen multipliziert. Für Wohngebäude wurde den Regionstypen 1 und 9 eine spezifische Fläche von 36,2 m² pro Person, dem Regionstyp 2 eine spezifische Fläche von 44,1 m² pro Person und dem Regionstyp 3 eine spezifische Fläche von 52 m² pro Person zugeordnet. Daraus ergeben sich folgende flächenspezifischen Richtwerte für die Alltagsmobilität (vgl. Tabelle 47):

Tabelle 47: Abgeleitete flächenspezifische Richtwerte für die Alltagsmobilität; rot: höchster Wert; grün: niedrigster Wert

Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination	Wohnen	Büros	Ausbildungssstätten	Wohnen	Büros	Ausbildungssstätten
	KEA [kWh/m ² •a]	KEA [kWh/m ² •a]	KEA [kWh/m ² •a]	CO ₂ -eq. [kg/m ² •a]	CO ₂ -eq. [kg/m ² •a]	CO ₂ -eq. [kg/m ² •a]
11	75	46	34	18,3	11,4	8,5
12	83	46	42	20,7	11,5	10,5
22	75	70	49	18,4	17,2	11,9
23	74	72	53	18,5	17,9	13,2
24	113	121	50	28,5	30,6	12,7
32	80	56	55	19,8	13,9	13,7
33	60	76	34	14,8	18,7	8,5
34	76	80	67	19,0	19,9	16,6
91	62	34	21	14,3	7,7	4,7
92	49	27	27	11,3	6,3	6,2
93	64	32	41	15,3	7,6	9,7
Österreich, Optimaler Modal-Split	69	58	42	17,0	14,3	10,4

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es sich bei den dargestellten Werten um die Modal-Split optimierte Richtwerte für alle Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombinationen handelt (vgl. auch Abschnitt 6.7). Dies bedeutet, dass die Gesamtverkehrsleistung des derzeitigen Status-Quo in Summe je Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination unverändert übernommen wurde und nur der Modal-Split einer theoretischen Optimierung unterzogen wurde. Wie im Leitfaden für den Mobilitätsbereich beschrieben, sollten neben der Verbesserung des Modal-Split weitere Maßnahmen(bündel) für die Verbesserung der Ökobilanzen

umgesetzt werden. Deren quantitative Wirkung kann pauschal nicht abgeschätzt werden und sollte daher immer individuell berechnet werden (Herbst et al., 2017). Für die weiterführende Analyse wurde die Richtwerte des Regionstyp 24 (für Wohn- und Bürogebäude) bzw. 34 (für Schulen) übernommen, da diese die obere Grenze der Bandbreite darstellen und somit keinen Standort ausschließen (Werte in rot).

Aufgrund der Empfehlungen aus den Bottom-Up-Analysen, werde nur mehr die Primärenergie gesamt und die THG-Emissionen dargestellt. Die empfohlenen Richtwerte können somit wie folgt zusammengefasst werden (vgl. Tabelle 48):

Tabelle 48: Empfohlene Richtwerte aus den Bottom-Up Analysen

		Richtwerte - Bottom Up	
		Empfehlungen	
		PEB ges. [kWh/m ² a]	THG-E [kg CO ₂ -eq./m ² a]
Wohngebäude	Graue Energie G.	33	8,0
	Betriebsenergie G.	100	8,0
	Graue Energie und Betriebsenergie M.	113	28,5
	Summe pro m²	246	44,5
Bürogebäude	Graue Energie G.	33	8,0
	Betriebsenergie G.	90	7,0
	Graue Energie und Betriebsenergie M.	121	30,6
	Summe pro m²	244	45,6
Schulgebäude	Graue Energie G.	33	8,0
	Betriebsenergie G.	100	8,0
	Graue Energie und Betriebsenergie M.	67	16,6
	Summe pro m²	199	32,6

In einem zweiten Schritt wurden für jeden Verwendungszweck auch die niedrigsten Werte notiert, welche im Rahmen der Variantenstudie ermittelt wurden. Somit kann die mögliche Bandbreite der Optimierungsmaßnahmen und deren Wirkung gezeigt werden. Für diese Art der Darstellung wurden im Mobilitätsbereich die Richtwerte des Regionstyp 92 (für Wohn- und Bürogebäude) bzw. 91 (für Schulen) übernommen.

In der Tabelle 49 sind somit die in den Variantenstudien Bottom-Up ermittelten niedrigsten Werte dargestellt:

Tabelle 49: Niedrigste Werte aus den Bottom-Up Analysen

		Richtwerte - Bottom Up	
		Minimalwerte	
		PEB ges. [kWh/m ² a]	THG-E [kg CO ₂ -eq./m ² a]
Wohngebäude	Graue Energie G.	26	5,8
	Betriebsenergie G.	47	2,9
	Graue Energie und Betriebsenergie M.	49	11,3
	Summe pro m²	121	20,0
Bürogebäude	Graue Energie G.	25	6,5
	Betriebsenergie G.	73	5,1
	Graue Energie und Betriebsenergie M.	27	6,3
	Summe pro m²	125	17,8
Schulgebäude	Graue Energie G.	26	7,1
	Betriebsenergie G.	69	5,2
	Graue Energie und Betriebsenergie M.	21	4,7
	Summe pro m²	116	17,1

8 Zusammenführung der Top-Down und Bottom-Up Ergebnisse

In einem abschließenden Schritt wurden die Ergebnisse aus den Top-Down-Analysen (vgl. Abschnitt 3.5) und die Ergebnisse aus den Bottom-Up-Analysen (vgl. Kapitel 7) zusammengeführt, um die Praxistauglichkeit der Top-Down abgeleiteten Richt- und Zielwerte zu prüfen und um Empfehlungen für die Festlegung von Richt- und Zielwerte aussprechen zu können.

Wie in der Tabelle 50 dargestellt, werden von den Bottom-Up empfohlenen Richtwerten nur die Top-Down vorgegebenen Richtwerte im Bereich Betriebsenergie in allen Gebäudekategorien vollständig erreicht. Dies reicht aber nicht aus, dass auch die Top-Down vorgegebenen Zielwerte erreicht werden.

Tabelle 50: Vergleich der Top-Down und Bottom-Up empfohlenen Richtwerte

		Bottom-Up empfohlene Richtwerte						
		PEB ges. [kWh/m²a]			THG-E [kg CO2-eq./m²a]			Err.
		TOP-DOWN	BOTTOM-UP	ABWEICHUNG	TOP-DOWN	BOTTOM-UP	ABWEICHUNG	
Wohngebäude	Graue Energie G.	20	33	64%	1,7	8,0	369%	NEIN
	Betriebsenergie G.	130	100	-23%	8,7	8,0	-8%	JA
	Graue Energie M.	12	113	104%	0,7	28,5	466%	NEIN
	Betriebsenergie M.	43			4,4			
	Summe pro m²	206	246	19%	15,4	44,5	188%	NEIN
		PEB ges. [kWh/m²a]			THG-E [kg CO2-eq./m²a]			Err.
Bürogebäude	Graue Energie G.	26	33	25%	2,6	8,0	202%	NEIN
	Betriebsenergie G.	271	90	-67%	18,3	7,0	-62%	JA
	Graue Energie M.	111	121	9%	1,7	30,6	415%	NEIN
	Betriebsenergie M.	42			4,3			
	Summe pro m²	371	244	-34,3%	26,8	45,6	70%	NEIN
		PEB ges. [kWh/m²a]			THG-E [kg CO2-eq./m²a]			Err.
Schulgebäude	Graue Energie G.	22	33	48%	2,3	8,0	254%	NEIN
	Betriebsenergie G.	181	100	-45%	14,3	8,0	-44%	JA
	Graue Energie M.	24	67	37%	0,4	16,6	477%	NEIN
	Betriebsenergie M.	25			2,5			
	Summe pro m²	234	199	-15%	19,4	32,6	68%	TLW
		Zielwerte						
		Primärenergiebedarf gesamt [WP*a]			THG-Emissionen [kg CO2-eq./P*a]			Err.
Wohngebäude	Summe pro Person	1.040	1.242	19%	684	1.973	188%	NEIN
Bürogebäude	Summe pro Person	181	119	-34%	115	195	70%	TLW
Schulgebäude	Summe pro Person	60	51	-15%	44	73	68%	TLW

Somit kann daraus abgeleitet werden, dass bei genauer Einhaltung der empfohlenen Richtwerte, die Top-Down vorgegebenen Zielwerte (welche aus dem Szenario „Erneuerbare Energie“ abgeleitet wurden; siehe auch Abschnitt 3.2) nur durch weitere Optimierung der dahinterstehenden Gebäude- bzw. Mobilitätskonzepte erreichbar sind. In der Regel schließen diese Richtwerte folgende Konzepte aus (vgl. auch Abschnitt 4.3, 0, 6.7):

- Graue Energie: Gebäude mit einer geringen Kompaktheit; bei kompakten Gebäuden hängt die Einhaltung des Richtwertes von den eingesetzten Baustoffen / der Bauweise und dem Materialeinsatz der Haustechnikausstattung ab.
- Betriebsenergie: Gebäudetechnikvarianten, welche mit Erdgas bzw. in einigen Fällen auch mit Pellets wärmeversorgt werden.
- Alltagsmobilität: Mobilitätskonzepte in (ländlichen) Gebieten mit Basiserschließung (Typ 24), welche keiner Optimierung hinsichtlich dem Status-Quo unterzogen werden.

Wie in der Tabelle 51 dargestellt, werden von den in den Variantenstudien Bottom-Up ermittelten niedrigsten Werten, die Top-Down vorgegebenen Werte für den Indikator Primärenergie gesamt in fast allen Bereichen und für alle Gebäudekategorien erreicht (Ausnahme: Graue Energie in Wohn- und Schulgebäuden). Für den Indikator THG-Emissionen trifft dies jedoch nur punktuell zu. In Summe ergibt sich somit nur in einigen Bereichen eine Unterschreitung der Top-Down vorgegeben Richtwerte. Dasselbe gilt auch für die Top-Down vorgegebenen Zielwerte, wobei die Zielwerte für Büro- und Schulgebäude erreicht werden können.

Tabelle 51: Vergleich der Top-Down und der in den Variantenstudien Bottom-Up ermittelten niedrigsten Werte

		Niedrigste Werte aus Variantenstudien							Err.
		PEB ges. [kWh/m²a]			THG-E [kg CO2-eq./m²a]				
		TOP-DOWN	BOTTOM-UP	ABWEICHUNG	TOP-DOWN	BOTTOM-UP	ABWEICHUNG		
Wohngebäude	Graue Energie G.	20	26	29%	1,7	5,8	242%	NEIN	
	Betriebsenergie G.	130	47	-64%	8,7	2,9	-67%	JA	
	Graue Energie M.	12	49	-13%	0,7	11,3	124%	TLW	
	Betriebsenergie M.	43			4,4				
	Summe pro m²	206	121	-41%	15,4	20,0	30%	TLW	
		PEB ges. [kWh/m²a]			THG-E [kg CO2-eq./m²a]			Err.	
Bürogebäude	Graue Energie G.	26	25	-5%	2,6	6,5	144%	TLW	
	Betriebsenergie G.	271	73	-73%	18,3	5,1	-72%	JA	
	Graue Energie M.	111	27	-76%	1,7	6,3	6%	TLW	
	Betriebsenergie M.	42			4,3				
	Summe pro m²	371	125	-66%	26,8	17,8	-34%	JA	
		PEB ges. [kWh/m²a]			THG-E [kg CO2-eq./m²a]			Err.	
Schulgebäude	Graue Energie G.	22	26	20%	2,3	7,1	217%	NEIN	
	Betriebsenergie G.	181	69	-62%	14,3	5,2	-64%	JA	
	Graue Energie M.	24	21	-57%	0,4	4,7	65%	TLW	
	Betriebsenergie M.	25			2,5				
	Summe pro m²	234	116	-50%	19,4	17,1	-12%	JA	
		Zielwerte							
		Primärenergiebedarf gesamt [WP*a]			THG-Emissionen [kg CO2-eq./P*a]			Err.	
Wohngebäude	Summe pro Person	1.040	613	-41%	684	888	30%	TLW	
Bürogebäude	Summe pro Person	181	61	-66%	115	76	-34%	JA	
Schulgebäude	Summe pro Person	60	30	-50%	44	38	-12%	JA	

Somit kann daraus abgeleitet werden, dass auch dieses Bündel an Richtwerten noch nicht ausreichend ist, um die Zielerreichung in allen Gebäudekategorien sicherzustellen (wenn man sich auf die Ziele des Szenario „Erneuerbare Energie bezieht; siehe auch Abschnitt 3.2). Dies liegt daran, dass im Mobilitätsbereich die Fülle der Möglichkeiten noch nicht voll ausgeschöpft wurde. Die Richtwerte im Mobilitätsbereich sind nämlich „nur“ Modal-Split optimiert und auch bei optimalen Rahmenbedingungen (z.B. in Wien; Typ 91) nur durch Umsetzung weitere Optimierungsmaßnahmen (auf Siedlungsebene) erreichbar. In den beiden anderen Verwendungszwecken ist man hingegen am technischen Limit angelangt. Wie aus den Variantenanalysen ersichtlich, wird eine Vielzahl an Optionen ausgeschlossen (vgl. auch Abschnitt 4.4, 5.5, 6.6):

- Graue Energie: alle Varianten (im kleinstvolumigen Sektor) bis auf das Strohballenhaus; bei kompakteren Gebäuden hängt die Einhaltung des Richtwerts von der Kompaktheitsklasse, den eingesetzten Baustoffen und ihrer Nutzungsdauer, der Bauweise sowie dem Materialeinsatz (inkl. der Langlebigkeit) der Haustechnikausstattung ab.
- Betriebsenergie: alle Gebäudetechnikvarianten, welche nicht mit biomasse-basierter Fernwärme und in hohem Ausmaß Solar versorgt werden.

- Alltagsmobilität: alle Mobilitätskonzepte außerhalb (städtischer) Gebieten ohne hochrangiger ÖV-Erschließung (Typ 92) und nicht Modal-Split optimierte Konzepte.

In einem abschließenden Schritt wurden schließlich jene Richtwerte ermittelt, welche im Mobilitätsbereich eingehalten werden sollten, um die Zielerreichung sicherzustellen. Dazu wurden von den Top-Down vorgegebenen Zielwerten für die THG-Emissionen die Bottom-Up ermittelten Richtwerte für die Verwendungszwecke Graue Energie und Betriebsenergie subtrahiert. Für Büro- und Schulgebäude ergibt sich somit ein etwas höherer Richtwert. Bei genauer Einhaltung dieser Richtwerte ist die Zielerreichung schlussendlich möglich. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 52 dargestellt.

Tabelle 52: Vergleich der Top-Down und der in den Variantenstudien Bottom-Up ermittelten niedrigsten Werte mit Ausnahme für den Verwendungszweck Mobilität und den THG-Emissionen

		Niedrigste Werte aus Variantenstudien (Ausnahme Mobilität)							Err.
		PEB ges. [kWh/m²a]			THG-E [kg CO2-eq./m²a]				
		TOP-DOWN	BOTTOM-UP	ABWEICHUNG	TOP-DOWN	BOTTOM-UP	ABWEICHUNG		
Wohngebäude	Graue Energie G.	20	26	29%	1,7	5,8	242%	NEIN	
	Betriebsenergie G.	130	47	-64%	8,7	2,9	-67%	JA	
	Graue Energie M.	12	49	-13%	0,7	6,7	33%	TLW	
	Betriebsenergie M.	43			4,4				
	Summe pro m²	206	121	-41%	15,4	15,4	0%	JA	
		PEB ges. [kWh/m²a]			THG-E [kg CO2-eq./m²a]			Err.	
Bürogebäude	Graue Energie G.	26	25	-5%	2,6	6,5	144%	TLW	
	Betriebsenergie G.	271	73	-73%	18,3	5,1	-72%	JA	
	Graue Energie M.	111	27	-76%	1,7	15,3	158%	TLW	
	Betriebsenergie M.	42			4,3				
	Summe pro m²	371	125	-66%	26,8	26,8	0%	JA	
		PEB ges. [kWh/m²a]			THG-E [kg CO2-eq./m²a]			Err.	
Schulgebäude	Graue Energie G.	22	26	20%	2,3	7,1	217%	NEIN	
	Betriebsenergie G.	181	69	-62%	14,3	5,2	-64%	JA	
	Graue Energie M.	24	21	-57%	0,4	7,0	145%	TLW	
	Betriebsenergie M.	25			2,5				
	Summe pro m²	234	116	-50%	19,4	19,4	0%	JA	
		Zielwerte							
		Primärenergiebedarf gesamt [W/P*a]			THG-Emissionen [kg CO2-eq./P*a]			Err.	
Wohngebäude	Summe pro Person	1.040	613	-41%	684	684	0%	JA	
Bürogebäude	Summe pro Person	181	61	-66%	115	115	0%	JA	
Schulgebäude	Summe pro Person	60	30	-50%	44	44	0%	JA	

Abschließend wird noch die Abweichung zwischen den Top-Down und Bottom-Up Richtwerten diskutiert.

Wie die Ableitung der Schweizer Richt- und Zielwerte gezeigt hat (siehe Mair am Tinkhof et al., 2017), sind Abweichungen im Bereich der Grauen Energie (Bottom-Up-Werte überschreiten die Top-Down-Werte), Betriebsenergie (Bottom-Up-Werte unterschreiten die Top-Down-Werte) und Alltagsmobilität (Bottom-Up-Werte überschreiten die Top-Down-Werte) zu erwarten gewesen. Für die Top-Down Ableitung der Zielwerte wurde nämlich ein einheitlicher Reduktionsfaktor für jeden Verwendungszweck ermittelt. Deshalb musste mit den Bottom-Up-Analysen überprüft werden, ob mit den derzeitigen Technologien, die Top-Down vorgegebenen Zielwerte auch erreicht werden können. Für die Betriebsenergie ist dies jedenfalls möglich, weil auch zusätzlich noch die Möglichkeit besteht Energie vor Ort zu produzieren. Für die Verwendungszwecke Graue Energie und Mobilität hingegen sind nicht dieselben Reduktionspotentiale umsetzbar.

Die Bottom-Up ermittelten Richtwerte bilden somit die zentrale Grundlage für die Planung einer Klimaverträglichen Siedlung und müssen in der Regel nicht in allen Bereichen genau

eingehalten werden. Die Top-Down ermittelten Zielwerte für jede Gebäudekategorie hingegen, welche auf das Szenario „Erneuerbare Energie“ referenzieren und sich in der Berechnung aus der Summe aller Richtwerte pro Verwendungszweck ergeben, müssen hingegen genau eingehalten werden, falls die Umsetzung einer Klimaverträglichen Siedlung angestrebt wird.

8.1 Anwendungsbeispiel

Die Anwendung der Richt- und Zielwerte wird beispielhaft an einer Wohnsiedlung aufgezeigt. Grundsätzlich ist in der Abbildung 24 die Bandbreite der im Rahmen dieses Projekts ermittelten Richtwerte für die THG-Emissionen für Wohngebäude – aufgeteilt auf die einzelnen Verwendungszwecke – dargestellt:

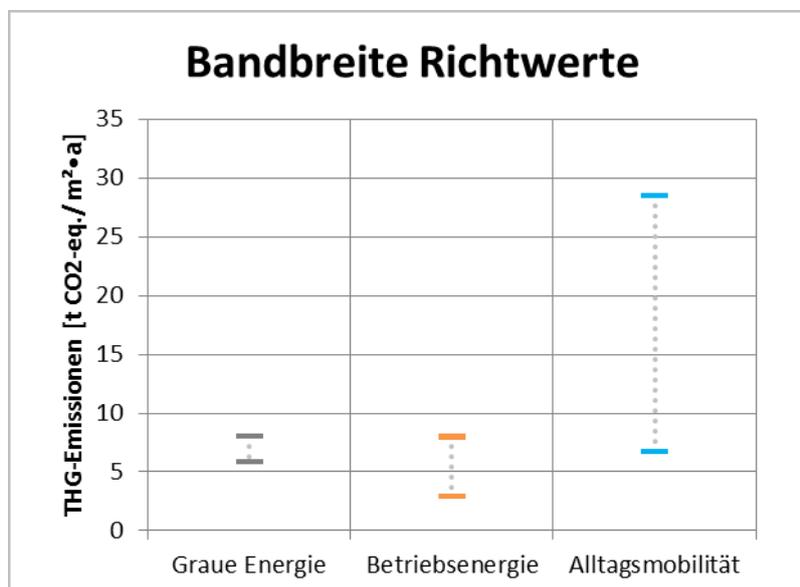


Abbildung 24: Bandbreite der Richtwerte für die THG-Emissionen von Wohngebäuden in den drei analysierten Bereichen Graue Energie, Betriebsenergie, Alltagsmobilität

Werden bei einer reinen Wohnsiedlung in allen Bereichen die niedrigsten Richtwerte eingehalten (unterste Linie in allen Bereichen), kann ein Summenwert von 15,4 kg CO₂-eq. pro m² und Jahr erzielt werden. Die Siedlung wäre in diesem Fall Klimaverträglich, da der Planwert unter dem Top-Down abgeleiteten Zielwert von 15,4 kg CO₂-eq. pro m² und Jahr liegt.

Im gegenteiligen Fall, wenn in allen Bereichen „nur“ die aus den Bottom-Up Analysen empfohlenen Richtwerte genau eingehalten werden würde (oberste Linie), würde in Summe ein Planwert von 44,5 kg CO₂-eq. pro m² und Jahr erzielt werden, welcher um fast das Dreifache über dem Top-Down abgeleiteten Zielwert liegen würde (Annahme: Mobilität in (ländlichen) Gebieten mit Basiserschließung (Typ 24) und Modal-Split optimiert). Für die Errichtung einer Klimaverträglichen Siedlung, müssten daher weitere Optimierungen in allen Bereichen umgesetzt werden. Diesbezüglich sollte auf die Anforderungen an den Siedlungsentwurf als auch auf die lokalen Rahmenbedingungen und die Überschreitungen in den einzelnen Verwendungszwecken Rücksicht genommen werden.

Bei der Planung von Siedlungsprojekten sollte daher in einem ersten Schritt überlegt werden, welches übergeordnete Ziel man erreichen möchte. Wenn dies die Errichtung einer klimaverträglichen Siedlung ist, bedeutet dies automatisch den Bezug auf die Top-Down – aus dem Szenario Erneuerbare Energie abgeleiteten – Zielwerte. Diese können erreicht werden, wenn in allen Verwendungszwecken die Optimierungspotentiale genutzt werden.

Die im Rahmen dieses Projekts ermittelten Bandbreiten der einzelnen Richtwerte sind in der Tabelle 53 dargestellt und werden für die weitere Verwendung bzw. Kommunikation empfohlen. Wie bereits beschrieben, müssen die Richtwerte in den einzelnen Verwendungszwecken nicht eingehalten werden, falls die Möglichkeit zur Kompensation in einem anderen Handlungsfeld besteht.

Tabelle 53: Top-Down und Bottom-Up ermittelte Richt- und Zielwerte

Wohngebäude	Richtwerte	PEB ges. [kWh/m²a]	THG-E [kg CO2-eq./m²a]
	Graue Energie Gebäude	26 - 33	5,8 - 8
	Betriebsenergie Gebäude	47 - 100	2,9 - 8
	Graue Energie und Betriebsenergie Alltagsmobilität	49 - 113	6,7 - 28,5
	Zielwert pro m²	206	15
		PEB ges. [WP•a]	THG-E [kg CO2-eq./P•a]
	Zielwert pro Person	1.040	684
Bürogebäude	Richtwerte	PEB ges. [kWh/m²a]	THG-E [kg CO2-eq./m²]
	Graue Energie Gebäude	25 - 33	6,5 - 8
	Betriebsenergie Gebäude	73 - 90	5,1 - 7
	Graue Energie und Betriebsenergie Alltagsmobilität	27 - 121	6,3 - 30,6
	Zielwert pro m²	371	27
		PEB ges. [WP•a]	THG-E [kg CO2-eq./P•a]
	Zielwert pro Person	181	115
Schulgebäude	Richtwerte	PEB ges. [kWh/m²a]	THG-E [kg CO2-eq./m²]
	Graue Energie Gebäude	26 - 33	7,1 - 8
	Betriebsenergie Gebäude	69 - 100	5,2 - 8
	Graue Energie und Betriebsenergie Alltagsmobilität	21 - 67	4,7 - 16,6
	Zielwert pro m²	116	19
		PEB ges. [WP•a]	THG-E [kg CO2-eq./P•a]
	Zielwert pro Person	60	44

8.2 Berechnungsgrundlagen

Die Systemgrenzen, Konversionsfaktoren und Rechentools, welche im Rahmen dieses Projekts für die Ermittlung der Richtwerte angewendet wurden, sind der der Tabelle 54 noch einmal zusammengefasst. Weitere Details sind in den entsprechenden Kapiteln zu finden.

Tabelle 54: Überblick über die wesentlichen Berechnungsgrundlagen

	Richtwerte Graue Energie	Richtwerte Betriebsenergie	Richtwerte Mobilität
Systemgrenze	<ul style="list-style-type: none"> • Phasen A1-A3; B4; C1-C4 nach EN 15978 • BG3 • Betrachtungszeitraum 100 Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> • Heizwärmebedarf • Warmwasserwärmebedarf • Jahresertrag Solarthermie • Hilfsenergie • Lüftung • Beleuchtung • Betriebsenergie • Photovoltaik wird separat bewertet 	<ul style="list-style-type: none"> • Energiebereitstellung und Fahrzeugherstellung. • Entsorgung nur bei PKWs berücksichtigt • Jahresmobilität ohne der nicht alltäglichen Mobilität (z.B. Flugreisen; Wege länger als 3 Stunden)
Konversionsfaktoren	baubook Richtwerte	baubook Richtwerte bzw. eigens ermittelte Konversionsfaktoren für Strom	Umweltbundesamt GmbH
Rechenhilfe	eco2soft	PHPP	Österreich unterwegs 2013/2014

9 Schlussfolgerungen

9.1 Gewonnen Erkenntnisse

Im Rahmen dieses Projekts wurden auf Basis des Schweizer Bilanzierungskonzepts der 2000-Watt-Gesellschaft Richt- und Zielwerte für Wohn-, Büro- und Schulgebäude unter Österreichischen Rahmenbedingungen entwickelt.

In Österreich liegt zurzeit kein politisch beschlossener Absenkpfad bis zum Jahr 2050 vor. Im Rahmen dieses Projekts wurde daher ein Absenkpfad aus dem Szenario „Erneuerbare Energie“ abgeleitet (Umweltbundesamt GmbH 2, 2016). In diesem Szenario wird eine weitgehende Dekarbonisierung des Energiesystems bis zum Jahr 2050 angenommen. Aus diesem Szenario konnten für den Zeitraum 2014 bis 2050 folgende Reduktionsfaktoren abgeleitet werden:

- Primärenergiebedarf gesamt: 1,8
- Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 13,0
- THG-Emissionen: 4,2

Aus diversen Datenquellen wurden in einem nächsten Schritt Ist-Werte für das Jahr 2014 ermittelt (z.B. aktuelle THG-Emissionen), durch Division der Ist-Werte mit den Reduktionsfaktoren Richtwerte bestimmt (z.B. empfohlene THG-Emissionen) und zu Zielwerten weiterentwickelt (z.B. THG-Emissionen aller Bereiche, welche nicht überschritten werden dürfen, wenn das übergeordnete Ziel erreicht werden soll).

Parallel dazu wurden Bottom-Up Richtwerte für Wohn-, Büro-, und Schulgebäude ermittelt. Dazu wurden Modellgebäude definiert und Modellierungen angestellt und die Ergebnisse aus der Umfrage „Österreich unterwegs“ ausgewertet (bmvit, 2016). Daraus wurden einerseits Richtwerte ermittelt, welche im Gebäudebereich in der Regel eine Vielzahl der analysierten Baustoff- und Gebäudetechnikvarianten und im Mobilitätsbereich auch optimierte Mobilitätskonzepte in (ländlichen) Gebieten mit Basiserschließung zulassen (Szenario Erneuerbare Energie fähig) und andererseits auch Richtwerte ermittelt, welche im Gebäudebereich in der Regel nur den Einsatz der CO₂-ärmsten Baustoff- und Gebäudetechnikvariante bzw. im Mobilitätsbereich nur optimierte Mobilitätskonzepte in (städtischen) Gebieten mit hochrangiger ÖV-Erschließung zulassen (Szenario Erneuerbare Energie kompatibel).

Durch die Gegenüberstellung der Top-Down und Bottom-Up erhobenen Richtwerte konnte gezeigt werden, dass die Top-Down ermittelten Zielwerte nur dann erreicht werden können, wenn in allen drei Bereichen die optimiertesten Konzepte umgesetzt werden. Dies kann im Gebäudebereich nur durch den weitgehendsten Verzicht auf Neubau, die Forcierung von Nachverdichtungen und Sanierungen (inkl. Umbauten/Umnutzungen), durch Erhöhung der Kompaktheitsklassen der Baukörper und bessere Flächeneffizienz, durch ressourceneffiziente Bauweise mit langer Lebensdauer der Einzelkomponenten und Bauteile und unter Einsatz von Baustoff- und Gebäudetechnikvarianten, die geringe Primärenergieaufwände bzw. CO₂-Emissionen aufweisen, bzw. im Mobilitätsbereich durch die Umsetzung optimierter Mobili-

tätskonzepte in (städtischen) Gebieten mit hochrangiger ÖV-Erschließung erzielt werden (Typ 92).

9.2 Anwendung der Ergebnisse

Aus ExpertInnensicht könnten die Richt- und Zielwerte Anwendung in der Vergabe von Förderungen finden (z.B. Übernahme einzelner Richtwerte als Kriterium in der Wohnbauförderung; gezielte Verteilung von Gemeindeförderung aufgrund der lokalen Voraussetzungen). Beispielhaft ist dabei auch die Leitlinie 18 der Baukulturellen Leitlinien des Bundes genannt, welche für die Sicherung der qualitätsvollen Siedlungsentwicklung die Bindung der öffentlichen Mittel an entsprechende Qualitätskriterien anstrebt, welche noch zu entwickeln wären (beschlossen im August 2017).

Weiters haben die erarbeiteten Richt- und Zielwerte das Potential als übergeordnetes Planungs- und Prozesstool für Gemeinden und Länder Anwendung zu finden.

Im Wesentlichen wurden die Projektergebnisse jedoch mit dem Hintergrund erarbeitet, dass diese als Grundlage für die Planung und Bewertung der Klimaverträglichkeit von Neubausiedlungen herangezogen werden können (lokales Planungs- und Prozesstool). Klimaverträglich bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die für die Errichtung und den Betrieb erforderlichen Energieaufwendungen bzw. emittierten Emissionen, sich nicht negativ auf die Erreichung des 2°C Klimaziels auswirken (Ziel des Szenarios Erneuerbare Energie von der Umweltbundesamt GmbH, 2016). Zu diesem Zweck wurden die Aufwendungen in den Verwendungszwecken Graue Energie und Betriebsenergie von Gebäuden sowie Alltagsmobilität analysiert. Durch Vergleich der Planwerte eines Projektentwurfs einer Neubausiedlung mit den im Rahmen dieses Projekts erarbeiteten Richtwerte kann man in einem ersten Schritt erkennen, in welchen Bereichen der größte Handlungsbedarf bzw. die größte Chance für die Verbesserung der Gesamtbilanz gegeben sind (z.B. Baustoffauswahl, thermischer Gebäudestandard / Gebäudetechnik, Mobilitätsinfrastruktur). In einem nächsten Schritt kann man durch Vergleich der Summenwerte mit den im Rahmen dieses Projektes erarbeiteten Zielwerten prüfen, ob die Errichtung und der Betrieb der geplanten Neubausiedlung Klimaverträglich sind.

Da Richt- und Zielwerte für Wohn-, Büro- und Schulgebäude vorliegen, eignen sich die Projektergebnisse für die Planung und Bewertung von reinen Wohnsiedlungen als auch für Siedlungen mit Mischnutzung.

Zudem liegen auch Vergleichswerte für verschiedene Siedlungskonzepte vor (z.B. Einfamilienhaussiedlungen, verdichteter Wohnbau, Siedlungen am Land, Siedlungen in der Stadt). Denn vor allem im Bereich der Mobilität zeigt sich, dass eine Optimierung nach Festlegung des Standorts besonders herausfordernd ist. Aus diesem Grund sollten die Richtwerte bereits zur Standortwahl herangezogen werden. Mobilitätsthemen sollten in der Regel auf regionaler bzw. überregionaler Ebene optimiert werden bzw. erfordert eine Optimierung im Bereich der Mobilität auch eine starke Veränderung von Verhaltensmustern bzw. weiteren sozialen Themen (Wege zum Arbeitsplatz usw.).

9.3 Zielgruppen

Aufgrund der dargestellten Handlungsmöglichkeiten, ist grundsätzlich zwischen zwei Zielgruppen zu unterscheiden. Zum einen sind dies Bauträger, die vor allem die Richtwerte im Bereich der Grauen Energie bzw. Betriebsenergie zur Optimierung ihrer Konzepte heranziehen können. Die zweite und wichtigere Zielgruppe sind hingegen Gemeinden, welche auf Basis dieser Zielwerte Vorgaben machen können und vor allem im Mobilitätsbereich Optimierungsvorschläge auf regionaler und überregionaler Ebene anstoßen sollten. Gemeinden haben auch einen relativ hohen Einfluss im Bereich der Raumordnung, wobei es in diesem Zusammenhang vor allem darum gehen wird, diesen Einfluss auch zu aktivieren (u.a. Standorte für Siedlungen; Geschossflächenzahl). Durch das plakative Darstellen der Ist-, Plan- und Richtwerte soll vor allem in Gemeinden ein Bewusstsein für die anstehenden Herausforderungen im Bereich der Energiewende aufgezeigt werden (Reduktion um den Faktor 4,2; wie geht das überhaupt? – Pull-Strategie). Schließlich ermöglichen die Ist-, Plan- bzw. Richtwerte auch einen Vergleich mit anderen Gemeinden / Siedlungsprojekten (Push-Strategie). Daraus sollen schließlich Argumente für die Optimierung von Siedlungskonzepten abgeleitet werden, welche wiederum in einer möglichst frühen Phase in den kooperativen Planungsprozess einfließen sollten. Somit ist die erweiterte Zielgruppe eine gemischte Projektgruppe (u.a. Bauträger, Gemeinde, ExpertInnen), welche gemeinsam Neubausiedlungen planen und umsetzen.

9.4 Marktpotential

In der Schweiz werden Richt- und Zielwerte bereits seit 2012 für die Planung, Bewertung und Qualitätssicherung der Klimaverträglichkeit von Neubausiedlungen herangezogen. Bis zum heutigen Stichtag wurden bzw. werden rund 15 Neubausiedlungen auf Basis der in der Schweiz entwickelten Richt- und Zielwerte geplant und bewertet. Bis zum Jahr 2021 wird in der Schweiz von einem Marktpotential von rund 253 Arealen ausgegangen, wobei sich diese wie folgt auf folgende Gemeindetypen bzw. ÖV-Güteklassen aufteilen (vgl. Tabelle 55):

Tabelle 55: Anzahl der Areale, welche bis 2021 in der Schweiz entwickelt werden und für eine Arealzertifizierung geeignet sind (Quelle: Wüest & Partner, 2016)

Anzahl Areale	ÖV-GÜTEKLASSE					TOTAL
	A	B	C	D	ausserhalb	
Goldstädte (34 zertifizierte Gemeinden)	27	21	7	0	0	55
Energiestädte (336 zertifizierte Gemeinden)	31	36	33	26	9	135
ausserhalb	10	13	15	15	10	63
TOTAL	68	70	55	41	19	253

Es sind somit vorrangig Städte mit einem hohen Energiebewusstsein, bei welchen ein System zur Planung, Bewertung und Qualitätssicherung von Neubausiedlungen Anwendung finden könnte.

Umgelegt auf Österreich bedeutet dies, dass vor allem e5-Gemeinden und Klimabündnisgemeinden – welche bereits einen Bezug zum Thema Klimawandel haben – primäre Adressaten für die Projektergebnisse sind. Von den 2.100 Gemeinden in Österreich sind aktuell rund 206 e5-Gemeinden (vgl. Abbildung 25) und 960 Klimabündnisgemeinden.



Abbildung 25: e5-gemeinden in Österreich (e5-gemeinden.at, Zugriff am 26.06.2017)

Weiters ist vor allem in den Ballungszentren von Österreich mit einer deutlichen Wohnungsnachfrage und somit reger Bautätigkeit auszugehen (vgl. Abbildung 26). Daraus kann abgeleitet werden, dass die erarbeiteten Richt- und Zielwerte vor allem für Siedlungsprojekte in städtischen Gebieten Anwendung finden könnten.

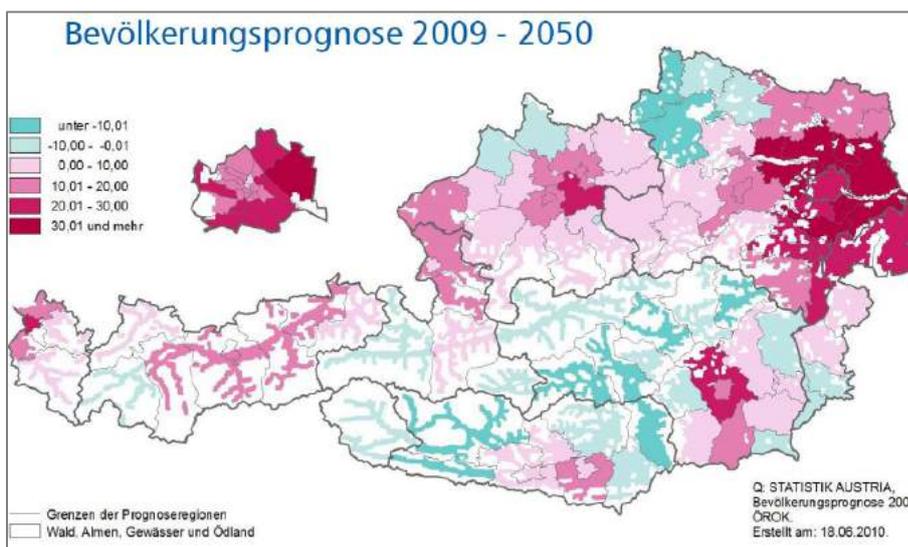


Abbildung 26: Bevölkerungsprognose 2009 – 2050 (Statistik Austria, 2010)

10 Ausblick und Empfehlungen

Grundsätzlich sollten die erarbeiteten Richt- und Zielwerte in einem ersten Schritt in ein Planungstool übergeführt werden. Das Planungstool sollte in einer möglichst frühen Phase aufzeigen, welche Werte mit den angedachten Konzepten erzielt werden und welche Konzepte aus energiepolitischer Sicht angestrebt werden sollten. Auch soll die Auswirkung von einzelnen Maßnahmen ersichtlich sein. Aus diesem Grund sollten in diesem Planungstool auch Maßnahmenvorschläge als Hilfestellung für die Optimierung der einzelnen Konzepte integriert werden.

Parallel dazu sollten auch Richtwerte für die Infrastruktur (Wege, Abwasser, Strom, ...) erarbeitet werden. Die Planung der Infrastruktur ist in vielen Fällen nämlich der erste Planungsschritt und könnte somit als Türöffner für die Verwendung des Planungstools dienen.

Für die Überführung der Richt- und Zielwerte in ein Bewertungstool wäre in einem nächsten Schritt auch die Festlegung der Richt- und Zielwerte – vor allem für den Mobilitätsbereich – erforderlich. Es hat sich nämlich gezeigt, dass vor allem zwischen städtischen und ländlichen Gebieten ein großer Unterschied zwischen den Optimierungsmöglichkeiten gegeben ist. Gemittelte Richtwerte, welche Siedlungen in Städten leichter und Siedlungen am Land schwerer erreichen, sollte unbedingt vermieden werden. Jede Siedlung sollte die Möglichkeit erhalten den Planungsentwurf entsprechend den lokalen Rahmenbedingungen optimieren zu können. Wo Siedlungen zukünftig entstehen und wie verdichtet diese gebaut werden, soll auch zukünftig über übergeordnete (Raumordnungs)Instrumente reguliert werden.

Grundsätzlich wurden die Richt- und Zielwerte für Neubausiedlungen erarbeitet. In einem nächsten Schritt sollte überprüft werden, ob die Richtwerte auch für Bestandssiedlungen herangezogen werden können, bzw. welche Anpassungen dafür erforderlich wären.

Auch sollten im Rahmen von Pilotprojekten weitere Praxiserfahrungen bei der Planung und Bewertung von Siedlungskonzepten gesammelt werden. Im Rahmen dieses Projekts wurden bereits geeignete Siedlungsentwicklungsgebiete in mehreren Bundesländern identifiziert, welche in einem nächsten Schritt einer Pilotbewertung unterzogen werden könnten.

Aktuell wird ein System zur Planung, Bewertung und Qualitätssicherung der Klimaverträglichkeit von Neubausiedlungen entwickelt (Projekttitle: klimaaktiv Siedlungsbewertung). Die vorliegenden Richt- und Zielwerte bilden dabei einen wesentlichen Baustein für den in Entwicklung stehenden Maßnahmenkatalog bzw. Bewertungshilfe.

11 Verzeichnisse

11.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Globale anthropogene CO ₂ -Emissionen und mittlerer globaler Temperaturanstieg (Quelle: IPCC, 2014; Seite 3).....	17
Abbildung 2: Änderung der mittleren Jahrestemperatur in Österreich; Referenzperiode 1971-2000 (Quelle: APCC, 2014; Seite 30)	18
Abbildung 3: Methodik zur Ableitung von Richt- und Zielwerten (SIR, 2017)	21
Abbildung 4: Die für die Erstellung des Grünbuchs für eine integrierte Energie- und Klimastrategie herangezogenen Studien (Quelle: BMWFW und BMLFUW, 2016; Seite 55).23	
Abbildung 5: Ermittelte Zielwerte für Österreich im Vergleich mit Zielwerten aus anderen Studien (SIR, 2017).....	25
Abbildung 6: Abgeleitete Absenkpfade für Österreich für die einzelnen Zielgrößen (SIR, 2017).....	26
Abbildung 7: PENRT, PERT, PENRE, PERE der Ökobilanz der Einfamilienhäuser aufgesplittet nach Lebensphasen. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis (Darstellung: IBO, 2017).....	48
Abbildung 8: PENRM, PERM, GWP T und C der Ökobilanz der Einfamilienhäuser aufgesplittet nach Lebensphasen. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis (Darstellung: IBO, 2017).....	49
Abbildung 9: PENRT, PERT, PENRE, PERE der Ökobilanz der Wohnhausanlagen aufgesplittet nach Lebensphasen. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis (Darstellung: IBO, 2017).....	52
Abbildung 10: PENRM, PERM, GWP T und C der Ökobilanz der Wohnhausanlagen aufgesplittet nach Lebensphasen. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis (Darstellung: IBO, 2017).....	53
Abbildung 11: Bruttostromerzeugung Österreich (Darstellung: EIV, 2017).....	68
Abbildung 12: Bruttostromerzeugung Deutschland (Darstellung: EIV, 2017)	70
Abbildung 13: Primärenergiefaktoren Energetischer Endverbrauch Österreich (Darstellung: EIV, 2017)	71
Abbildung 14: CO ₂ -Faktoren Energetischer Endverbrauch Österreich (Darstellung: EIV, 2017).....	71
Abbildung 15: Primärenergiefaktoren Energetischer Endverbrauch Österreich 2050 nach Szenario (Darstellung: EIV, 2017)	74
Abbildung 16: CO ₂ -Faktoren Energetischer Endverbrauch Österreich 2050 nach Szenario (Darstellung: EIV, 2017)	74
Abbildung 17: Wohngebäude – Primärenergiebedarf gesamt (Darstellung: EIV, 2017)	77
Abbildung 18: Wohngebäude – Treibhausgasemissionen (Darstellung: EIV, 2017).....	78
Abbildung 19: Bürogebäude – Primärenergiebedarf gesamt (Darstellung: EIV, 2017).....	78
Abbildung 20: Bürogebäude – Treibhausgasemissionen (Darstellung: EIV, 2017)	79
Abbildung 21: Schulgebäude – Primärenergiebedarf gesamt (Darstellung: EIV, 2017).....	79

Abbildung 22: Schulgebäude – Treibhausgasemissionen (Darstellung: EIV, 2017)	80
Abbildung 23: UrbanAreaParameters Gemeindetypen (erste Zahl – Regionstyp, zweite Zahl - ÖV-Qualitätstyp; Darstellung: iSPACE, 2017)	86
Abbildung 25: Bandbreite der Richtwerte für die THG-Emissionen von Wohngebäuden in den drei analysierten Bereichen Graue Energie, Betriebsenergie, Alltagsmobilität	102
Abbildung 26: e5-gemeinden in Österreich (e5-gemeinden.at, Zugriff am 26.06.2017).....	108
Abbildung 27: Bevölkerungsprognose 2009 – 2050 (Statistik Austria, 2010)	108

11.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht zu den weiterführenden Informationen	16
Tabelle 2: Abgeleitete Absenkpfad für Österreich für die einzelnen Zielgrößen (SIR, 2017) .	26
Tabelle 3: Verwendete Konversionsfaktoren (Datenquelle: Primärenergie: OIB 2015, THG-Emissionen: Umweltbundesamt GmbH, April 2016)	29
Tabelle 4: Top-Down abgeleitete Ist-Werte (Berechnung: SIR, 2017; grau hinterlegt: Aus der Schweiz übernommen):.....	30
Tabelle 5: Top-Down abgeleitete Richt- und Zielwerte in MJ (Berechnung: SIR, 2017).....	31
Tabelle 6: Top-Down abgeleitete Richt- und Zielwerte in kWh (Berechnung: SIR, 2017)	32
Tabelle 7: Lebenswegphasen („Module“) nach EN 15978	37
Tabelle 8: Beschreibung der betrachteten Gebäude. Abkürzungen: EFH ... Einfamilienhaus, WHA ... Wohnhausanlage, KiGa ... Kindergarten; A ... Oberfläche, V ... Volumen, BGF ... Bruttogrundfläche, kond... .. konditionierte, ges ... gesamte; weitere Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis.....	43
Tabelle 9: Indikatorwerte für unterschiedliche Haustechnikkonzepte gemäß (Sölkner et al., 2013).....	45
Tabelle 10: Ableitung von Test-Richtwerten für die Gebäudeanalyse	47
Tabelle 11: Erreichung der Schweizer und der österreichischen Test-Richtwerte in % und in JA/NEIN für die unterschiedlichen Einfamilienhaus-Varianten. Bezugsfläche: kond. BGF. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis.	50
Tabelle 12: Erreichung des GWP-Test-Richtwertes für das ambitionierte GWP-Ziel von 1,5 t CO ₂ -eq. pro Person und Jahr in % und in JA/NEIN für die unterschiedlichen Einfamilienhaus-Varianten. Bezugsfläche: kond. BGF. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis.	51
Tabelle 13: Erreichung der Schweizer und der österreichischen Test-Richtwerte in % und in JA/NEIN für die unterschiedlichen Wohnhausanlagen-Varianten. Bezugsfläche: kond. BGF. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis.	54
Tabelle 14: Erreichung des GWP-Test-Richtwertes für das ambitionierte GWP-Ziel von 1,5 t CO ₂ -eq. pro Person und Jahr in % und in JA/NEIN für die unterschiedlichen Mehrfamilienhaus-Varianten. Bezugsfläche: kond. BGF. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis.....	54
Tabelle 15: Erreichung der Schweizer und der österreichischen Test-Richtwerte in % und in JA/NEIN für die unterschiedlichen Bürogebäude und Bildungseinrichtungen. Bezugsfläche: kond. BGF. Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis.....	55
Tabelle 16: Ergebnisse im Überblick für die „Graue Energie“ über den gesamten Lebenszyklus bezogen auf m ² BGF und Jahr.....	56
Tabelle 17: Ableitung von Test-Richtwerten für die Gebäudeanalyse	57
Tabelle 18: Vorgeschlagene Richtwerte für die Bewertung der „Grauen Energie“ von Gebäuden in Österreich pro m ² BGF.....	58
Tabelle 19: Richtwerte für die Bewertung der Grauen Energie von Gebäuden in Österreich pro Person.....	58
Tabelle 20: Richtwerte Wohnen gemäß SIA 2040	62
Tabelle 21: Richtwerte Büro gemäß SIA 2040	63

Tabelle 22: Richtwerte Schulen gemäß SIA 2040.....	63
Tabelle 23: Richt- und Zielwerte bezogen auf Personen der Gesamtbevölkerung gemäß SIA 2040	63
Tabelle 24: Primärenergie gesamt – Richt- und Zielwerte gemäß SIA 2040	64
Tabelle 25: Kenngrößen des Modellgebäudes	64
Tabelle 26: Variantenberechnung Wohngebäude Heizwärmebedarf 10	65
Tabelle 27: Konversionsfaktoren Bruttostromerzeugung Österreich (Berechnung: EIV, 2017)	69
Tabelle 28: Konversionsfaktoren Bruttostromerzeugung Tschechische Republik (Berechnung: EIV, 2017)	70
Tabelle 29: Strombereitstellung Österreich nach Szenario Erneuerbare Energie.....	73
Tabelle 30: Konversionsfaktoren Strom für Siedlungsbewertung	75
Tabelle 31: Konversionsfaktoren für alle anderen Energieträger	75
Tabelle 32: Kenngrößen Best Practice Gebäude.....	76
Tabelle 33: Kenngrößen Solarthermische Anlagen.....	76
Tabelle 34: Anzahl Hauptwohnsitze und durchschnittliche Wohnfläche pro Person.....	80
Tabelle 35: Abgeleitete Richtwerte Betriebsenergie Gebäude (Berechnung: EIV, 2017)	82
Tabelle 36: Verkehrsleistung [Personen-km] pro Person und Jahr	86
Tabelle 37: Emissionskennzahlen Datenbasis 2014.....	88
Tabelle 38: CO _{2-eq.} -Emissionen in Mio. Tonnen pro Jahr in Österreich 2016.....	88
Tabelle 39: Kumulierter Energieaufwand in kWh pro Jahr in Österreich 2016	89
Tabelle 40: Anteile der Nutzungstypen der Gebäude an den zurückgelegten Jahresdistanzen	90
Tabelle 41: CO ₂ -Äquivalente in Mio. Tonnen pro Jahr je Nutzungstyp der Zielgebäude	91
Tabelle 42: Kumulierter Energieaufwand in Milliarden kWh pro Jahr je Nutzungstyp der Zielgebäude	91
Tabelle 43: Optimal-Modal-Split der Verkehrsleistung 2013/2014 je Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination	92
Tabelle 44: Optimal-Verkehrsleistung pro Person und Jahr je Verkehrsträger und Regionstyp/ÖV-Güteklasse-Kombination.....	93
Tabelle 45: CO _{2-eq.} -Emissionen bei optimalem Modal-Split in Mio. Tonnen pro Jahr in Österreich 2016.....	94
Tabelle 46: Kumulierter Energieaufwand in kWh bei optimalem Modal-Split pro Jahr in Österreich 2016.....	94
Tabelle 47: Abgeleitete flächenspezifische Richtwerte für die Alltagsmobilität; rot: höchster Wert; grün: niedrigster Wert.....	96
Tabelle 48: Empfohlene Richtwerte aus den Bottom-Up Analysen	97
Tabelle 49: Niedrigste Werte aus den Bottom-Up Analysen	98
Tabelle 50: Vergleich der Top-Down und Bottom-Up empfohlenen Richtwerte.....	99
Tabelle 51: Vergleich der Top-Down und der in den Variantenstudien Bottom-Up ermittelten niedrigsten Werte	100

Tabelle 52: Vergleich der Top-Down und der in den Variantenstudien Bottom-Up ermittelten niedrigsten Werte mit Ausnahme für den Verwendungszweck Mobilität und die THG-Emissionen.....	101
Tabelle 53: Top-Down und Bottom-Up ermittelte Richt- und Zielwerte.....	103
Tabelle 54: Überblick über die wesentlichen Berechnungsgrundlagen	104
Tabelle 55: Anzahl der Areale, welche bis 2021 entwickelt werden und für eine Arealzertifizierung geeignet sind (Quelle: Wüest & Partner, 2016).....	107

11.3 Literaturverzeichnis

11.3.1 Normen

Norm SIA 380/1: Schweizer Norm 520 SIA 380/1:2009 Bauwesen. Thermische Energie im Hochbau. Ausgabe 2011. Schweizer Ingenieur- und Architektenkammer, Zürich 2009.

ÖNORM EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Austrian Standards Institute, Wien 2009.

ÖNORM EN ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Austrian Standards Institute, Wien 2017.

ÖNORM EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltdeklarationen für Produkte – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Austrian Standards Institute, Wien 2014.

ÖNORM EN 15978: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bestimmung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode. Austrian Standards Institute, Wien 2012.

ÖNORM EN 16485: Rund- und Schnittholz – Umweltproduktdeklarationen – Produktkategorieregeln für Holz und Holzwerkstoffe im Bauwesen. Austrian Standards Institute, Wien 2014.

CEN/TR 16970: Nachhaltiges Bauen — Leitfaden für die Anwendung von EN 15804. CEN, Brüssel 2016.

11.3.2 Leitfäden und Merkblätter

Dokumentation D 0236: SIA-Effizienzpfad Energie. Ausgabe 2011. Schweizer Ingenieur- und Architektenkammer, Zürich 2011.

IBO-Richtwerte: IBO-Richtwerte für Baumaterialien – Wesentliche methodische Annahmen. IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Wien 2007.

Leitfaden „Graue Energie“: Leitfaden „Graue Energie von Gebäude“. Erstfassung erstellt im Rahmen von UrbanAreaParameters / Stadt der Zukunft. FFG-Nr. 854681. IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Wien 2017.

Merkblatt SIA 2032: Graue Energie von Gebäuden. Schweizer Ingenieur- und Architektenkammer, Zürich 2010.

Merkblatt SIA 2039: Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort. Schweizer Ingenieur- und Architektenkammer, Zürich 2011.

Merkblatt SIA 2040: SIA-Effizienzpfad Energie. Ausgabe 2011. Schweizer Ingenieur- und Architektenkammer, Zürich 2011.

OI3-Berechnungsleitfaden: OI3-Indikator – Leitfaden zur Berechnung von Ökokennzahlen für Gebäude. Version 3.1. IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Wien 2016.

OIB 6: Erläuternde Bemerkungen zu OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ und zum OIB-Leitfaden „Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“. Ausgabe 2015. Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien 2015.

11.3.3 Datenbanken, Berechnungssoftware

Baubook: Web-Plattform baubook – www.baubook.info; Link auf Richtwerte: <https://www.baubook.info/zentrale> (Registrierung erforderlich); Zugriff am 30.06.2017.

eco2soft: baubook eco2soft – ökobilanz für gebäude. Link: <https://www.baubook.info/eco2soft/> (Registrierung erforderlich); Zugriff am 30.06.2017.

ecoinvent: ecoinvent database. Hrsg. Ecoinvent, Technoparkstraße 1, 8005 Zürich. Link: <http://www.ecoinvent.org/database/database.html>; Zugriff am 30.06.2017.

PHPP: Passivhaus Projektierungspaket. Hrsg. Passivhaus Institut, Rheinstr. 44/46, 64283 Darmstadt. Link: http://www.passiv.de/de/04_phpp/04_phpp.htm; Zugriff am 30.06.2017

11.3.4 Literaturzitate

2000-Watt: Globale Betrachtung. Link: http://www.2000watt.ch/fileadmin/user_upload/2000Watt-Gesellschaft/de/Bilder/2000-Watt-Gesellschaft/Facts_Figures/2000_Watt-globale_Betrachtung_DE_mit_Logo.jpg; Zugriff am 27.07.2016.

APCC: Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. ISBN 978-3-7001-7699-2, Wien September 2014.

Benke G., Leutgöb K., Jandrokovic M., Mandl D., Bayer G., Baumgartner D., Auer M., Mayer B.: Energieverbrauch im Dienstleistungssektor – Kennwerte und Hochrechnung. Österreichischer Klima- und Energiefonds, Wien 2012.

BMLFUW: Fortschrittsbericht nach § 6 Klimaschutzgesetz 2016. BMLFUW, Wien 2016.

bmvit: Österreich unterwegs 2013/2014. bmvit, Wien 2016.

BMWFW und BMLFUW: Grünbuch für eine integrierte Energie- und Klimastrategie. BMWFW und BMLFUW, Wien 2016.

Bruck M., Fellner M.: Externe Kosten im Hochbau, Band III: Externe Kosten: Referenzgebäude und Wärmeerzeugungssysteme. BMWA, Klagenfurt / Wien 2004.

E-Control: Betriebsstatistik 2014. Link: <https://www.e-control.at/statistik/strom/betriebsstatistik/betriebsstatistik2014>; Zugriff am 02.05.2017.

E-Control: Betriebsstatistik 2015. Link: <https://www.e-control.at/statistik/strom/betriebsstatistik/betriebsstatistik2015>; Zugriff am 02.05.2017.

ENTSO-E: Detailed monthly production (in GWh) for a specific country. Link: <https://www.entsoe.eu/db-query/production/monthly-production-for-a-specific-country>; Zugriff am 02.05.2017.

Figl H.: Methoden-Leitfaden „Graue Energie von Gebäuden“. IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Wien 2017.

Herbst S., Prinz T., Butzhammer A., Tomschy R., Schuster M.: UrbanAreaParameters – Teil Alltagsmobilität. Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH – Studio iSPACE und HERRY Consult GmbH, Salzburg / Wien 2017.

HEROES: Häuser für Energie und RessourcenEffiziente Siedlungen – Noch nicht veröffentlichte Ergebnisse (Veröffentlichung voraussichtlich Ende 2017). FFG 845178, Wien 2017.

Hiess, H.: ÖREK-Partnerschaft „Plattform Raumordnung & Verkehr“: Entwicklung eines Umsetzungskonzeptes für österreichweite ÖV-Güteklassen – Abschlussbericht. ÖROK, Wien 2017.

Holzer P., Hammer R., Stuckey D.: Handlungs- und Kommunikationsleitfaden für die Wiener Energieraumplanung. Institute of Building Research & Innovation ZT-GmbH, Wien 2017.

IPCC: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva 2014.

Kellenberger D., Ménard M., Schneider S., Org M., Victor K., Lenel S.: Arealentwicklung für die 2000-Watt-Gesellschaft. Leitfaden und Fallbeispiele. Bundesamt für Energie BFE und Stadt Zürich, Zürich 2012.

Klima- und Energiefonds: Klima und Energie: Wissen kompakt. Klima- und Energiefonds, Wien 2014.

Lüsner H: Ganzheitliche Bilanzierung im Bauwesen. Ganzheitliche Bilanzierung von Ingenieurbauwerken. In: Eyerer P. (Ed.): Ganzheitliche Bilanzierung - Werkzeug zum Planen und Wirtschaften in Kreisläufen. Springer, Berlin 1996.

Mair am Tinkhof O., Strasser H., Rehbogen A.: Richt- und Zielwerte für Siedlungen. SIR – Salzburger Institut für Raumordnung und Wohnen, Salzburg 2017.

Nemry F., Uihlein A.: IMPRO-Building, Environmental Improvement Potentials of Residential Buildings. European Communities, Luxembourg 2008.

Planungsbüro Jud: Provisorischer Richtwerte Energieverbrauch für Mobilität. Planungsbüro Jud, Zürich 2009.

Roßkopf T., Ploß M.: Methodische Grundlagen Gebäudebereich – Betriebsenergie. Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn 2017.

Sölkner P., Hofer I., Koke K., Preininger R., Kröll K., Dolezal F., Spitzbart Ch., Spaun S., Papsch F., Oberhuber A., Karlsson A., Mötzl H., Maydl P., Passer A., Fischer G.: Innovative Gebäudekonzepte im ökologischen und ökonomischen Vergleich über den Lebenszyklus. bmvit, Wien / Linz / Salzburg / Graz 2013.

Stolz P., Frischknecht R.: Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen. treeze Ltd., fair life cycle thinking, Uster 2017. Link: http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Energy/563-Energiesysteme-v1.0.pdf; Zugriff am 02.05.2017.

Statistik Austria: Tabellenband "Wohnen 2015", Kapitel 1 Mikrozensus, Tabelle 6. Statistik Austria, Wien 2015.

Statistik Austria 1: Bildung – Kindertagesheime, Kinderbetreuung 2015/16. Statistik Austria, Wien 2016.

Statistik Austria 2: Bildung – Schulen, Schulbesuche 2015/16. Statistik Austria, Wien 2016.

Statistik Austria 3: Arbeitsmarktstatistiken 2015: Detaillierergebnisse C Erwerbspersonen und D Erwerbstätigkeit, Tabelle C2. Statistik Austria, Wien 2016.

Statistik Austria 4: Urban-Rural-Typologien. Statistik Austria, Wien 2016. Link: https://www.statistik.at/web_de/klassifikationen/regionale_gliederungen/stadt_land/index.html; Zugriff am 02.05.2017

Statistik Austria: Bevölkerung 2015. Statistik Austria, Wien 2017.

Stejskal M., Bußwald P., Ferk H., Supper S., Tappeiner G.: ZERSiedelt – Bilanzierung der Grauen Energie im Wohnbau und zugehöriger Infrastruktur-Erschließung. Klima- und Energiefonds, Wien 2011.

Tomschy R., Schuster M.: UrbanAreaParameters – Input zum Mobilitätsteil. HERRY Consult GmbH, Salzburg / Wien 2017.

Trebut F., Schrattenecker I., Strasser H.: Zertifizierung von Siedlungen. Im Auftrag des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien 2014.

Trebut F., Schrattenecker I., Strasser H., Strauß I., Bischof D.: Potentialanalyse – 2000 Watt Areal. Im Auftrag des bmvit und BMLFUW. FFG-Nummer 853955, Wien 2016.

Umweltbundesamt GmbH 1: Treibhausgase. Link: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/treibhausgase/>; Zugriff am 27.07.2016.

Umweltbundesamt GmbH 2: Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050. Umweltbundesamt GmbH, Wien 2016.

Umweltbundesamt GmbH 3: Klimaschutzbericht 2016. Umweltbundesamt GmbH, Wien 2016.

Wertstoff-Börse GmbH: Graue Energie im Gebäudebestand der Schweiz. Wertstoff-Börse GmbH, Schlieren 2009.

Zelger T., Mötzl H., Scharnhorst A., Waltjen T., Wegerer P., Neusser M., Bednar T.: PH-Sanierungsbauteilkatalog: Zweite Ausbaustufe PH-SanPlus. bmvit, Wien 2008.

Zelger T., Mötzl H., Scharnhorst A., Wurm M.: Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen. IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie GmbH, Wien 2009.