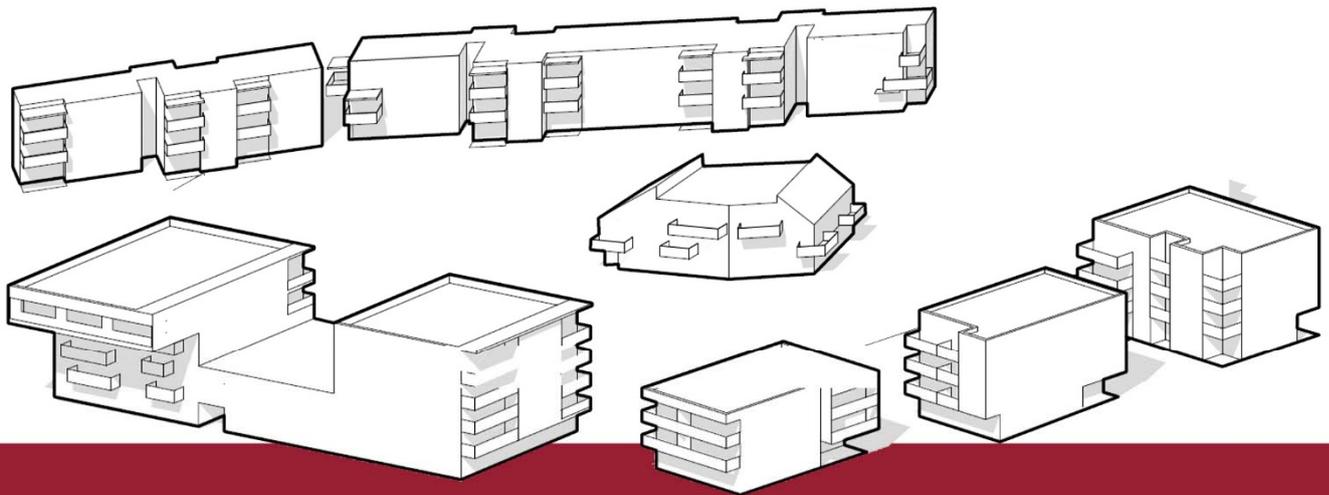


Kostenoptimale Umsetzung von Niedrigstenergiegebäuden im geförderten Wohnbau in Salzburg

Fachhochschule Salzburg

Smart Building
Energieeffiziente Gebäudetechnik und nachhaltiges Bauen



Mag. (FH) Markus Karnutsch

DI Tobias Weiß

FH-Prof. DI DI Dr.techn. Thomas Reiter

Das vorliegende Projekt wurde mit Mitteln der Wohnbauforschung des Landes Salzburg gefördert.



Die Präsentation der Ergebnisse erfolgte im Rahmen des 2. Fachsymposiums „Brennpunkt Alpines Bauen“ am 01. Oktober 2015 an der Fachhochschule Salzburg

Die Projektleitung der Fachhochschule Salzburg bedankt sich bei den Projektpartnern „die-Salzburg“ vertreten durch Baumeisterin DI (FH) Carmen Werner-Schubert und „BAU-Akademie Salzburg“ vertreten durch DI Wolfgang Konrad und Baumeister Arch. DI Gunther Graupner sowie die ARGE Bauphysik für die ausgezeichnete Kooperation.



Kurzfassung

EINLEITUNG

Im Hinblick auf die zunehmende öffentliche Diskussion über die Wirtschaftlichkeit energieeffizienter Mehrfamilienwohngebäude, die Leistbarkeit des Wohnens sowie die Veränderungen in den Kostenstrukturen im Wohnbau durch die zukünftigen Anforderungen der Europäischen Union ab 2020, ist eine umfassende Betrachtung der Primärenergiebilanz sowie der Lebenszykluskosten im geförderten Mehrfamilienhauswohnbau in Salzburg notwendig. Der Realisierung und dem Betrieb von Gebäuden, welche eine hohe Gesamtenergieeffizienz sowie Kostenoptimalität über die gesamte Lebensdauer aufweisen, wird in der nahen Zukunft eine große Bedeutung beigemessen. Als Hauptkostentreiber für erhöhte Mieten werden oft die Mehrkosten von Energiereduktionsmaßnahmen und Mehrkosten der gebäudetechnischen Ausstattung genannt. Breitangelegte Auswertungen von Lebenszykluskosten realer Niedrigstenergiegebäude und vor allem auch für zukünftige Gebäudestandards im geförderten Wohnbau fehlen fast völlig.

Ziel des Projekts war die Untersuchung des kostenoptimalen Niveaus für zukünftige geförderte Wohnungsneubauten vom „Nahe-Nullenergiestandard“ bis hin zum „Aktivhaus“. Als Referenz, welche den Vergleich zum derzeitigen Stand aufzeigen, werden dabei vier realisierte Gebäude in Salzburg herangezogen.

Folgende Fragen wurden im gegenständlichen Projekt betrachtet:

- *Welche energetischen Anforderungen an Wohngebäude bis 2021 werden laut OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes in einem „Nationalen Plan“, der Bautechnikverordnung Energie 2015 des Bundeslandes Salzburgs, sowie der Wohnbauförderungen der österreichischen Bundesländer gefordert?*
- *Welche Maßnahmen und Systemlösungskonzepte führen zu einer effektiven Reduktion der Primärenergiebilanz von Gebäuden bis hin zu „nearly-zero energy“ und „Plusenergie“?*
- *Mit welchen Kosten ist bei derzeit realisierten Wohngebäuden und den zukünftigen Gebäudestandards ab 2020 in der Errichtung und über den gesamten Lebenszyklus zu rechnen? Was sind die Hauptkostentreiber bei einer Betrachtung der Wohngebäude über den gesamten Lebenszyklus?*
- *Welche zukünftigen Forschungs-/Handlungsfelder ergeben sich aus den Erkenntnissen dieses Projektes für die Salzburger Wohnbauforschung?*

ERGEBNISSE

LEBENSZYKLUSBETRACHTUNG

Detaillierte Untersuchungen zu den Lebenszykluskosten werden derzeit vor allem im Büro- und Gewerbebau gemacht. Die vorliegende Studie bringt nun auch fundierte Ergebnisse für den Wohnbau in Salzburg. Die Ergebnisse der Studie können mit folgenden Kernaussagen zusammengefasst werden:

- Der Barwert der Lebenszykluskosten bei einem Betrachtungszeitraum von 89 Jahren beträgt im geförderten Wohnbau bei den Gebäudestandards ab 2020 das Vier- bis Fünffachen der Bauwerkskosten. Für langfristig leistbaren Wohnraum muss daher speziell bei den Folgekosten angesetzt werden. Die einzelnen Gebäudevarianten (die analysierten Gebäude reichen vom derzeitigen Stand der Förderung bis hin zum Aktivhaus, siehe Abbildung 1), unterscheiden sich bei den Lebenszykluskosten aller betrachteten Gebäude um maximal 600 €/m² Wohnnutzfläche. Die Lebenszykluskosten im Betrachtungszeitraum (50 Jahre) reichen von ca. 4.400 – 5.100 € pro m² Wohnnutzfläche. Nach 89 Jahren liegen diese Kosten dann bereits bei ca. 7.650 – 8.250 € pro m² Wohnnutzfläche. Im Vergleich dazu betragen die reinen Bauwerkskosten der Varianten von 1.500 – 1.950€ pro m² Wohnnutzfläche.

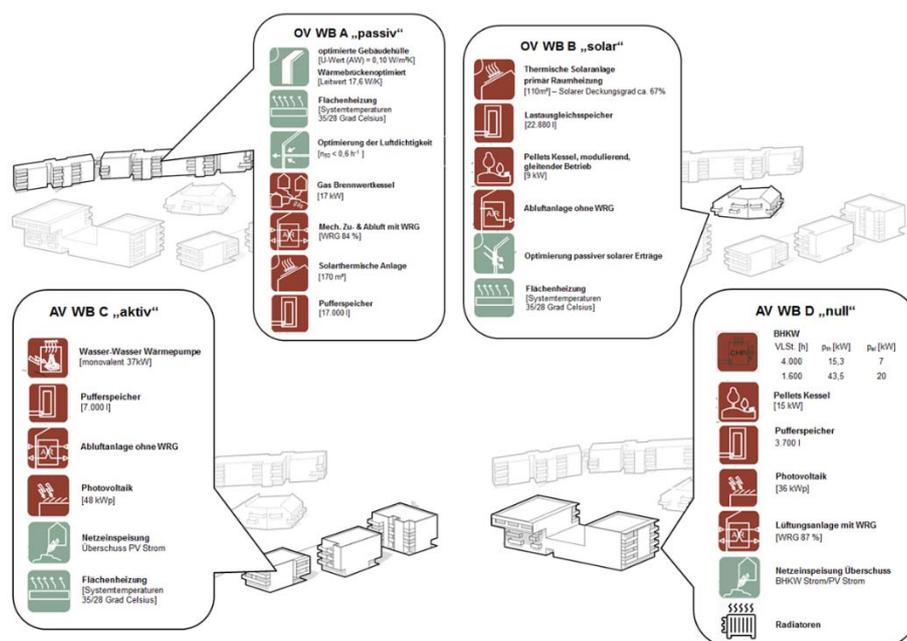


Abbildung 1: untersuchte Varianten (eigene Darstellung)

- Bei derzeitigen Gebäudestandards werden sehr viele Energieeffizienzmaßnahmen durch Baustoffe und technische Systeme mit geringen Lebensdauern von 15-25 Jahren realisiert. Baustandards im mehrgeschossigen Wohnbau ab 2020 können nur dann über den Lebenszyklus zu einer realen Kostenreduktion beitragen, wenn der gestiegene Aufwand für die Wartung und Instandsetzung und Instandhaltung der Gebäudetechnik kostenoptimiert erfolgt und die Lebensdauer des technischen Ausbaus und der wesentlichen Bauteilschichten langlebiger wird.
- Eine „Übertechnisierung“ der Gebäude sollte vermieden werden. Diese kann zu einem nicht unerheblichen Anstieg der Instandhaltungs-, Wartungs- und Instandsetzungskosten führen und damit die Kostenoptimalität eines innovativen Gebäudekonzeptes über den Lebenszyklus in Frage stellen. Eine erhebliche Reduktion der Lebenszykluskosten lässt sich vermutlich nur durch dauerhaftere Konstruktionen und langlebige Haustechnik erreichen und nicht in erster Linie über den energetischen Standard. Der Fokus sollte daher in Zukunft auf langlebige, zugängliche, leicht zu wartende Konstruktion, sowohl konstruktiv (Trennbarkeit von Bauteilen / Schichten) als auch in der Gebäudetechnik liegen.

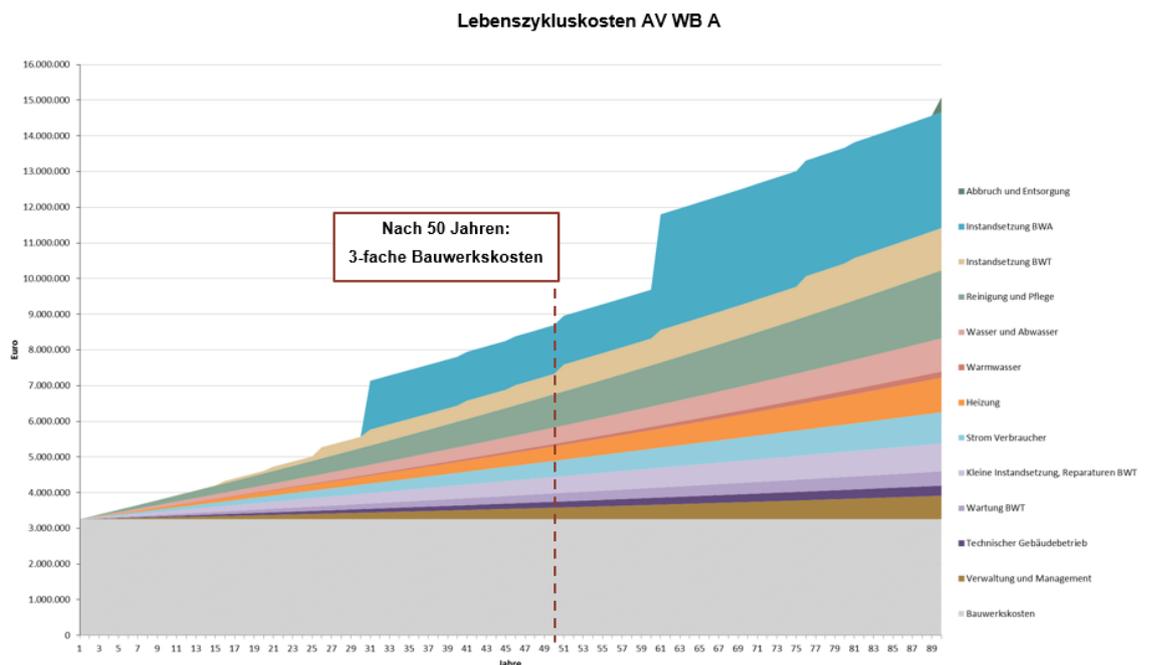


Abbildung 2: Lebenszykluskostenbetrachtung Referenzgebäude (eigene Darstellung)

- Im Hinblick auf die Ziele bis zum Jahr 2020 sind Gebäudeoptimierungen bis hin zum „Nullenergiegebäude“ im Neubau auch aus wirtschaftlicher Sicht langfristig gerechtfertigt und stellen gegenüber den derzeitigen Baustandards die kostenoptimale Variante dar. Im untersuchten Gebäudekonzept „Nullenergie“ wird gegenüber dem derzeitigen Standard neben Energieeffizienzmaßnahmen vor allem in der Gebäudetechnik ein hoher Grad an Eigenbedarfsdeckung mit Wärme und Strom durch erneuerbare Energien vor Ort vorgesehen. Dadurch kann der Primärenergiebedarf als auch der CO₂-Ausstoß drastisch reduziert werden. Darüber hinaus ist diese Variante über den Lebenszyklus kostenoptimal. Ein Standard über das „Nullenergiegebäude“ hinaus bis zum „Aktivhaus“ mit geringeren Eigenbedarfsdeckungen ist jedoch sehr stark von der Entwicklung der Einspeisevergütungen abhängig. Bei einer Vergütungen in der Höhe von 3,225 Cent/kWh (Stand: 3. Quartal 2015) für die Einspeisung von erzeugtem Strom kann eine Kostenoptimalität nicht gewährleistet werden. Nichtsdestotrotz darf die Frage aufgeworfen werden, ob es langfristig zielführend ist, die Aufgabe einer primärenergetisch günstigen sowie weitestgehend CO₂-neutralen Stromversorgung alleine auf Gebäudeebene verwirklichen zu wollen.

WOHNBAUFÖRDERUNG, NATIONALE ANFORDERUNGEN, ENERGIEBILANZ

- Die Mindestanforderungen an den Primärenergiebedarf PEB_{max} und CO₂_{max} laut nationalem Plan bis 2020 werden von allen vier Referenzgebäuden, die den Anforderungen der Salzburger Wohnbauförderung 1990 (Stand 2011) entsprechen, eindeutig unterschritten. Dies weist einerseits auf den bereits sehr guten Niedrigst-Energiestandard der ausgeführten Referenzgebäude hin, andererseits darf die viel diskutierte Frage aufgegriffen werden, ob die Anforderungen nach nationalem Plan betreffend PEB_{max} und CO₂_{max} tatsächlich weit genug gehen um eine Entwicklung hin zu Null- bzw. Plusenergiegebäuden zu forcieren.

Betreffend die Wohnbauförderungen in den österreichischen Bundesländern kann festgehalten werden, dass nur die Bundesländer Salzburg und Vorarlberg Anforderungen an den Primärenergiebedarf sowie die Kohlendioxidemissionen stellen. In den übrigen sieben Bundesländern gelten 2014 die Grenzwerte für geförderte Wohnungsneubauten gemäß der Art. 15a-B-VG-Vereinbarung BGBl. II Nr. 251/2009 2009/45 Abschnitt 2 Art. 3.

Mit den Bestimmungen der Salzburger Wohnbauförderung sendet die Salzburger Landesregierung ein richtungsweisendes Signal für eine Senkung des Primärenergiebedarfs sowie der CO₂-Emissionen. Die Referenzgebäude, welche unter dem S.WFG 1990 (Ausgabe 2011) gefördert wurden, unterschreiten die Anforderungen des Nationalen Plans hinsichtlich PEB_{max} und CO_{2max} deutlich.

Keines der Referenzgebäude (Stand Wohnbauförderung vor 2015) kann die Anforderungen der neuen Salzburger Wohnbauförderung 2015 (vor allem LEKCO₂ aber auch LEKP) einhalten. Dies beweist, dass die Salzburger Landesregierung den ambitionierten Weg zu einem verminderten Primärenergiebedarf und weniger CO₂-Emissionen konsequent fortsetzt.

- Die BTV-Energie 2015 des Bundeslandes Salzburg stellt ambitioniertere Anforderungen an die Gebäude als OIB „Nationaler Plan“.

Der LEKT-Wert kann von allen Referenzgebäuden zu jedem Beobachtungszeitpunkt eingehalten werden. (Transmissionswärmeverluste sind auf Grund der Niedrigstenergie-Gebäudehülle weitgehend reduziert, hier besteht nur ein geringes Optimierungspotenzial. Die Grenzwerte für LEKP können von einem Referenzgebäude bereits ab dem Jahr 2017 nicht eingehalten werden. Auf Grund der fortschreitenden Verschärfung bis 2021 wird die Erreichung der Anforderung auch für die übrigen Referenzgebäude unmöglich.

Die Anforderungen an den LEKCO₂ Wert werden von zwei Referenzgebäuden bereits 2016 deutlich überschritten die beiden anderen Gebäude überschreiten den Grenzwert ab 2019 beziehungsweise 2021.

- Die Analyse der Primärenergiebilanz der vier Gebäudekonzepte unterstreicht die zukünftige Bedeutung des Strombedarfs (Haushaltsstrom und Betriebsstrom), als hauptverantwortliches Kriterium für den Primärenergiebedarf und damit auch für die Kohlendioxidemissionen. Der Haushaltsstrombedarf bei Gebäudestandards ab 2020 verursacht in Summe mit bis zu 60 % den größten Anteil an Primärenergiebedarf und Kohlendioxidemissionen. Es wird deutlich, dass elektrischer Strom bei dem angestrebten Gebäudestandard ab 2020 zu einem entscheidenden Faktor wird, da Transmissionswärmeverluste, Lüftungswärmeverluste etc. bereits sehr weit reduziert sind und die Effizienz der eingesetzten Haustechnik sich noch weiter verbessern wird. Das Nutzerverhalten könnte dabei eine entscheidende Rolle einnehmen. Selbst das effizienteste Wohngebäude wird auch in Zukunft viel Energie in Form von Strom verbrauchen, wenn die Versorgung der Nutzer mit Haushaltsstrom sowie der Betriebsstrom für gebäudetechnische Anlagen nicht effizient gestaltet ist.

AUSBLICK

- Wie lässt sich eine Lebenszykluskostenanalyse in den Bestimmungen der Salzburger Wohnbauförderung verankern?

Die Lebenszykluskostenbetrachtung technisch immer komplexer werdender Gebäudestandards bietet nicht nur für die gemeinnützigen Bauträger ein adäquates Steuerungsinstrument sondern ermöglicht auch eine langfristige Abschätzung zukünftig notwendiger Mittel für die zuständigen Fördergeber sowie für die Verantwortlichen in der betreffenden Gesetzgebung. Der Wechsel von einer reinen Betrachtung der Errichtungskosten hin zur Lebenszykluskostenanalyse wird daher im geförderten Wohnbau als sinnvoll erachtet. Um den Dateninput zu vereinfachen muss die Lebenszykluskostenanalyse ein integraler Teil des Planungsprozesses sein. Ein Nachweis der Durchführung von Lebenszykluskostenanalysen unterschiedlicher Planungsvarianten könnte für die Gewährung von Wohnbauförderungsmitteln als verbindliche Maßnahme angedacht werden.

Die Eingabe der notwendigen Parameter zur Durchführung einer Lebenszykluskostenanalyse ist derzeit jedoch noch sehr aufwendig. Die Entwicklung eines planungsbegleitenden vereinfachten Lebenszykluskosten-Tools mit einer belastbaren Datenbank hinsichtlich der Folgekosten im Wohnbau wäre ein wichtiger weiterer Schritt.

Dafür wäre vor allem auch eine fundierte Datensammlung der Kosten für Wartung und Instandhaltung von gebäudetechnischen Anlagen ist nötig. Derzeit gibt es für diese beiden Folgekosten meist nur theoretische Prozentsätze und wenige real abgerechnete Projekte im Wohnbau in der Literatur.

Das Ergebnis dieser Studie hat gezeigt dass angesparter Rücklagen laut WGG §14(d) Abs. 2 (Stand 2015) hat gezeigt, dass spätestens nach 30 Jahren, der eingehobene Erhaltungs- und Verbesserungsbeitrag nicht mehr ausreicht um die Kosten für die anfallenden Instandsetzungen für Bauwerk-Ausbau und Bauwerk-Technik zu kompensieren. Mögliche Folgen durch diesen „Sanierungsstau“ sind Schäden an der Bausubstanz, ineffiziente Haustechnik und insgesamt eine Wertminderung der Gebäudesubstanz. Eine mögliche Anpassung des gesetzlichen Erhaltungs- und Verbesserungsbeitrags sollte in Abstimmung mit den Ergebnissen von Lebenszykluskostenanalysen erarbeitet werden.

Alle Angaben beziehen sich auf das Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz vor der WGG-Novelle 2015, welche mit 01.01.2016 in Kraft getreten ist (siehe „Ergänzung“ im Abschnitt 5.4). Eine Einarbeitung der Änderungen, welche sich durch diese Novellierung ergeben, ist im Rahmen dieses Projektes nicht vorgesehen, kann aber für zukünftige Projekte angedacht werden.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
1.1.	Problemstellung	4
1.2.	Zielsetzung	5
1.3.	Methodik	5
1.4.	Vorstellung der Referenzgebäude	8
2.	Rahmenbedingungen und Definitionsansatz	11
2.1.	Die EPBD – Richtlinie 2010/31/EU	11
2.2.	Bestehende Definitionsansätze für Null- und Plusenergiegebäude	14
3.	Energetische Anforderungen an Wohngebäude bis 2021	15
3.1.	Mindestanforderungen laut OIB für den Neubau (2014 – 2020)	15
3.2.	Anforderungen an LEK-Werte in Salzburg laut Bautechnikverordnung - Energie 2015	19
3.3.	Wohnbauförderung	25
3.3.1.	Salzburger Wohnbauförderung 2015	26
3.3.2.	Anforderungen an den Heizwärmebedarf in den österreichischen Bundesländern	27
4.	Energetische Bilanzierung innovativer Gebäudekonzepte – Vom Niedrigst- bis zum Aktivhaus. 32	
4.1.	Analyse des Solarpotentials und der Verschattung	33
4.1.1.	Ergebnis Wohnbau A	35
4.1.2.	Ergebnis Wohnbau B	36
4.1.3.	Ergebnis Wohnbau C	37
4.1.4.	Ergebnis Wohnbau D	38
4.2.	Gebäudekonzepte	39
4.2.1.	Optimierte Variante Wohnbau A „passiv“	39
4.2.2.	Optimierte Variante Wohnbau B „solar“	41
4.2.3.	Optimierte Variante Wohnbau C „aktiv“	43
4.2.4.	Optimierte Variante Wohnbau D „null“	45
4.3.	Primärenergetische Bilanzierung der Gebäudekonzepte	47
4.3.1.	OV WB A „passiv“	48
4.3.2.	OV WB B „solar“	50
4.3.3.	OV WB C „aktiv“	52
4.3.4.	OV WB C „null“	54

4.3.5. Nullenergiebilanz	56
5. Lebenszykluskostenanalyse	58
5.1. Grundlagen und Vorgehensweise	58
5.2. Bauwerkskosten der Referenzgebäude	64
5.3. Ermittlung der Kostenoptimalität	66
5.4. Auswirkungen zukünftiger Gebäudestandards auf die Wartungs- und Instandhaltungskosten lt. Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz.....	79
6. Schlussfolgerung	81
7. Ausblick.....	85
Abbildungsverzeichnis.....	88
Tabellenverzeichnis.....	90
Abkürzungsverzeichnis.....	92
Glossar	93
Literaturverzeichnis	94
Anhang	1
Datenblatt AV WB A	2
Datenblatt AV WB B	3
Datenblatt AV WB C	4
Datenblatt AV WB D	5

1. Einleitung

Im Hinblick auf die zunehmende öffentliche Diskussion über die Wirtschaftlichkeit energieeffizienter Mehrfamilienwohngebäude und Veränderungen in den Kostenstrukturen im Wohnbau durch die zukünftigen Anforderungen der Europäischen Union ab 2020, ist eine umfassende Betrachtung der Primärenergiebilanz sowie der Lebenszykluskosten von bereits realisierten sowie zukünftigen Gebäuden im geförderten Mehrfamilienhauswohnbau in Salzburg notwendig. Der Realisierung und dem Betrieb von Gebäuden, welche eine hohe Gesamtenergieeffizienz sowie Kostenoptimalität über die gesamte Lebensdauer aufweisen, wird in der nahen Zukunft eine große Bedeutung beigemessen. Die Haustechniksysteme, die Gebäudehüllqualität sowie erneuerbare Energien spielen dabei eine zentrale Rolle. Die Gebäude bewegen sich in einem komplexen Feld, welches von diesen sich ergänzenden sowie konkurrierenden Komponenten beeinflusst wird. Einerseits ermöglichen innovative Systeme eine Reduktion des Primärenergiebedarfes und damit auch geringere Energiekosten im Betrieb. Ein verringerter CO₂-Ausstoß ist die Folge und bildet damit einen wesentlichen Beitrag um Klimaziele zu erreichen sowie ökologischen und volkswirtschaftlichen Schaden abzuwenden. Andererseits weisen diese Systeme in den meisten Fällen Lebensdauern auf, die circa einem Viertel der Lebensdauer des Gebäudes entspricht, in dem sie verbaut sind. Um einen effizienten Betrieb zu gewährleisten sind Instandsetzungsinvestitionen bei Haustechniksystemen nach 15 - 20 Jahren unabdingbar. Darüber hinaus verursachen viele Systeme während des Betriebs Kosten für Instandhaltung, Wartung, Monitoring und Bedienung.

Folgende Fragen werden im gegenständlichen Projekt betrachtet:

- Welche energetischen Anforderungen an Wohngebäude bis 2021 werden laut OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes in einem „Nationalen Plan“, der Bautechnikverordnung Energie 2015 des Bundeslandes Salzburgs, sowie der Wohnbauförderungen der österreichischen Bundesländer gefordert?
- Welche Maßnahmen und Systemlösungskonzepte führen zu einer drastischen Reduktion der Primärenergiebilanz von Gebäuden bis hin zu „nearly-zero energy“ und „Plusenergie“?
- Mit welchen Kosten ist bei derzeit realisierten Wohngebäuden und den zukünftigen Gebäudestandards ab 2020 in der Errichtung und über den gesamten Lebenszyklus zu rechnen?
- Was sind die Kostentreiber bei einer Betrachtung der Wohngebäude über den gesamten Lebenszyklus?
- Welche zukünftigen Forschungs-/Handlungsfelder ergeben sich aus den Erkenntnissen dieses Projektes für die Salzburger Wohnbauforschung?

1.1. Problemstellung

Die Europäische Union hat sich zum Ziel gesetzt, dass "Nearly Zero Energy Buildings", auf Deutsch "Fast-Nullenergie-Gebäude" ab 2020 im Neubau Standard werden sollen. Die Definition „nearly zero-energy“ gibt in der Novellierung der EPBD „Energy Performance of Buildings Directive“ vom Juni 2010 die Basis für die Umsetzung in den EU-Mitgliedstaaten wieder (Europäische Union, 2010) In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl an Null-Energie-, Null-Emission- oder Plus-Energiegebäuden geplant, am Markt angeboten und auch bereits teilweise umgesetzt. Konzepte für geförderte mehrgeschossige Wohnbauten in Salzburg wurden bisher kaum diskutiert oder ausgeführt.

Die bisherigen Lösungsansätze für energieeffiziente Gebäude – wie z.B. das Passiv- oder das Niedrigstenergiegebäude im Wohnungsbau, fokussieren auf die Reduktion des Energieverbrauches des Gebäudes. Die Bemühungen beruhen größtenteils auf einer Reduktion des Primärenergiebedarfs durch immer höhere Anforderungen an die Gebäudehüllqualität. Doch selbst in einem technologisch ausgereiften Bauwerk wird ein Restbedarf an Energie für Heizung, Kühlung und elektrischer Energie für Endverbrauchsgeräte verbleiben. Um breit umsetzbare, ökonomische Lösungen für zukünftige Gebäudestandards zu erarbeiten, wird der Ansatz verfolgt, dass diese Gebäude einen sehr hohen Anteil des Gesamtenergiebedarfs in der Jahresbilanz über erneuerbare Energieträger decken sollten. Der Ausgleich zwischen Energiebereitstellung und Bedarf kann dabei, je nach Standort, über bestehende Strom- und Wärmenetze oder Lastverschiebungsmaßnahmen und Speichertechnologien erfolgen.

Gleichzeitig mit diesen Überlegungen sind die Kosten des Wohnens in den letzten Jahren schneller gestiegen, als Löhne und Gehälter. Im Vergleichszeitraum 2006 bis 2015 stieg der Tariflohnindex 06, in Abhängigkeit des Sektors und der Beschäftigungsart zwischen 16,9 % und 28 % (Statistik Austria, 2015a), der durchschnittliche Wohnungsaufwand (Miete pro Quadratmeter inklusive Betriebskosten) erhöhte sich im selben Zeitraum im Bundesland Salzburg um ca. 30 % von 6,69 Euro/m² auf 8,68 Euro/m². (Statistik Austria, 2015b) Als Hauptkostentreiber für erhöhte Mieten werden oft die Mehrkosten von Energiereduktionsmaßnahmen und Mehrkosten der gebäudetechnischen Ausstattung genannt. Breitangelegte Auswertungen von Lebenszykluskosten für reale Niedrigstenergiegebäude und vor allem auch für zukünftige Gebäudestandards im geförderten Wohnbau fehlen fast völlig.

1.2. Zielsetzung

Ziel des Projekts ist die Untersuchung des kostenoptimalen Niveaus für zukünftige geförderte Wohnungsneubauten vom „Nahe-Nullenergiestandard“ bis hin zum „Aktivhaus“ in Salzburg. Das Projekt untersucht die kostenoptimalen Wege zwischen Vorgaben der EU-Gebäuderichtlinie EPBD ab 2020 mit Augenmerk auf die anhaltende Diskussion zum Thema „leistbares Wohnen“.

Welche Technologien und gesamtheitlich betrachteten Systeme der Energiebedarfsreduktion und Bereitstellung sind im geförderten Wohnbau bei gleichzeitiger Betrachtung des Kostenoptimums über den Lebenszyklus von 89 Jahren bei unterschiedlichen Gebäudetypen und Standorten zielführend?

Darüber, wie sich Lebenszykluskosten im Detail anteilig auf die einzelnen Lebenszyklusphasen von großvolumigen Wohnbauten aufteilen, finden sich bisher nur wenig belegte Angaben. Im Zusammenhang mit den Lebenszykluskosten von Gebäuden werden dabei vor allem die Themenbereiche Haustechnik, Gebäudehülle sowie die Instandhaltungs- und Sanierungskosten betrachtet, sowie die Kostentreiber identifiziert. Die in der Errichtung und im Betrieb einer Wohnhausanlage entstehenden Kosten und deren Veränderung durch die Verschärfung der Anforderungen an die Energieeffizienz werden im gegenständlichen Projekt qualitativ und quantitativ betrachtet. Die Ergebnisse sollen darüber hinaus zukünftige Forschungs- und Handlungsfelder aufdecken.

1.3. Methodik

Die vorliegende Arbeit gliedert sich inhaltlich in sieben Hauptkapitel. Kapitel 1 führt den Leser in die Thematik ein und erläutert sowohl die Problemstellung als auch die Zielsetzung dieses Projekts. Die Untersuchung wird am Beispiel von geplanten und zum Teil bereits realisierten prototypischen Wohngebäuden am Standort Salzburg, die dem Stand des Salzburger Wohnbauförderungsgesetz S.WFG 1990 in der Fassung LGBl 119/2011 entsprechen, durchgeführt.

Nach der Vorstellung der Referenzgebäude erfolgt in Kapitel 2 eine Beschreibung der rechtlichen Rahmenbedingungen, insbesondere die „EPBD – Richtlinie 2010/31/EU“ sowie deren Implementierung in Österreich. Des Weiteren werden bestehende Definitionsansätze für Null- und Plusenergiegebäude beschrieben.

Kapitel 3 analysiert anhand der Referenzgebäude die energetischen Anforderungen an Wohngebäude bis 2021 laut OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“, der Bautechnikverord-

nung Energie 2015 des Bundeslandes Salzburgs, sowie der Wohnbauförderungen der österreichischen Bundesländer.

In Kapitel 4 folgt eine Analyse des Solarpotentials und der Verschattung der Referenzgebäude. Darüber hinaus wird zum Zwecke der Analyse der Primärenergiebilanz und folgend der Kosteneffektivität für jedes Referenzgebäude eine Variante (Gebäudekonzept) untersucht. Dies soll eine Gegenüberstellung der Referenzgebäude mit zukünftigen Gebäudestandards ermöglichen. Die Gebäudekonzepte unterscheiden sich von den Ausgangsvarianten (siehe Abbildung 1) der Referenzgebäude bezüglich Hüllqualität, Wärmeversorgungs-/Wärmeabgabesystem, Nutzung erneuerbarer Energieträger am Gebäude/Grundstück und der Lüftungsstrategie. Abbildung 3 veranschaulicht diese Optimierungsbereiche.

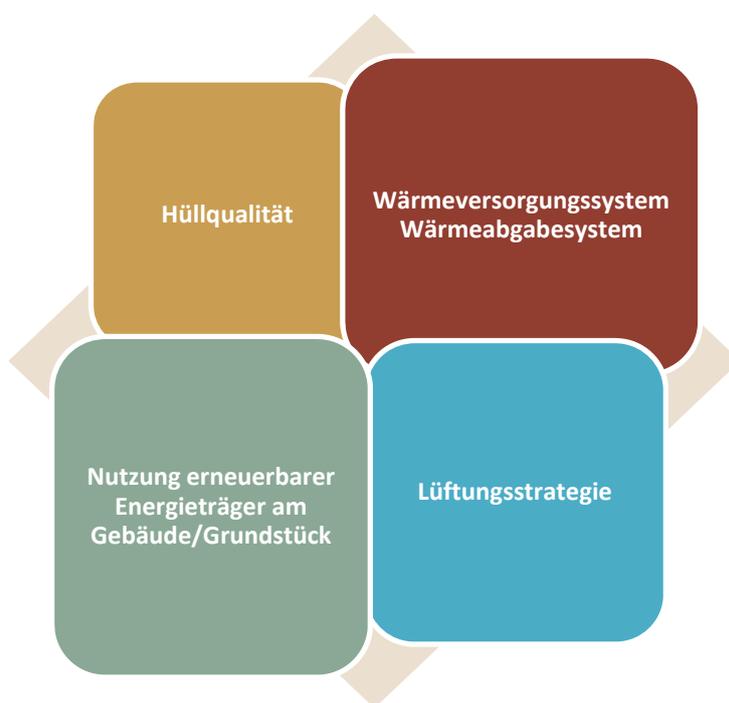


Abbildung 3: Optimierungsbereiche der Gebäudekonzepte (eigene Darstellung)

Die Varianten werden auf Basis der Gewichtung von Primärenergie-Emissionsfaktoren gemäß OIB-Richtlinie 6 – Ausgabe 2011 sowie der Bautechnikverordnung-Energie (BTV-E) StF: LGBl Nr 59/2014 in ihrer Fassung vom 01.04.2015 gegenübergestellt. Der Bilanzierungszeitraum wird bei allen Varianten zwischen Jahr- und Monatsauflösung variiert.

Den Kern des 5. Kapitel bildet die Ermittlung der Lebenszykluskosten. Die realen Kosten der Referenzgebäude (großvolumige energieeffizienten Wohngebäude), welche von „die Salzburg“ zur Verfügung gestellt werden, bilden die Grundlage der Analyse. In Betracht gezogen werden einerseits die tatsächlichen Bauwerks- und Betriebskosten (lt. Abrechnung „dieSalzburg“ und Betriebskostenabrechnungen der Hausverwaltung) und die zu erwartenden kostenrelevanten Auswirkungen durch Anpassungen im Zuge des Nahe-Nullenergiestandards

2020. Recherchiert werden neben den Bauwerkskosten des jeweiligen Referenzgebäudes, Kostendaten zur technischen Gebäudeausstattung mittels „BKI-Objektdaten - Kosten abgerechneter Bauwerke - Technische Anlagen mit statistischen Kostenkennwerten - G3 Technische Gebäudeausrüstung 2012“, die Ver- und Entsorgungskosten (Energieträger, Wasser, Abwasser, Müll) im Bundesland Salzburg, Erträge aus Solar- und Photovoltaik-Anlagen inkl. Einspeisetarife sowie die Nutzungsdauern und die Wartungs- und Instandhaltungskosten laut Richtlinie 2067 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI 2067). Verschiedene finanzielle Parameter, wie beispielsweise die Preissteigerungen für Bau, Technik, Verbrauchspreise, Energieträger, Lohn und Verzinsung werden ebenfalls berücksichtigt. Die Plausibilisierung der Daten erfolgt für die einzelnen Objekte in Kooperation mit „die Salzburg“. Folgend wird eine Kostenoptimalitätsberechnung für Salzburg nach den methodischen Vorgaben der EU (Delegierte Verordnung 244/2012) für unterschiedliche energietechnische Gebäudestandards durchgeführt. Dazu werden die untersuchten Objekte einer Lebenszykluskostenbetrachtung nach der dynamischen Barwertmethode auf Basis der Bauwerkskosten unterzogen. In Kapitel 6 werden die Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Untersuchung zusammenfassend dargelegt und Kapitel 7 liefert einen Ausblick auf zukünftige Handlungsfelder, welche sich aus den Ergebnissen des Projektes ergeben.

Neben den ermittelten Energiebedarfswerten auf Basis der OIB Richtlinie 6 – 2011 werden für diesen Endbericht die Tools in Tabelle 1 eingesetzt:

Name	Kurzbeschreibung
GEQ - Version 2015	Energieausweisberechnungsprogramm
Öko-Tool Solar Heating	Rechenmodell zur Abschätzung des solaren Deckungsgrades von „Sonnenhäusern“
Net ZEB evaluation tool	Bilanzierungsmodell „Null-Energie“
LEKOECOS	kombiniertes ökologisch-ökonomisches Gebäudelebenszyklusmodell
Autodesk Ecotect Analysis 2010	Simulationsprogramm zur Berechnung des Solarpotentials und der Erstellung von Verschattungsanalysen
Microsoft Excel 2013	Tabellenkalkulationsprogramm

Tabelle 1: Übersicht verwendete Tools (eigene Darstellung)

1.4. Vorstellung der Referenzgebäude

Die vorliegenden vier Referenzgebäude aus dem Bundesland Salzburg wurden von der gemeinnützigen Wohn- und Siedlungsgenossenschaft „dieSalzburg“ zur Verfügung gestellt. Die Gebäude entsprechen in ihrer Ausführung den Anforderungen des Salzburger Wohnbauförderungsgesetzes 1990, Stand 2011. Die Auswahl der Gebäude erfolgte auf Grund der Bruttogrundfläche, der Gebäudegeometrie sowie der Energieversorgung. Tabelle 2 bietet eine Übersicht ausgewählter Daten der vier Referenzgebäude und dient darüber hinaus, gemeinsam mit Tabelle 3 (Kurzbezeichnung der Referenzgebäude und der optimierten Varianten), als Orientierungshilfe für diesen Endbericht.

	Chiemgaustr.	Römerweg	Schmiedkreuzstr.	Robinigstr.
Einheiten	27	10	42	55
Wohnnutzfläche [m ²]	1.860	613	2.906	3.381
Ø Wohnnutzfläche/Einheit [m ²]	69	61	69	61
BGF beheizt [m ²]	2.404	832	4.107	4.624
HWB _{SK} [kWh/m ² .a]	36	33	38	14
PEB _{SK} [kWh/m ² .a]	105	104	100	87
CO ₂ Emission _{SK} [kg/m ² .a]	19	11	18	11
Energieträger	Gas Solarthermie	Fernwärme Solarthermie	Gas Solarthermie	Fernwärme Solarthermie

Tabelle 2: Übersicht ausgewählter Daten der Referenzgebäude (eigene Darstellung)

Adresse	Ausgangsvariante	Gebäudekonzept	Akronym	Symbolbild	Foto
Chiemgaustr.	AV WB A	Variante „Passiv“	OV WB A „passiv“		
Römerweg	AV WB B	Variante „Solar“	OV WB B „solar“		
Schmiedkreuzstr.	AV WB C	Variante „Aktiv“	OV WB C „aktiv“		
Robinigstr.	AV WB D	Variante „Nullenergie“	OV WB D „null“		

Tabelle 3: Anonymisierungsschema der Referenzgebäude und der optimierten Varianten(eigene Darstellung)

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der bereitgestellten Informationen, welche zur Bearbeitung des vorliegenden Forschungsberichtes verwendet wurden.

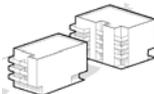
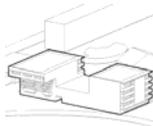
	Chiemgaustr.	Römerweg	Schmiedkreuzstr.	Robinigstr.
	AV WB A	AV WB B	AV WB C	AV WB D
				
Baubeschreibung	✓	✓	✓	✓
Tech. Beschreibung Bauwerk	✓ (vgl. Plan & EA)	✓ (vgl. Plan & EA)	✓ (vgl. EA)	✓ (vgl. EA)
Tech. Beschreibung Gebäudetechnik	✓ (vgl. EA)	✓ (vgl. EA)	✓ (vgl. EA)	✓ (vgl. EA)
Nutzflächenaufstellung	✓	✓	✓	✓
Energieausweis	✓	✓	✓	✓
PLÄNE				
Lageplan	✓	✓	✓	✓
UG	✓	✓	✓	✓
EG	✓	✓	✓	✓
OG1	✓	✓	✓	✓
OG2	✓	-	✓	✓
OG3	-	-	✓	✓
OG4	-	-	-	✓
Schnitte	✓	✓	✓	✓
KOSTEN lt. ÖNORM B 1801-1				
Grund	✓	✓	✓	✗
Aufschließung	✓	✓	✓	✗
Bauwerk Rohbau	✓	✓	✓	✓
Bauwerk Technik	✓	✓	✓	✓
Bauwerk Ausbau	✓	✓	✓	✓
Einrichtung	✓	✓	✗	✗
Außenanlagen	✓	✗	✗	✗
Planungsleistungen	✓	✓	✓	✗
Nebenleistungen	✓	✓	✓	✗
Reserven	✗	✗	✗	✗

Tabelle 4: Übersicht bereitgestellter Informationen (eigene Darstellung)

2. Rahmenbedingungen und Definitionsansatz

Mit der Veröffentlichung der Neufassung der EU Gebäuderichtlinie (EPBD) - Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.10.2010 - werden die einzelnen Mitgliedstaaten verpflichtet Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten festzulegen. Ein kostenoptimales Verhältnis zwischen der zu tätigen Investition und den eingesparten Energiekosten, betrachtet über die geschätzte wirtschaftliche Lebensdauer des Gebäudes, ist anzustreben. (Europäische Union, 2010). Siehe dazu Artikel 2, (14) der Richtlinie 2010/31/EU.

Dieses Kapitel beschreibt die gesetzlichen Rahmenbedingungen und Vorgaben der EU Gebäuderichtlinie sowie deren Implementierung in Österreich durch das OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU vom 28. März 2014. Des Weiteren wird eine Übersicht über bestehende Definitionsansätze für Null- und Plusenergiegebäude zur Verfügung gestellt.

2.1. Die EPBD – Richtlinie 2010/31/EU

Der allgemeine Rahmen für die Methode zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden ist im Anhang I der Richtlinie 2010/31/EU definiert. Für die Berechnung der kostenoptimalen Niveaus von Mindestanforderung an die Gesamtenergieeffizienz von neuen und bestehenden Gebäuden sowie Gebäudekomponenten wird der Rahmen für eine Vergleichsmethode gemäß Anhang III der Richtlinie 2010/31/EU festgelegt.

Die Beschreibung der methodischen Vorgehensweise zur Durchführung der Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz, in Ergänzung zur Richtlinie 2010/31/EU, wurde von der Kommission in der Delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/02 im März 2012 erlassen. Auslegung und Detailierung sind in den Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/02 erörtert.

Vorgaben

Die EU Gebäuderichtlinie verpflichtet die europäischen Mitgliedsstaaten neue Gebäude, die von Behörden als Eigentümer genutzt werden nach dem 31. Dezember 2018 im Niedrigstenergiestandard (nearly zero energy) auszuführen. Alle anderen Gebäude müssen bis 31. Dezember 2020 in diesem Standard ausgeführt werden. Darüber hinaus verpflichten sich die Mitgliedstaaten zur Erstellung nationaler Pläne zur Erhöhung der Zahl der Niedrigstenergiegebäude. (Europäische Union, 2010)

Die Festlegung von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten, die nationale Umsetzung der Vorgaben der EU Gebäuderichtli-

nie und der Delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 sowie die Definition des Standards „Niedrigstenergie“ obliegt den einzelnen Mitgliedsstaaten. Es ergeben sich sehr unterschiedliche Interpretationen des gesetzlich vorgegebenen Rahmens.

Auf jeden Fall sollen die Ergebnisse der nationalen Mindestanforderung an die Gesamtenergieeffizienz nicht mehr als 15 % schlechter liegen, als die Ergebnisse der Berechnungen zum kostenoptimalen Niveau. Die Ergebnisse der Kostenoptimalitätsberechnung können entweder auf Grundlage einer makroökonomischen Betrachtungsweise oder aus einer rein finanziellen Betrachtungsweise errechnet werden. Diese Entscheidung liegt bei den Mitgliedsstaaten. Für die Zwecke der Kostenoptimalitätsberechnung beziehen sich die Ergebnisse für die Gesamtenergieeffizienz auf den Primärenergiebedarf in kWh pro m² Nutzfläche und pro Jahr unter Rücksichtnahme auf nationale, regionale oder lokale Gegebenheiten. Die Primärenergiefaktoren für die Bestimmung des Primärenergieverbrauchs können auf nationalen oder regionalen Durchschnittswerten beruhen und müssen den einschlägigen europäischen Normen entsprechen (Europäische Union, 2012).

Implementierung der EPBD in Österreich

Die Vorgaben der Richtlinie 2010/31/EU werden in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union auf sehr unterschiedlich Art und Weise interpretiert. Die Implementierung der Vorgaben in nationale Vorschriften und Verordnungen erfolgt heterogen und entzieht sich daher eines sinnvollen Vergleichs. In Österreich werden die Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden in dem OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU vom 28. März 2014 festgelegt.

Neben den verpflichtend einzuhaltenden Anforderungen an den Primärenergiebedarf in kWh/m² Bruttogrundfläche und Jahr werden auch Anforderungen an die Kohlendioxidemission in kg/m² Bruttogrundfläche und Jahr gestellt. Sämtliche Anforderungen werden in Österreich durch vier Indikatoren angegeben, welche in Abbildung 5 dargestellt sind:



Abbildung 5: Indikatoren der Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Wohngebäuden
Der Haushaltsstrombedarf für Wohngebäude wird durch Addition zur benötigten Energiemenge für Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung berücksichtigt. Das

Referenzklima wird als Mindestanforderung für die vier Kennzahlen verwendet. Den Ländern steht es allerdings frei, die Anforderungen auf das Standortklima zu beziehen. (OIB, 2014) Tabelle 5 können die Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz für Wohngebäude sowie deren schrittweise Verschärfung in der Zeit von 2014 bis 2020 entnommen werden.

Jahr	HWB _{max} [kWh/m ² .a]	f _{GE, max}	PEB _{max} [kWh/m ² .a]	CO ₂ _{max} [kg/m ² .a]
2014	16 x (1+3,0/l _c)	0,90	190	30
2016	14 x (1+3,0/l _c)	0,85	180	28
2018	12 x (1+3,0/l _c)	0,80	170	26
2020	10 x (1+3,0/l _c)	0,75	160	24

Tabelle 5: Mindestanforderung an die Gesamtenergieeffizienz von Wohngebäuden, 2014 – 2020 (OIB, 2014)

Die Berechnung des bruttogrundflächenbezogenen Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen bezogen auf das Standortklima erfolgt für die Energieträger Erdgas, Biomasse und Strom gemäß OIB Richtlinie 6 – Ausgabe 2011 unter Anwendung der Tabelle 6 angeführten Konversionsfaktoren. Für den Energieträger Fernwärme erfolgt die Berechnung des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen gemäß Punkt 3 c) der Anlage zur Bautechnikverordnung-Energie (BTV-E) StF: LGBl Nr 59/2014 in ihrer Fassung vom 01.04.2015 unter Anwendung der Konversionsfaktoren laut Einzelnachweis nach ÖNORM EN 15316-4-5.

Energieträger	f _{PE} [-]	f _{CO2} [g/kWh]
Erdgas	1,17	236
Biomasse	1,08	4
Strom (Österreich-Mix)	2,62	417
Fernwärme*	1,00	32

Tabelle 6: Konversionsfaktoren für die Berechnung des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen eigene Darstellung nach (OIB, 2011) und * (Salzburger Landesregierung, 2015)

2.2. Bestehende Definitionsansätze für Null- und Plusenergiegebäude

Im Fokus der Entwicklung von Null- und Plusenergiegebäude steht die Substitution des Einsatzes fossiler Energie, die durch die Einspeisung der vor Ort erzeugten, erneuerbaren Energie (z. B. Photovoltaik, Solarthermie, Kraft-Wärme-Kopplung) erreicht werden muss. Man spricht bei dieser Rechnung von einer „theoretischen Nullenergiebilanz“. Diese Bilanz sollte zukünftig im besten Fall über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden berechnet werden (Knotzer A. & Weiss T., 2014). Die langfristige Vision für die Null- und Plusenergiegebäude ist es, die Bilanz solcher Gebäude derart zu optimieren, dass über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden u.a. die treibhausgasrelevanten Emissionen in Summe auf „Null“ reduziert werden können.

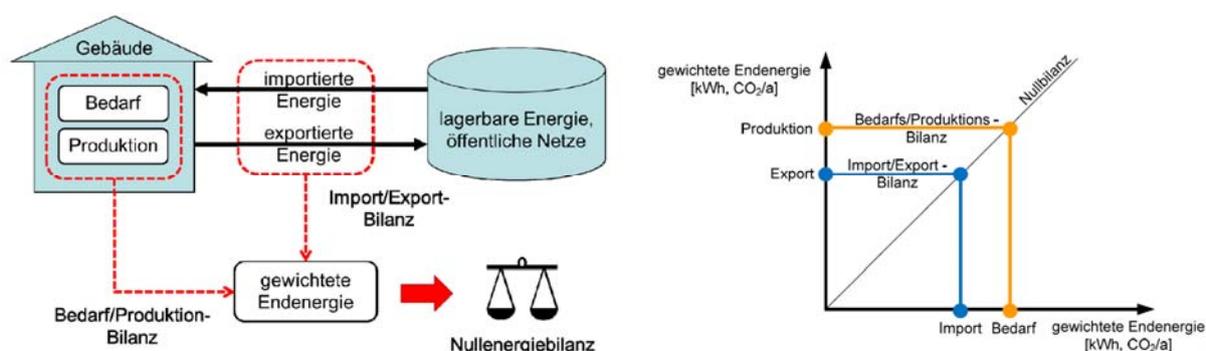


Abbildung 6: Bilanzierungsschema für Null-Energiegebäude (Sartori I., Napolitano A., & Voss K., 2012)

Die Integration solcher Gebäude in Wärme- und Stromnetze und auch die Nutzung von Speichermedien bietet die Möglichkeit Spitzenlasten in Verbrauch oder Produktion auszugleichen. Die Neuorientierung des Gebäudes hin zum intelligenten Energieproduzenten in Wärme- und Stromnetzen berücksichtigt nicht nur die Minimierung von Verlusten und Maximierung möglicher Energiegewinne sowie der aktiven Nutzung erneuerbarer Energien, sondern auch die optimale Einbindung in Wärme- und Stromnetze oder Synergien mit der Nachbarschaft in einem Cluster von Gebäuden, die im Zusammenspiel eine ausgeglichene Bilanz erreichen. Vor allem die Einspeisung der nicht-regelbaren und fluktuierenden erneuerbaren Energien in das kommunale Versorgungsnetz bringt besondere Herausforderungen mit sich. Diese Engpässe könnten zum einen durch die Verwendung von Speichern und zum anderen durch „Lastverschiebungsmaßnahmen“ behoben werden.

3. Energetische Anforderungen an Wohngebäude bis 2021

In diesem Kapitel erfolgt eine Analyse der Referenzgebäude hinsichtlich der energetischen Anforderungen bis 2021. In Abschnitt 3.1 werden die Mindestanforderungen an den Heizwärmebedarf, Primärenergiebedarf und der Kohlendioxidemissionen laut OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU vom 28. März 2014 den Ergebnissen der Referenzgebäude gegenübergestellt und grafisch dargestellt sowie interpretiert. Des Weiteren werden in Abschnitt 3.2 die LEK-Werte (LEK_T , LEK_P , LEK_{CO_2}) der Referenzgebäude mit GEQ Version 2015 auf der Berechnungsgrundlage der OIB 2011 berechnet und mit den Anforderungen an die LEK-Werte laut Bautechnikverordnung Energie des Bundeslandes Salzburg in ihrer Fassung vom 01.04.2015 für die Jahre 2016 bis 2021 verglichen um festzustellen inwiefern der ausgeführte Standard den Anforderungen entspricht. In Abschnitt 3.3 erfolgt eine Gegenüberstellung der energetischen Anforderungen für die Gewährung von Wohnbauförderung in den österreichischen Bundesländern.

3.1. Mindestanforderungen laut OIB für den Neubau (2014 – 2020)

Im Abschnitt 2.1 wurden die Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden laut dem OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU vom 28. März 2014 dargelegt.

In diesem Kapitel wird der ausgeführte Standard der vier Referenzgebäude – AV WB A, AV WB B, AV WB C und AV WB D laut Energieausweis (OIB-Richtlinie 6 - 2011) mit den Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden laut OIB für die Jahre 2014, 2016, 2018 und 2020 verglichen. Dabei beschränkt sich der Vergleich auf die folgenden drei Indikatoren:

- Heizwärmebedarf, HWB_{max} [kWh/m²a]
- Primärenergiebedarf, PEB_{max} [kWh/m²a]
- Kohlendioxidemissionen, $CO_{2,max}$ [kg/m²a]

Nicht betrachtet werden die Indikatoren f_{geemax} und EEB_{max} .

Alle Angaben von prozentuellen Abweichungen werden in der Beschreibung der Ergebnisse auf eine Kommastelle gerundet.

Ergebnis Heizwärmebedarf_{max}

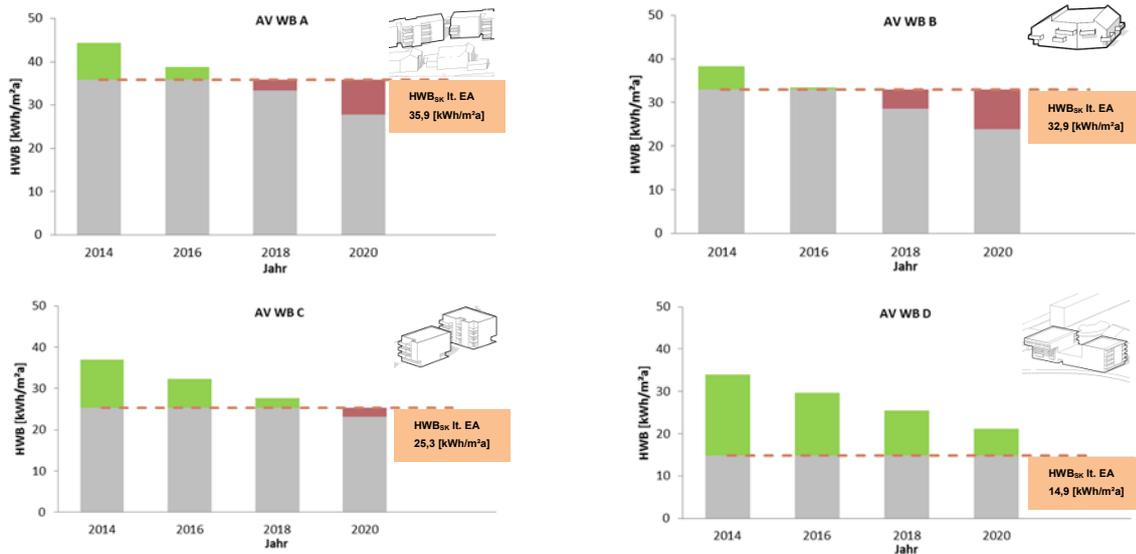


Abbildung 7: Ergebnisse grafisch; HWB_{max} vs. HWB_{SK} (eigene Darstellung)

	HWB _{SK} [kWh/m²a]	HWB _{max} [kWh/m²a]							
		2014	Δ Anford.	2016	Δ Anford.	2018	Δ Anford.	2020	Δ Anford.
AV WB A	35,9	44,4	8,5	38,9	3,0	33,3	-2,6	27,8	-8,1
AV WB B	32,9	38,2	5,3	33,4	0,5	28,7	-4,2	23,9	-9,0
AV WB C	25,3	36,9	11,6	32,3	7,0	27,7	2,4	23,1	-2,2
AV WB D	14,9	33,9	19,0	29,7	14,8	25,4	10,5	21,2	6,3

Tabelle 7: Ergebnisse tabellarisch; HWB_{max} vs. HWB_{SK} (eigene Darstellung)

Die Ergebnisse in Abbildung 7 und Tabelle 7 zeigen, dass die Anforderungen an den maximal zulässigen Heizwärmebedarf HWB_{max} in Abhängigkeit der charakteristischen Länge l_c des betreffenden Gebäudes für die Jahre 2014 und 2016 von allen Referenzgebäuden eingehalten werden kann. Die Anforderungen im Jahr 2018 können nur mehr von AV WB C sowie AV WB D unterschritten werden. AV WB A überschreitet die Anforderungen um ca. 7,8 %, AV WB B liegt bereits ca. 14,6 % über dem geforderten maximalen Heizwärmebedarf. Mit der weiteren Verschärfung der Anforderungen im Jahr 2020 kann nur mehr AV WB D unter HWB_{max} bleiben. Die Bandbreite der Überschreitung der Anforderungen an HWB_{max} liegt bei den Referenzgebäuden AV WB A, AV WB B und AV WB C zwischen 9,5 % und 37,7 %.

Ergebnis Primärenergiebedarf_{max}

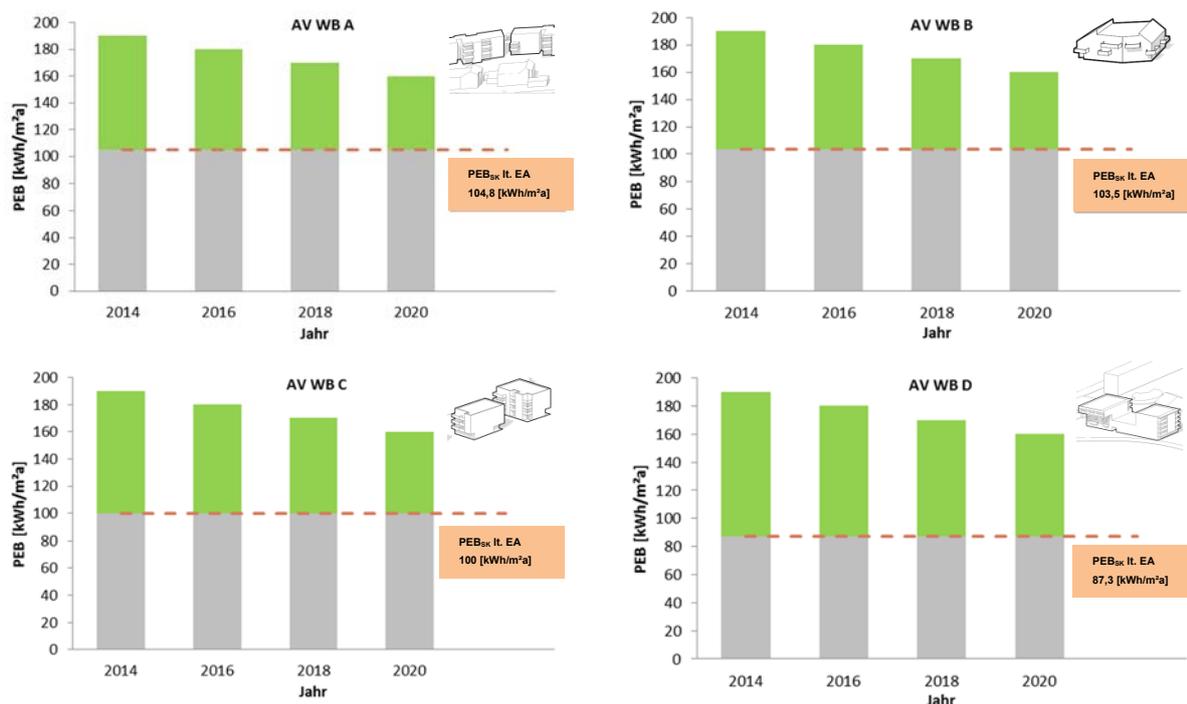


Abbildung 8: Ergebnisse grafisch; PEB_{max} vs. PEB_{SK} (eigene Darstellung)

	PEB _{SK} [kWh/m²a]	PEB _{max} [kWh/m²a]							
		2014	Δ Anford.	2016	Δ Anford.	2018	Δ Anford.	2020	Δ Anford.
AV WB A	104,8	190	85,2	180	75,2	170	65,2	160	55,2
AV WB B	103,5	190	86,5	180	76,5	170	66,5	160	56,5
AV WB C	100,0	190	90,0	180	80,0	170	70,0	160	60,0
AV WB D	87,3	190	102,7	180	92,7	170	82,7	160	72,7

Tabelle 8: Ergebnisse tabellarisch; PEB_{max} vs. PEB_{SK} (eigene Darstellung)

Die Mindestanforderungen an den Primärenergiebedarf PEB_{max} laut nationalem Plan bis 2020 werden von allen vier Referenzgebäuden, die den Anforderungen der Salzburger Wohnbauförderung 1990 entsprechen, eindeutig unterschritten. Der PEB_{SK} liegt im Jahr 2014, je nach Referenzgebäude, zwischen 44,9 % und 54 % unter dem geforderten PEB_{max} . Die Anforderungen für das Jahr 2020 werden immer noch zwischen 34,5 % und 45,4 % unterschritten.

Ergebnis CO₂-Emission_{max}

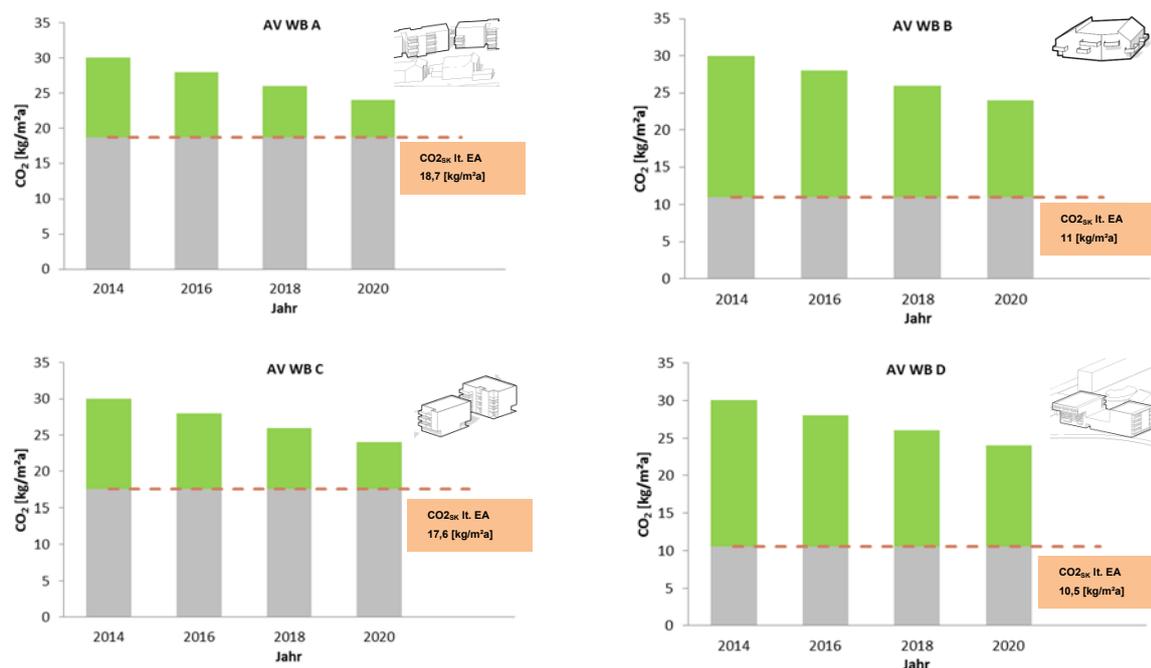


Abbildung 9: Ergebnisse grafisch; CO_{2max} vs. CO_{2SK} (eigene Darstellung)

	CO _{2max} [kg/m ² a]									
	CO _{2SK} [kg/m ² a]	2014	Δ Anford.	2016	Δ Anford.	2018	Δ Anford.	2020	Δ Anford.	
AV WB A	18,7	30	11,3	28	9,3	26	7,3	24	5,3	
AV WB B	11,0	30	19,0	28	17,0	26	15,0	24	13,0	
AV WB C	17,6	30	12,4	28	10,4	26	8,4	24	6,4	
AV WB D	10,5	30	19,5	28	17,5	26	15,5	24	13,5	

Tabelle 9: Ergebnisse tabellarisch; CO_{2max} vs. CO_{2SK} (eigene Darstellung)

Die Ergebnisse für die maximal zulässige Kohlendioxidemission CO_{2max} zeigen ähnliche Ergebnisse, wie für den maximal zulässigen Primärenergiebedarf PEB_{max} . Keines der vier Referenzgebäude überschreitet die Anforderungen zwischen 2014 und 2020. D. h. angenommen man baue in sechs Jahren die exakt selben Referenzgebäude, so wären die Verschärfungen der Anforderungen für diese Referenzgebäude bedeutungslos, da sie den zukünftig geforderten Standard bereits erreichen.

Die Ergebnisse belegen den bereits sehr guten Niedrigst-Energiestandard der ausgeführten Referenzgebäude, welche die Anforderungen an HWB_{max} , PEB_{max} und CO_{2max} weitgehend erfüllen. Es muss jedoch die viel diskutierte Frage aufgegriffen werden, ob die Anforderungen nach nationalem Plan betreffend PEB_{max} und CO_{2max} tatsächlich weit genug gehen (Ploss M., Brunn M., Bachner D., & et al, 2013), um eine Entwicklung hin zu Null- bzw. Plusenergiegebäuden zu forcieren.

3.2. Anforderungen an LEK-Werte in Salzburg laut Bautechnikverordnung - Energie 2015

Die Bautechnikverordnung-Energie (BTV-E) StF: LGBl Nr 59/2014, Verordnung der Salzburger Landesregierung vom 21. August 2014 über energetische Anforderungen an Bauten sowie über Inhalt und Form des Energieausweises stellt in ihrer Fassung vom 01.04.2015 besondere Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Neubauten, wobei die Linien Europäischer Kriterien (LEK-Linien) als charakteristische Größen verwendet werden. Die LEK-Werte für den *Transmissionswärmeverlust* LEK_T , den *Primärenergiebedarf* LEK_P und die *Kohlendioxidemissionen* LEK_{CO_2} werden gemäß der Anlage zur BTV-E 2015 berechnet und dürfen die in Tabelle 10 höchstzulässigen LEK-Linien, in Abhängigkeit der Einbringung des Bauansuchens, nicht überschreiten:

Einbringung des Bauansuchens	höchstzulässige LEK-Linie (HGT _{20/20})		
	LEK _T	LEK _P	LEK _{CO2}
bis 31.12.2016	24	52	62
ab 01.01.2017	24	48	58
ab 01.01.2019	22	44	54
ab 01.01.2021	22	40	50

Tabelle 10: höchstzulässige LEK-Linien (Salzburger Landesregierung, 2015)

Gemäß Punkt 2 Klimalage der Anlage zur BTV-E 2015 wird der Berechnung der LEK-Werte gemäß Punkt 1 der Anlage zur BTV-E 2015 ein Wert von 4.336 Kd (HGT_{20/20}) zugrunde gelegt. Befindet sich das zu berechnende Gebäude in einer abweichenden Klimalage so sind die jeweiligen LEK-Werte gemäß folgender Formel umzurechnen und auf eine Nachkommastelle zu runden:

$$LEK_{Standort} = \frac{LEK_{4.336} \times 4.336}{HGT_{Standort}} \quad \text{Formel 1}$$

Im folgenden Kapiteln werden die schrittweise Verschärfung der Anforderung an LEK_T , LEK_P und LEK_{CO_2} von 2016 bis 2021 beispielhaft anhand der Ausgangsvarianten der Referenzgebäude A-D grafisch gegenübergestellt und erläutert. D. h. es wird angenommen, dass das Bauansuchen für die Referenzgebäude in der Zukunft liegt, um festzustellen ob der ausgeführte Standard den verschärften Anforderungen bis 2021 entspricht. Die Berechnung der höchstzulässigen LEK-Linie (HGT_{20/20}) für den Standort erfolgte im Rahmen dieser Arbeit mit 4.359 Kd gemäß Formel 1. Die LEK-Werte in Tabelle 10 beziehen sich auf 4.336 Kd. Das Delta zwischen 4.359 Kd und 4.336 Kd entspricht einer Abweichung von 0,5 %, was im gegebenen Fall zu einer 0,5%igen Verschärfung der Anforderungen führt. Diese Abweichung ist vernachlässigbar. Daher werden in den folgenden Gegenüberstellungen die Anforderungen laut Tabelle 10 herangezogen.

Anforderungen BTV-E 2015 bis 31.12.2016

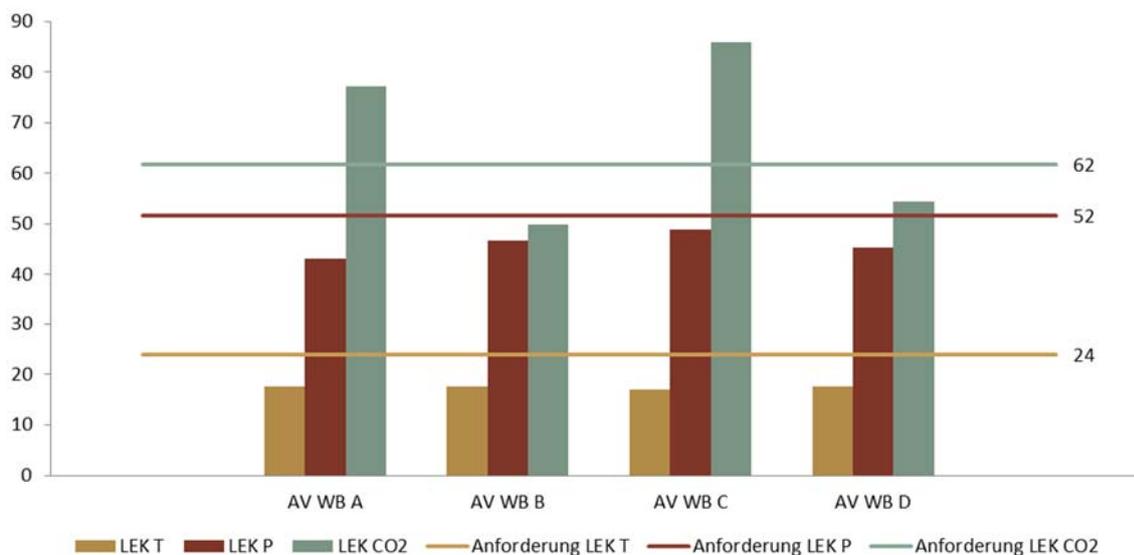


Abbildung 10: Anforderungen BTV-E bis 31.12.2016 vs. LEK_T/LEK_P/LEK_{CO2} IST – Salzburg (eigene Darstellung)

	% Abweichung zur Anforderung		
	LEK _T	LEK _P	LEK _{CO2}
AV WB A	-26,4	-16,4	25,0
AV WB B	-26,2	-9,6	-19,2
AV WB C	-28,3	-5,5	39,3
AV WB D	-26,1	-12,2	-11,9

Tabelle 11: Prozentuelle Abweichung LEK_T/LEK_P/LEK_{CO2} IST zur Anforderung BTV-E bis 31.12.2016 – Salzburg (eigene Darstellung)

Wie Abbildung 10 veranschaulicht, halten die vier Referenzgebäude die Grenzwerte der Anforderungen bis 31.12.2016 an LEK_T und LEK_P ein. AV WB D und AV WB B unterschreiten zudem die Anforderungen an LEK_{CO2} von 62 um 11,9 % beziehungsweise 19,2 %. Im Gegensatz dazu überschreiten die Gebäude AV WB A und AV WB C die Anforderungen an LEK_{CO2} deutlich um 25 % beziehungsweise knapp 40 %.

Anforderungen BTV-E 2015 ab 01.01.2017

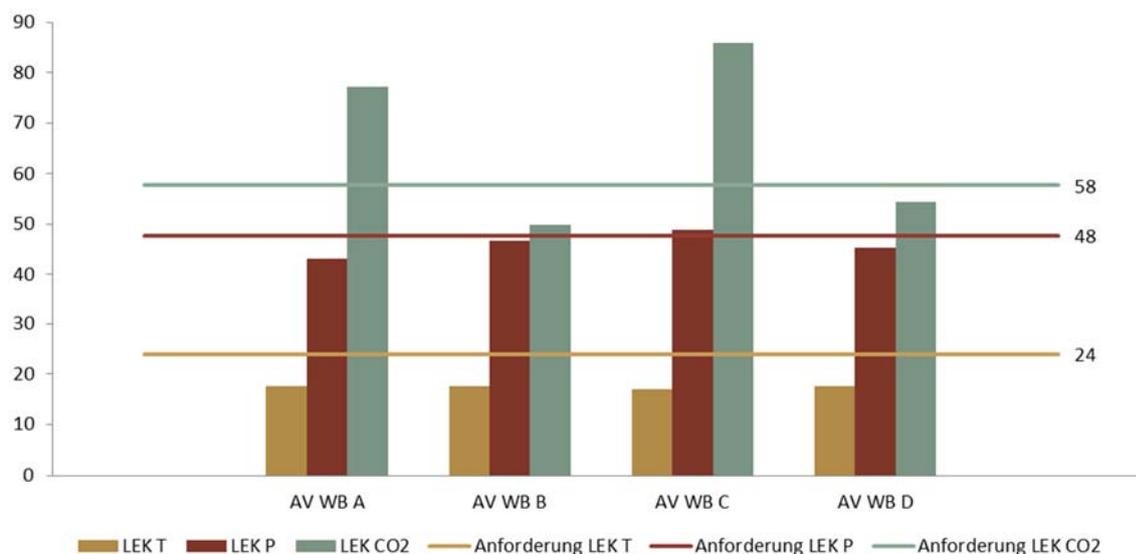


Abbildung 11: Anforderungen BTV-E ab 01.01.2017 vs. LEK_T/LEK_P/LEK_{CO2} IST – Salzburg (eigene Darstellung)

% Abweichung zur Anforderung

	LEK _T	LEK _P	LEK _{CO2}
AV WB A	-26,4	-9,5	33,6
AV WB B	-26,2	-2,1	-13,6
AV WB C	-28,3	2,3	48,9
AV WB D	-26,1	-4,9	-5,8

Tabelle 12: Prozentuelle Abweichung LEK_T/LEK_P/LEK_{CO2} IST zur Anforderung BTV-E ab 01.01.2017 – Salzburg (eigene Darstellung)

In Abbildung 11 ist zu erkennen, dass die Anforderungen an den LEK_T-Wert für Bauansuchen ab dem 01.01.2017 nicht verschärft werden. Das Ergebnis für die Referenzgebäude ist analog zum Ergebnis in Abbildung 10. Die Anforderungen an LEK_P und LEK_{CO2} werden um den Wert 4 auf 48 beziehungsweise 58 verschärft. AV WB A, AV WB B und AV WB D können den Grenzwert für LEK_P noch einhalten. Die Bandbreite der Unterschreitung liegt zwischen 2,1 % und 9,5 %. AV WB C überschreitet bereits die Anforderungen an LEK_P um 2,3 %. Der LEK_{CO2} Wert wird von den Referenzgebäuden AV WB A und AV WB C noch deutlicher, um 33,6 % beziehungsweise knapp 49 %, überschritten. AV WB D unterschreitet den Grenzwert nur mehr um 5,8 %.

Anforderungen BTV-E 2015 ab 01.01.2019

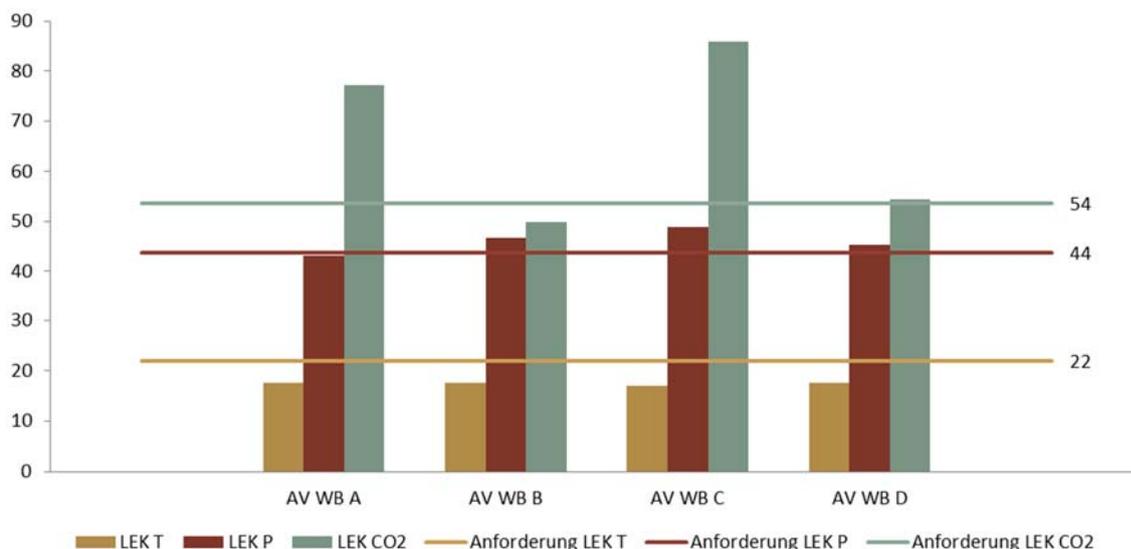


Abbildung 12: Anforderungen BTV-E ab 01.01.2019 vs. LEK_T/LEK_P/LEK_{CO2} IST – Salzburg (eigene Darstellung)

% Abweichung zur Anforderung

	LEK _T	LEK _P	LEK _{CO2}
AV WB A	-19,7	-1,3	43,5
AV WB B	-19,4	6,8	-7,2
AV WB C	-21,8	11,6	59,9
AV WB D	-19,4	3,8	1,2

Tabelle 13: Prozentuelle Abweichung LEK_T/LEK_P/LEK_{CO2} IST zur Anforderung BTV-E ab 01.01.2019 – Salzburg (eigene Darstellung)

Für Bauansuchen ab dem 01.01.2019 erfolgt die erste Verschärfung der Anforderungen an LEK_T um den Wert 2. Der einzuhaltenden Grenzwerte für LEK_P und LEK_{CO2} werden um 4 gesenkt. Als Konsequenz kann nur mehr das Referenzgebäude AV WB A die Anforderungen an LEK_P um lediglich 1,3 % unterschreiten. Die übrigen drei Gebäude überschreiten die Anforderungen zwischen 3,8 % und 11,6 %. Die Verschärfung des Grenzwertes für LEK_{CO2} hat zur Folge, dass nur ein einziges Gebäude, AV WB B, den geforderten Wert um 7,2 % unterschreitet. AV WB A und AV WB C überschreiten die Anforderungen von 54 deutlich, um 43,5 % beziehungsweise knapp 60 %. AV WB D erreicht den Grenzwert um 1,2 % nicht.

Anforderungen BTV-E 2015 ab 01.01.2021

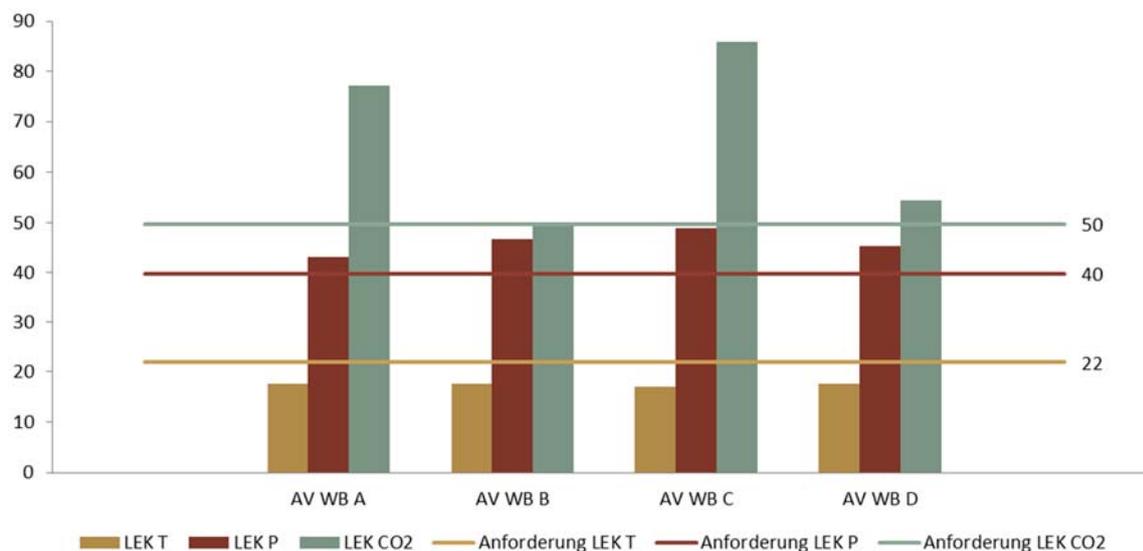


Abbildung 13: Anforderungen BTV-E ab 01.01.2021 – Salzburg (eigene Darstellung)

% Abweichung zur Anforderung

	LEK _T	LEK _P	LEK _{CO2}
AV WB A	-19,7	8,6	55,0
AV WB B	-19,4	17,5	0,2
AV WB C	-21,8	22,8	72,7
AV WB D	-19,4	14,1	9,3

Tabelle 14: Prozentuelle Abweichung LEK_T/LEK_P/LEK_{CO2} IST zur Anforderung BTV-E ab 01.01.2021 – Salzburg (eigene Darstellung)

Ab 01.01.2021 werden die Anforderungen an LEK_P und LEK_{CO2} ein weiteres Mal um den Wert 4 auf 40 beziehungsweise 50 verschärft und sind damit deckungsgleich mit den Anforderungen an die Salzburger Wohnbauförderung gemäß S.WFV 2015, welche am 01.04.2015 in Kraft getreten ist. Die Anforderungen an LEK_T erfahren keine Verschärfung im Vergleich zu Bauansuchen die zwischen dem 01.01.2019 und dem 31.12.2020 gestellt werden. Sie liegen jedoch um den Wert 2 höher als die Anforderungen gemäß S.WFV 2015.

Die Anforderungen an den LEK_T Wert werden von allen Referenzgebäuden um circa 20 % unterschritten. Keines der Referenzgebäude kann die Grenzwerte für LEK_P und LEK_{CO2} einhalten. Die Überschreitungen sind zum Teil sehr deutlich wie Tabelle 14 zu entnehmen ist.

In Tabelle 15 wird eine Gesamtübersicht der Ergebnisse aus den vorangegangenen Gegenüberstellungen zur Verfügung gestellt.

	Anforderungen											
	LEK _T				LEK _P				LEK _{CO₂}			
	16	17	19	21	16	17	19	21	16	17	19	21
Jahr												
AV WB A	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
AV WB B	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein
AV WB C	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
AV WB D	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein

Tabelle 15: Gesamtübersicht Einhaltung der Anforderungen lt. BTV-E an LEK_T/LEK_P/LEK_{CO₂} (eigene Darstellung)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Anforderungen an den *LEK_T* Wert von allen Referenzgebäuden zu jedem Beobachtungszeitpunkt (2016, 2017, 2019, 2021) eingehalten werden können. Dies erlaubt den Rückschluss, dass die Transmissionswärmeverluste auf Grund der Niedrigstenergie-Gebäudehülle weitgehend reduziert sind und hier nur ein geringes Optimierungspotenzial vorhanden ist.

Bei gleicher Ausführung der Referenzgebäude kann der Grenzwerte für *LEK_P* bereits ab dem Jahr 2017 von einem Gebäude (AV WB C) nicht eingehalten werden. Auf Grund der fortschreitenden Verschärfung bis 2021 wird die Erreichung der Anforderung auch für die übrigen Referenzgebäude unmöglich. Die Anforderungen an den *LEK_{CO₂}* Wert werden von zwei Referenzgebäuden (AV WB A und AV WB C) bereits 2016 deutlich überschritten. Bei beiden Gebäuden erfolgt die Wärmeversorgung über den Energieträger Erdgas, unterstützt von einer solarthermischen Anlage. Der CO₂-Konversionsfaktor für Erdgas gemäß OIB RL 6 – Ausgabe 2011 beträgt 0,236 kg/kWh Endenergiebedarf. Die Referenzgebäude AV WB B und AV WB D überschreiten den Grenzwert für *LEK_{CO₂}* erst ab dem Jahr 2021 bzw. 2019. Beide Gebäude werden von Fernwärme versorgt, unterstützt von einer solarthermischen Anlage. Der geringe CO₂-Konversionsfaktor für Fernwärme von 0,032 kg/kWh Endenergie gemäß Punkt 3 c) der Anlage zur BTV-E vom 01.04.2015 laut Einzelnachweis nach ÖNORM EN 15316-4-5 hat hierbei einen maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis.

Auch wenn die eingesetzte Primärenergie und die damit in Verbindung stehenden Kohlendioxidemissionen für die Wärmeversorgung der Gebäude einen großen Einfluss auf das Ergebnis haben, so zeigt sich in der Detailanalyse (siehe Abschnitt 4.3), dass der Haushaltsstrombedarf den größten Anteil an Primärenergiebedarf und Kohlendioxidemissionen verursacht. Der Primärenergiefaktor für Strom gemäß OIB-RL 6 – Ausgabe 2011 beträgt 2,62. Der CO₂-Konversionsfaktor für Strom beträgt 0,417 kg/kWh Endenergie und liegt damit beinahe doppelt so hoch wie jener für Erdgas und mehr als 13 Mal so hoch wie jener für Fernwärme.

3.3. Wohnbauförderung

Das Salzburger Wohnbauförderungsgesetz S.WFG 1990 in der Fassung LGBl 119/2011 wurde am 01. April 2015 vom Salzburger Wohnbauförderungsgesetz S.WFG 2015 abgelöst. Es ist nicht Ziel dieses Kapitels die Unterschiede zwischen dem S.WFG 1990 und dem S.WFG 2015 betreffend die Förderung der Errichtung von Mietwohnungen und Mietkaufwohnungen für gemeinnützige Bauvereinigungen und gewerbliche Bauträger zusammenfassend zu erläutern bzw. zu vergleichen.

Für nähere Informationen bezüglich der Salzburger Wohnbauförderung 2015 verweist der Autor auf folgende Publikationen der Salzburger Landesregierung. Diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit:

- Wohnbauförderungsverordnung 2015 – WFV 2015, kundgemacht am 27.03.2015¹
- Salzburger Wohnbauförderungsverordnung 2015 – S.WFG 2015, kundgemacht am 20.02.2015²
- Weitere Broschüren und rechtliche Grundlagen zur Wohnbauförderung 2015³

Ziel dieses Kapitel ist es, die Anforderungen, verordnet im Sbg.LGBl. Nr.29/2015 Wohnbauförderungsverordnung 2015 in Abschnitt 1, §1, Absatz 1 an LEK_T , LEK_P und LEK_{CO_2} mit den Ergebnissen der Ausgangsvarianten der Wohnbauten A-D zu vergleichen und in weiterer Folge festzustellen, ob der ausgeführte Standard unter den jetzt gültigen gesetzlichen Rahmenbedingungen, förderungsfähig ist. Darüber hinaus erfolgt ein Vergleich des Heizwärmebedarfs (bzw. des Primärenergiebedarfs und der Kohlendioxidemission soweit erforderlich) der vier Objekte in den übrigen acht Bundesländern (BL) mit den jeweils gültigen energetischen Anforderungen für die Gewährung einer Wohnbauförderung.

¹ Verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/LgblAuth/LGBLA_SA_20150327_29/LGBLA_SA_20150327_29.pdfsig

² Verfügbar unter: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/LgblAuth/LGBLA_SA_20150220_23/LGBLA_SA_20150220_23.pdfsig

³ Verfügbar unter <http://www.salzburg.gv.at/wbf-neu-infomaterial>

3.3.1. Salzburger Wohnbauförderung 2015

Für die Ausgangsvarianten der Wohnbauten A-D wurden LEK_T , LEK_P und LEK_{CO_2} mit der Software GEQ Version 2015 berechnet und mit den Anforderungen des S.WFV 2015 grafisch gegenübergestellt. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde als einheitliche Berechnungsgrundlage die OIB Richtlinie 6, Ausgabe Oktober 2011 verwendet.

Tabelle 16 können die Anforderungen an LEK_T , LEK_P und LEK_{CO_2} gemäß S.WFV 2015 entnommen werden.

Anforderung nach S.WFV 2015		
LEK_T	LEK_P	LEK_{CO_2}
20	40	50

Tabelle 16: Anforderungen an LEK_T , LEK_P und LEK_{CO_2} gemäß S.WFV 2015

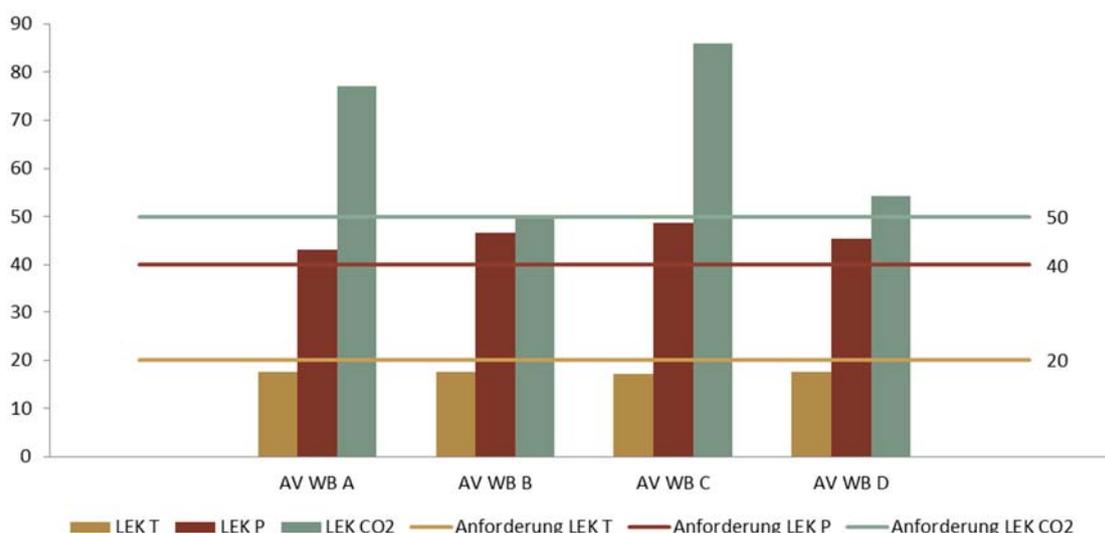


Abbildung 14: Anforderungen lt. §1 S.WFV 2015 (eigene Darstellung)

	% Abweichung zur Anforderung		
	LEK_T	LEK_P	LEK_{CO_2}
AV WB A	-12,2	8,1	54,2
AV WB B	-11,9	16,9	-0,3
AV WB C	-14,4	22,2	71,8
AV WB D	-11,8	13,5	8,7

Tabelle 17: Prozentuelle Abweichung $LEK_T/LEK_P/LEK_{CO_2}$ IST zur Anforderung §1 S.WFV 2015 (eigene Darstellung)

In der grafischen und tabellarischen Darstellung wird ersichtlich, dass die Anforderungen an den LEK_T Wert von keinem der Referenzgebäude überschritten wird. Dies lässt den Rückschluss zu, dass Optimierungen an der Gebäudehülle und eine damit einhergehende Verbesserung der Transmissionswärmeverlust keinen weiteren Einfluss auf eine Förderfähigkeit der Wohngebäude haben. Anders stellt sich die Situation für die Anforderungen an LEK_P und LEK_{CO_2} dar. Hier zeigt sich, dass keines der Gebäude die Anforderungen an eine Wohnbauförderung gemäß S.WFV 2015 erfüllt. Lediglich das Referenzgebäude AV WB B unterschreitet die Anforderungen an den LEK_{CO_2} um 0,3 %. Diese Unterschreitung ist jedoch so gering, dass schon marginale Abweichung bei den Berechnungen zu einem negativen Ergebnis führen würde.

3.3.2. Anforderungen an den Heizwärmebedarf in den österreichischen Bundesländern

In diesem Kapitel werden die Anforderungen an den Heizwärmebedarf als Mindestkriterium zur Gewährung einer Wohnbauförderung im mehrgeschossigen Wohnbau in den österreichischen Bundesländern erhoben. Dabei ist es von Bedeutung, inwieweit die vier Referenzprojekte aus Salzburg bei gleicher Ausführung in den übrigen Bundesländern die Mindestanforderung an den Heizwärmebedarf⁴ und somit die Anforderung auf Gewährung von Wohnbauförderung erfüllen. Die Anforderungen an den zulässigen Heizwärmebedarf $HWB_{BGF,RK}$ pro m^2 konditionierter Brutto-Grundfläche in den Bundesländern Wien, Burgenland, Niederösterreich, Oberösterreich, Steiermark, Kärnten und Tirol dürfen gemäß der Art. 15a-B-VG-Vereinbarung BGBl. II Nr. 251/2009 2009/45 Abschnitt 2 Art. 3 für geförderte Wohnungsneubauten die Grenzwerte in Tabelle 18 in Abhängigkeit des Oberflächen-Volumsverhältnis (A/V-Verhältnis) des Gebäudes nicht überschreiten. Zwischen den Werten ist linear zu interpolieren.

	$HWB_{BGF,RK}$ [kWh/m ² .a]	
	A/V Verhältnis > 0,8	A/V Verhältnis < 0,2
Ab 01.01.2012	36	20

Tabelle 18: Mindestanforderungen für Wärmeschutzstandards (Österreichische Bundesregierung, 2009)

Beim Heizwärmebedarf handelt es sich um denjenigen Wert, der sich bei Anwendung der Berechnungsmethode gemäß OIB-Richtlinie 6 bei einer Heizgradtagzahl von 3.400 Kd/a (Referenzklima) ergibt. (Österreichische Bundesregierung, 2009)

⁴ und den Primärenergiebedarf im Bundesland Vorarlberg

Da sich die Anforderungen in den oben genannten Bundesländern nicht unterscheiden, wird ein exemplarisches Bundesland (Tirol) ausgewählt, um die Ergebnisse grafisch und tabellarisch darzustellen. Die Prozentwerte in der tabellarischen Darstellung sind auf Ganze Stellen gerundet.

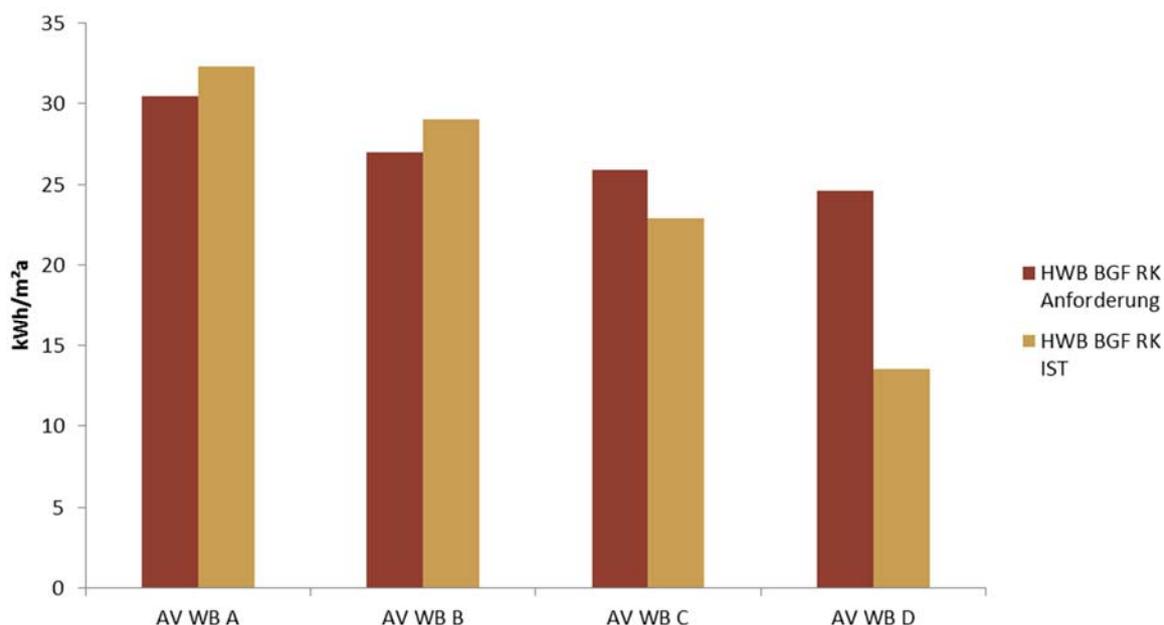


Abbildung 15: HWB_{BGF RK} Anforderung vs. HWB_{BGF RK} IST, BL (eigene Darstellung)

	HWB _{BGF RK} IST	HWB _{BGF RK} Anforderung	A/V	Differenz A/V zu 0,8	% Abweichung zur Anforderung
AV WB A	32,3	30,5	0,59	0,21	6%
AV WB B	29,0	27,0	0,46	0,34	7%
AV WB C	22,9	25,9	0,42	0,38	-12%
AV WB D	13,5	24,6	0,37	0,43	-45%

Tabelle 19: Ergebnisse tabellarisch, HWB_{BGF RK} Anforderung vs. HWB_{BGF RK} IST, BL⁵ (eigene Darstellung)

Die Berechnungen zeigen, dass auf Grund der oben genannten geltenden Bestimmungen in den Bundesländern Wien, Burgenland, Niederösterreich, Oberösterreich, Steiermark, Kärnten und Tirol lediglich zwei der vier Gebäude im Sinne der Wohnbauförderung förderbar wären, da diese die Grenzwerte für geförderte Wohnungsneubauten einhalten. Dabei handelt es sich um die Gebäude AV WB C und AV WB D welche beide einen deutlich niedrigeren HWB_{BGF RK} IST sowie eine höhere Kompaktheit und damit ein niedrigeres AV-Verhältnis aufweisen.

⁵ Wien, Burgenland, Niederösterreich, Oberösterreich, Steiermark, Kärnten und Tirol

Das Bundesland Vorarlberg unterscheidet sich in den Anforderungen an eine Gewährung der Wohnbauförderung von den übrigen Bundesländern. Hier sind Grenzwerte für den Heizwärmebedarf in kWh/m².a, den Primärenergiebedarf in kWh/m².a sowie für CO₂-Emissionen in kg/m².a ohne Einrechnung von Erträgen aus einer Photovoltaikanlage einzuhalten. Die Grenzwerte können Tabelle 20 entnommen werden

Heizwärmebedarf nach der Formel: 14 x (1 + 3,0/l _c) maximal 44,2			Primärenergiebedarf	Kohlendioxidemissionen
A/V = 0,2	A/V = 0,5	A/V ≥ 0,72	PEB	CO ₂
≤ 22,4	≤ 35,0	≤ 44,2	≤ 130	≤ 21
Bei Fernwärme mit einem Anteil erneuerbarer Energie von zumindest 80 %			≤ 145	

Tabelle 20: Grenzwerte HWB, PEB, CO₂ für die WBF in Vorarlberg (Vorarlberger Landesregierung, 2014)

Der Vergleich der Anforderungen an HWB_{BGF RK} mit dem HWB_{BGF RK} IST für das Bundesland Vorarlberg wird in Abbildung 16 und in Tabelle 21 dargestellt.

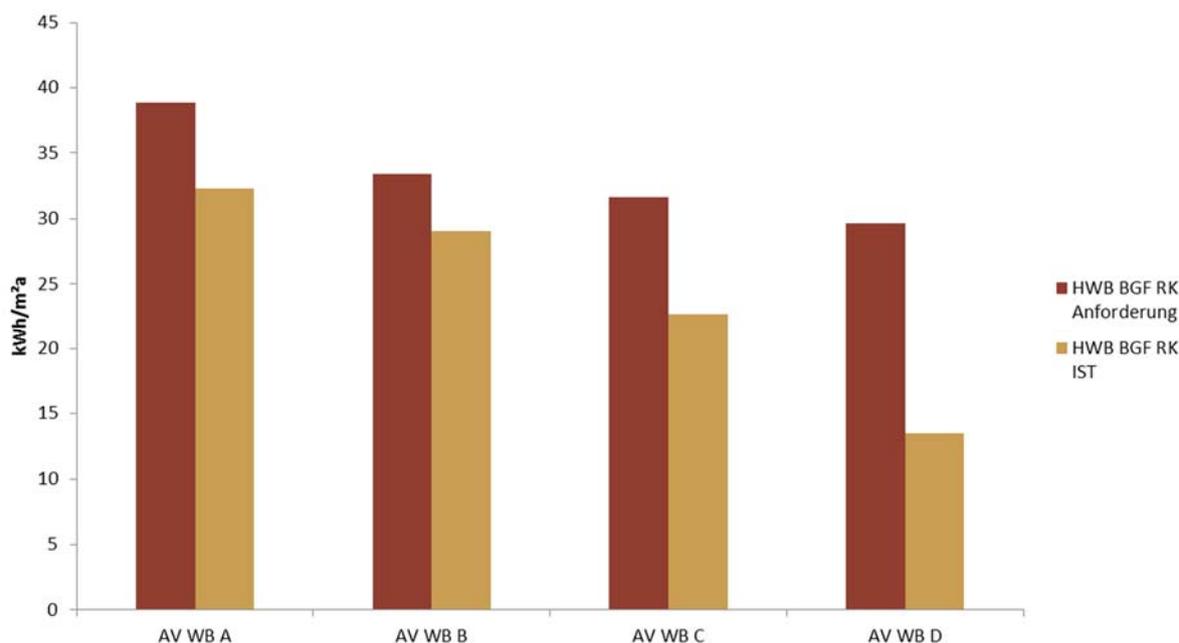


Abbildung 16: HWB_{BGF RK} Anforderung vs. HWB_{BGF RK} IST, Vorarlberg (eigene Darstellung)

	HWB _{BGF RK} IST	HWB _{BGF RK} Anforderung	l _c	% Abweichung zur Anforderung
AV WB A	32,3	38,9	1,69	-17 %
AV WB B	29,0	33,4	2,16	-13 %
AV WB C	22,7	31,7	2,27	-28 %
AV WB D	13,5	29,7	2,68	-55 %

Tabelle 21: Ergebnisse tabellarisch, HWB_{BGF RK} Anforderung vs. HWB_{BGF RK} IST, Vorarlberg (eigene Darstellung)

Die Gegenüberstellung der Anforderungen an den Primärenergiebedarf mit dem errechneten Primärenergiebedarf sowie die Anforderungen an die Kohlendioxidemission mit den errechneten Kohlendioxidemissionen der Referenzgebäude erfolgt grafisch in Abbildung 17 und tabellarisch Tabelle 22.

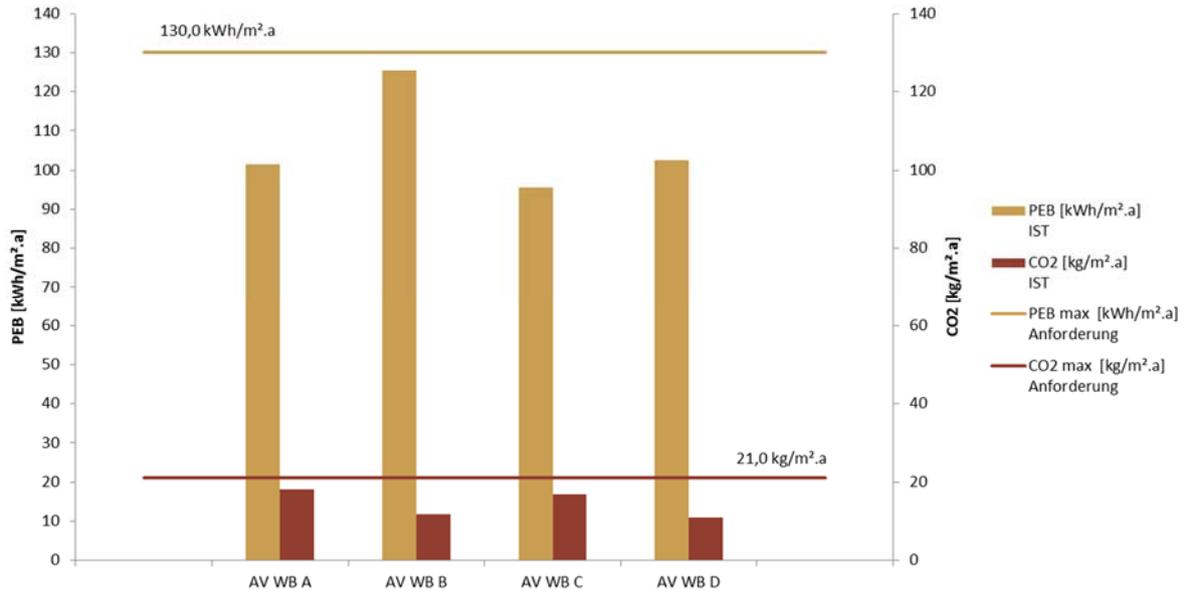


Abbildung 17: PEB Anforderung vs. PEB IST, CO₂ Anforderung vs. CO₂ IST, Vorarlberg (eigene Darstellung)

	PEB IST	PEB Anforderung	% Abweichung zu Anforderung	CO ₂ IST	CO ₂ Anforderung	% Abweichung zur Anforderung
AV WB A	101,5	130	-22 %	18,0	21	-14 %
AV WB B	125,3	130	-4 %	11,7	21	-44 %
AV WB C	95,6	130	-27 %	16,7	21	-20 %
AV WB D	102,5	130	-21 %	11,0	21	-48 %

Tabelle 22: Ergebnisse tabellarisch, PEB Anforderung vs. PEB IST, CO₂ Anforderung vs. CO₂ IST, Vorarlberg (eigene Darstellung)

Auf Grund der abweichenden Anforderungen im Bundesland Vorarlberg ergibt sich ein von den anderen acht Bundesländern unterschiedliches Ergebnis. Die Berechnungen zeigen, dass die Anforderungen an HWB_{BGF RK} von allen Referenzgebäuden deutlich unterschritten werden. Der HWB_{BGF RK} IST liegt je nach Referenzgebäude zwischen 13 % und 55 % besser als der maximal erlaubte Wert. Das Erreichen der Anforderungen an den Primärenergiebedarf sowie an die Kohlendioxidemissionen ist mit dem ausgeführten Niedrigst-Energiestandard der Referenzgebäude ebenfalls möglich. Damit sind die betrachteten vier Gebäude in Vorarlberg förderwürdig.

Es kann festgehalten werden, dass nur die Bundesländer Salzburg und Vorarlberg Anforderungen an den Primärenergiebedarf sowie die Kohlendioxidemissionen stellen. In den übrigen sieben Bundesländern gelten die Grenzwerte für geförderte Wohnungsneubauten gemäß der Art. 15a-B-VG-Vereinbarung BGBl. II Nr. 251/2009 2009/45 Abschnitt 2 Art. 3.

Tabelle 23 stellt die Wohnbauförderungsfähigkeit in Abhängigkeit der geltenden Bestimmungen für die Referenzgebäude übersichtlich dar.

	AV WB A	AV WB B	AV WB C	AV WB D
S.WFV 2015	Nein	Nein	Nein	Nein
Art. 15a Vereinbarung	Nein	Nein	Ja	Ja
Neubauförderungsrichtlinie 2015, Land Vorarlberg	Ja	Ja	Ja	Ja

Tabelle 23: Wohnbauförderungswürdigkeit der Referenzgebäude in Abhängigkeit der geltenden Bestimmungen (eigene Darstellung)

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mit den Bestimmungen der Salzburger Wohnbauförderung ein richtungsweisendes Signal für eine Senkung des Primärenergiebedarfs sowie der CO₂-Emissionen gesetzt wurde. Die Referenzgebäude, welche unter dem S.WFG 1990 (Ausgabe 2011) gefördert wurden, unterschreiten die Anforderungen des Nationalen Plans hinsichtlich PEB_{max} und CO_{2max} deutlich.

Der LEK_T Wert und damit der Transmissionswärmeverlust der Gebäude ist hierbei von untergeordneter Bedeutung, was darauf schließen lässt, dass die Gebäude über eine ausreichend gute Hülle mit U-Werten im Niedrigst-Energiebereich ausgestattet sind. Dies bestätigt die Analyse der Energieausweise. Lediglich im Bereich des Daches, der Fenster und der untersten Geschoßdecke besteht ein geringfügiges Optimierungspotenzial.

Wesentlich kritischer zu betrachten sind die Nichteinhaltung der Grenzwerte für LEK_P und LEK_{CO₂}. Beide werden maßgeblich durch die Art der Energiebereitstellung für Wärme und Strom sowie den dazugehörigen Konversionsfaktoren gemäß OIB Richtlinie 6 – Ausgabe 2011 sowie der Bautechnikverordnung Energie 2015 bestimmt.

4. Energetische Bilanzierung innovativer Gebäudekonzepte – Vom Niedrigst- bis zum Aktivhaus

Bei neuen Bauvorhaben werden zunehmend innovative Haustechnikkonzepte getestet. In diesem Kapitel werden die Auswirkungen von unterschiedlichen Kombinationen haustechnischer Komponenten zur Versorgung der Referenzgebäude mit thermischer und elektrischer Energie im Hinblick auf die Primärenergiebilanz untersucht. Wie aus den Energieausweisen und den Ergebnissen in Kapitel 3 ersichtlich, weisen die Referenzgebäude eine Niedrigstenergie-Gebäudehülle mit geringem Transmissionswärmeverlust auf. Eine weitere wesentliche Optimierung in diesem Bereich ist unter Aufwendung zusätzlicher Kosten möglich und wird nur für eines der folgenden Gebäudekonzepte angedacht. Für die Anforderungen an den LEK_T Wert beziehungsweise für die Erreichung der Grenzwerte zur Gewährung der Salzburger Wohnbauförderung spielt dieser Aspekt jedoch keine Rolle. In Zusammenhang mit den Mindestanforderungen an den Heizwärmebedarf laut OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ ab 2018 beziehungsweise ab 2020 ist eine Optimierung erstrebenswert. Eine Verbesserung der U-Werte der Gebäudehülle stellt eine Möglichkeit dar. Eine andere Möglichkeit ist die Verringerung der Lüftungswärmeverluste durch den Einsatz von Haustechnik.

Die Durchführung einer Solar- sowie einer Verschattungsanalyse der Referenzgebäude bildet die Grundlage für die Abschätzung des vorhandenen Potentials zur Nutzung der kostenlosen und unbegrenzten Energie der Sonne zur Energieumwandlung. Abschnitt 4.1 beschreibt die Randbedingungen sowie die Ergebnisse der Analyse und stellt sie grafisch dar. Abschnitt 4.2 stellt die Gebäudekonzepte vor, welche für die Referenzgebäude entwickelt wurden. Durch die Anlehnung an bereits bekannte, aber nicht allgemein gültig definierte Konzepte⁶, z. B. „Aktivhaus“ oder „Nullenergiehaus“ wird der Ansatz verfolgt, der Bandbreite der möglichen Kombinationen der Haustechnik gerecht zu werden.

Darauf aufbauend erfolgt in Abschnitt 4.3 eine monatliche primärenergetische Bilanzierung des Energiebedarfs in kWh/m² BGF der Gebäudekonzepte. Der monatliche Deckungsanteils des spezifischen Primärenergiebedarfs durch Primärenergiegutschrift⁷ wird ebenfalls betrachtet. Eine Gegenüberstellung mit den Referenzgebäuden soll die Auswirkungen verdeutlichen. Abschließend erfolgt die Eintragung der Referenzgebäude und der Gebäudekonzepte in einer Nullenergiebilanz.

⁶ Eine Ausnahme bildet hierbei das „Passivhaus“.

⁷ Gutschriften aus PV-Ertrag und elektrische Energie der KWK-Anlage die vor Ort erzeugt wird.

4.1. Analyse des Solarpotentials und der Verschattung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Analyse des Solarpotentials und der Verschattung grafisch dargestellt und interpretiert. Die Berechnungen werden mit der Software „Ecotect Analysis 2010“ durchgeführt und der Klimadatensatz für Salzburg verwendet. Die Solaranalyse zeigt die gesamte kumulative Solarstrahlung, die zwischen dem 01. Jänner und 31. Dezember in der Uhrzeit zwischen 04:00 Uhr und 22:00 Uhr auf das betreffende Objekt auftrifft.

Die Grafiken der Analyse der Verschattung stellen den Schattenverlauf an bestimmten Tagen (21. März; 21. Juni; 21. Dezember) in der Uhrzeit zwischen 04.00 Uhr und 22:00 Uhr dar. Aus den Ergebnissen der Solaranalyse mit „Ecotect Analysis 2010“ werden potentielle Solarflächen für die Referenzgebäude abgeleitet. Der Anteil der Fensterflächen in der Fassade zwischen 12 % und 22,5 % wird berücksichtigt. Die verfügbaren Fassaden- und Balkonflächen werden dabei ebenso in Betracht gezogen wie die Dachfläche. Die Grundrisse und Ansichtspläne der Referenzgebäude werden zur Beurteilung der potentiellen Flächen als Hilfestellung verwendet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die energieumwandelnden Systeme gebäude- bzw. dachintegriert ausgeführt werden. Eine Reduktion der Dachfläche um 30 % wird angenommen. Für die Auswertung werden nur jene Flächen in Betracht gezogen, welche eine kumulative Solarstrahlung von größer gleich 850 kWh/m².a aufweisen.

Die Ergebnisse zeigen ein beträchtliches Potential für die Nutzung der Solarenergie an und auf den Referenzgebäuden. Das Verhältnis zwischen der potentiellen Solarfläche und der Wohnnutzfläche der Referenzgebäude liegt zwischen minimal 0,30 m²/m² und maximal 0,47 m²/m². Installiert an allen potentiell verfügbaren Flächen eine monokristalline PV-Anlage und berücksichtigt dabei einen Modulwirkungsgrad der Anlage von 15,7 %, einen Verschmutzungsgrad der Anlage von 10 % sowie einen Abminderungsgrad von 10 % aufgrund des Wechselrichters, so befindet sich der Q_{PV} in kWh/m² Wohnnutzfläche und Jahr in einer Bandbreite zwischen minimal 41 kWh/m².a und maximal 64 kWh/m².a.

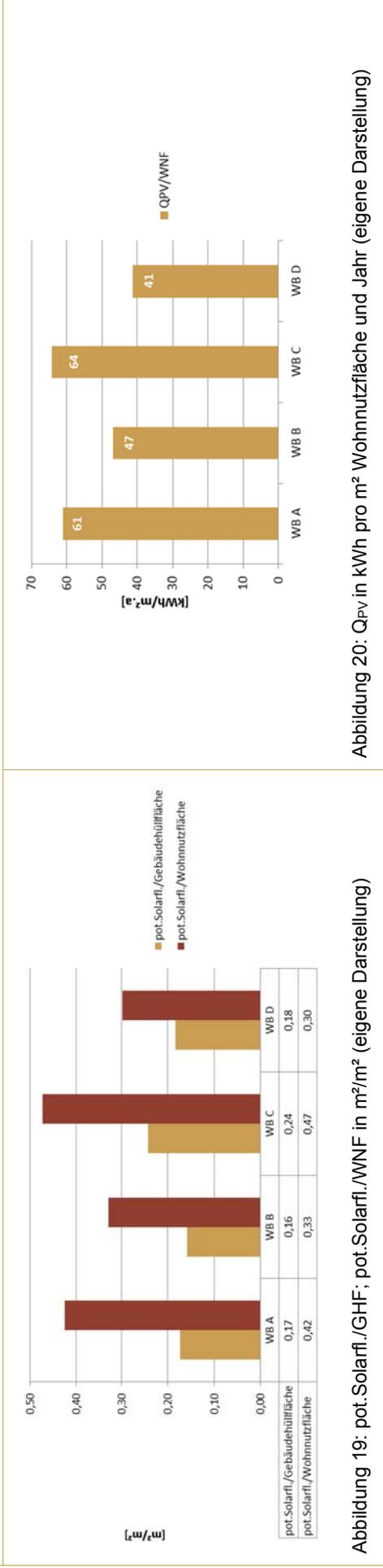
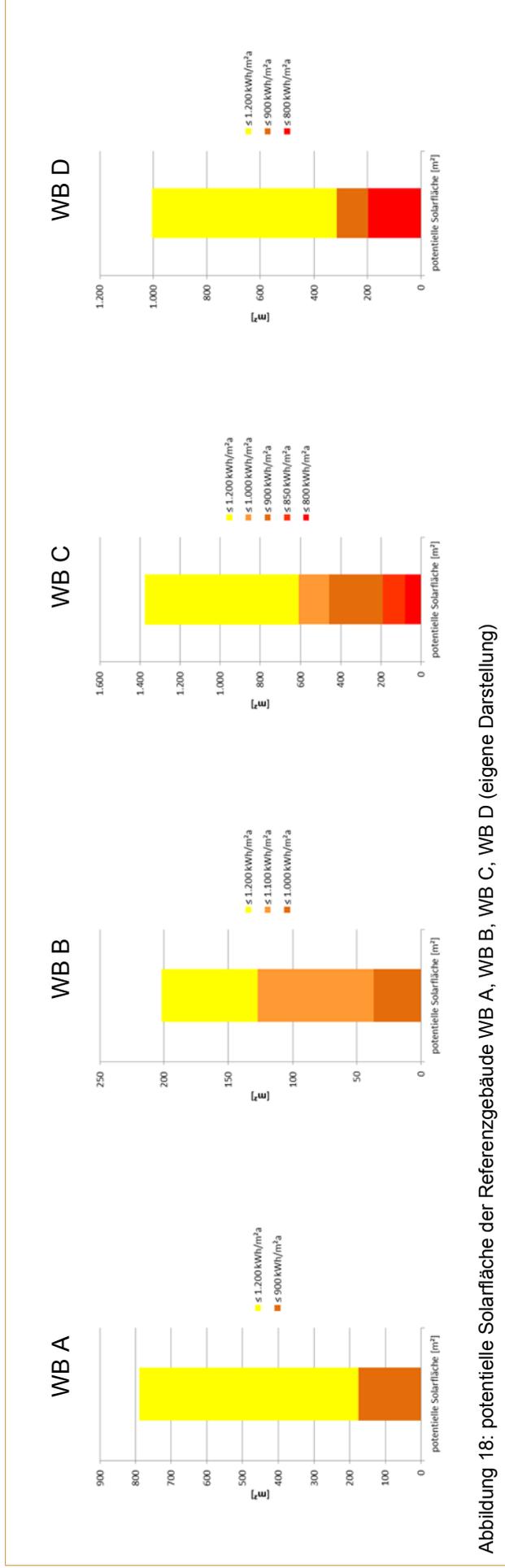


Abbildung 20: Q_{pV} in kWh pro m² Wohnnutzfläche und Jahr (eigene Darstellung)

4.1.1. Ergebnis Wohnbau A

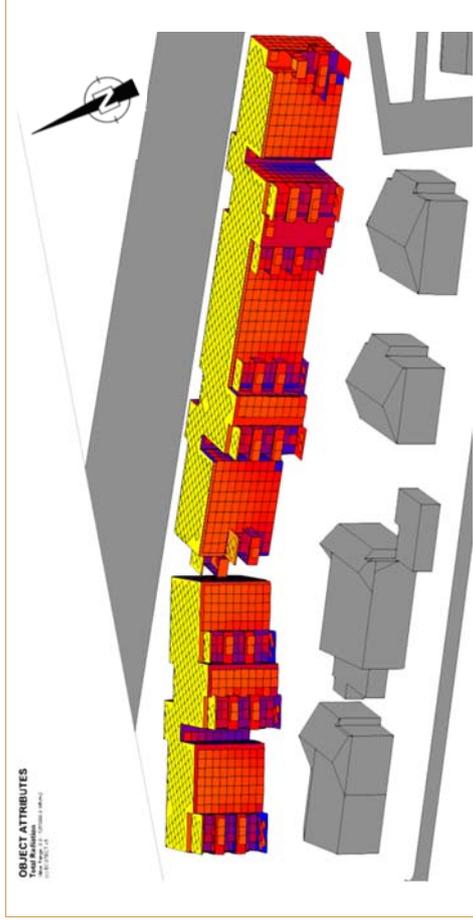
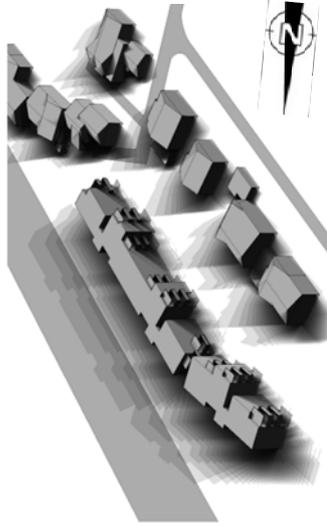


Abbildung 21: Solarstrahlung in kWh/m²·a WB A – Ansicht SW (eigene Darstellung)

21. März



21. Juni



21. Dezember

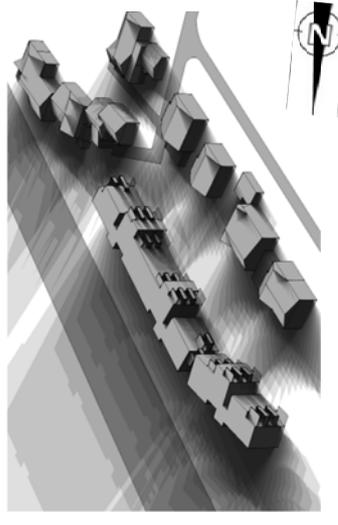


Abbildung 22: Solarstrahlung in kWh/m²·a WB A – Ansicht NO (eigene Darstellung)

Abbildung 23: Schattenverlaufsdarstellung WB A (eigene Darstellung)

4.1.2. Ergebnis Wohnbau B



Abbildung 24: Solarstrahlung in kWh/m².a WB B – Ansicht SW (eigene Darstellung)

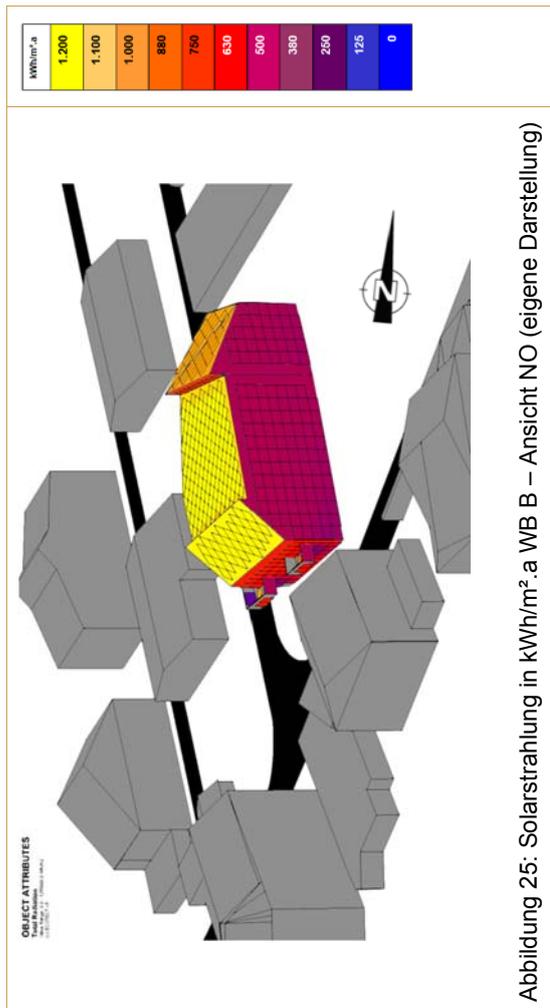


Abbildung 25: Solarstrahlung in kWh/m².a WB B – Ansicht NO (eigene Darstellung)

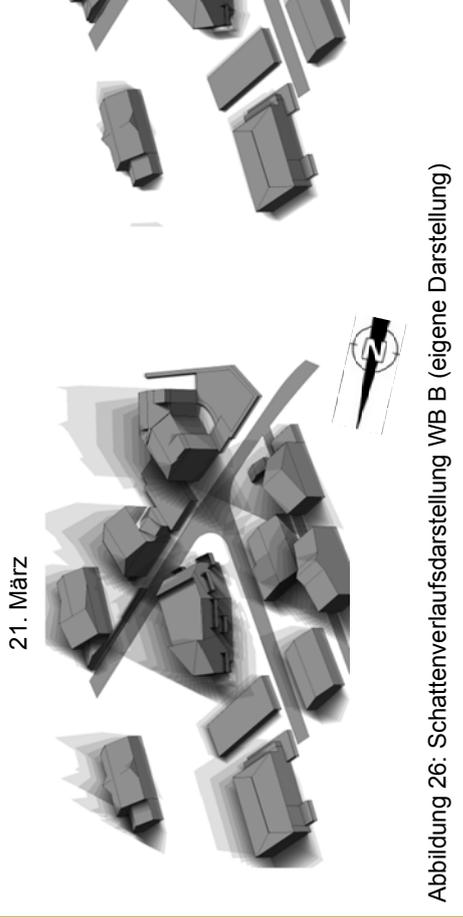


Abbildung 26: Schattenverlaufsdarstellung WB B (eigene Darstellung)

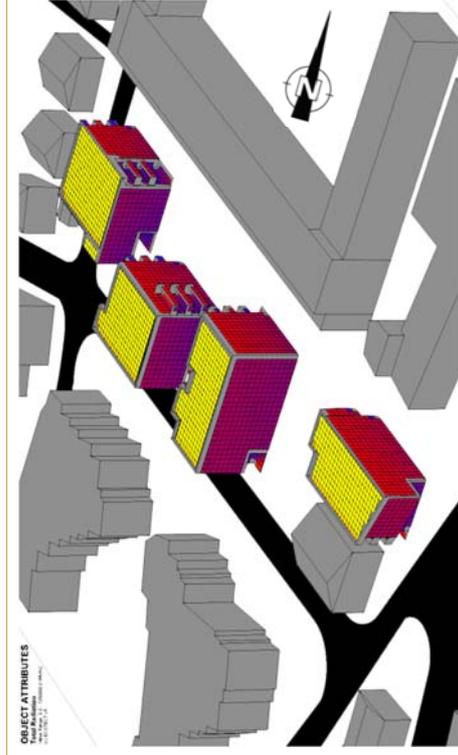


21. Dezember

4.1.3. Ergebnis Wohnbau C



OBJECT ATTRIBUTES
The City of Salzburg
© 2012

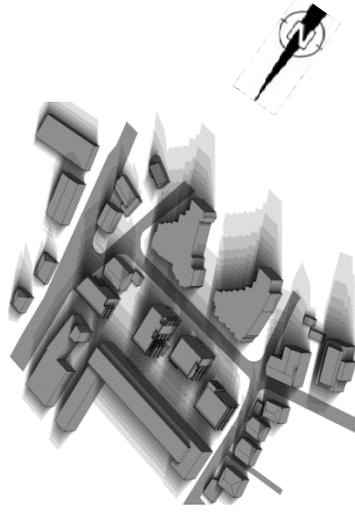


kWh/m².a
1.200
1.100
1.000
880
750
630
500
380
250
125
0

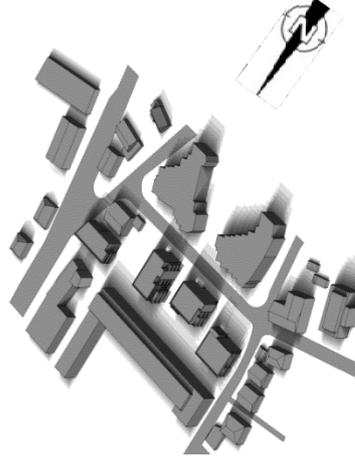
Abbildung 27 Solarstrahlung in kWh/m².a WB C – Ansicht SW (eigene Darstellung)

Abbildung 28: Solarstrahlung in kWh/m².a WB C – Ansicht NO (eigene Darstellung)

21. März



21. Juni



21. Dezember

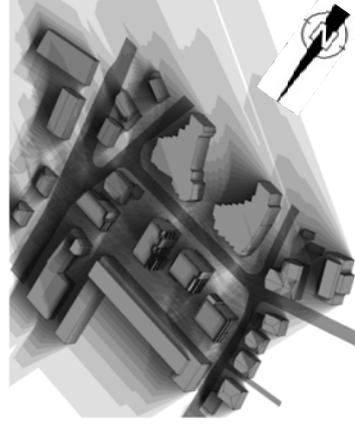


Abbildung 29: Schattenverlaufsdarstellung WB C (eigene Darstellung)

4.1.4. Ergebnis Wohnbau D

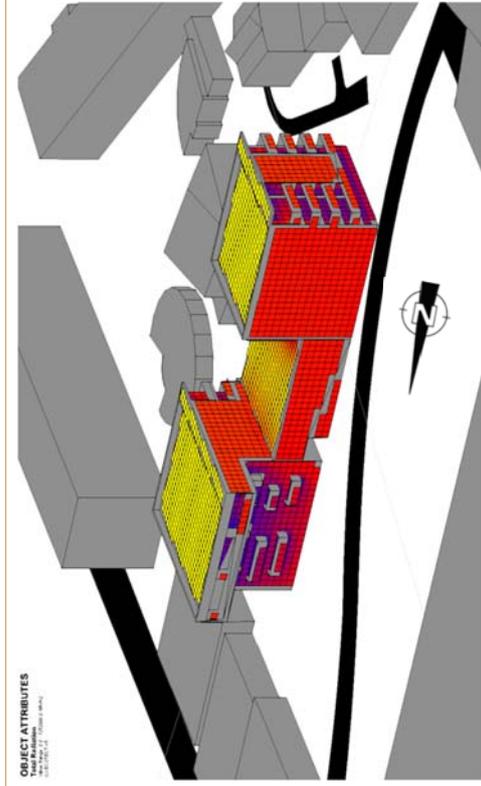


Abbildung 30: Solarstrahlung in kWh/m².a WB D – Ansicht SW (eigene Darstellung)

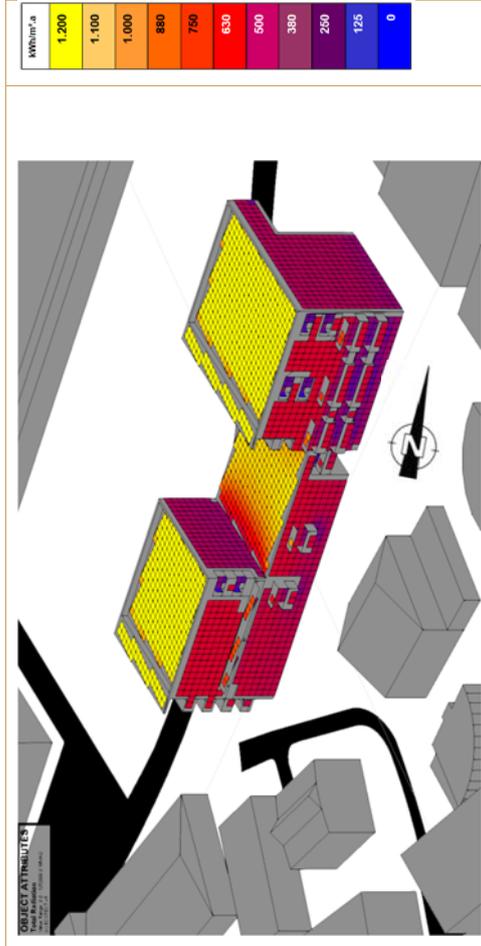
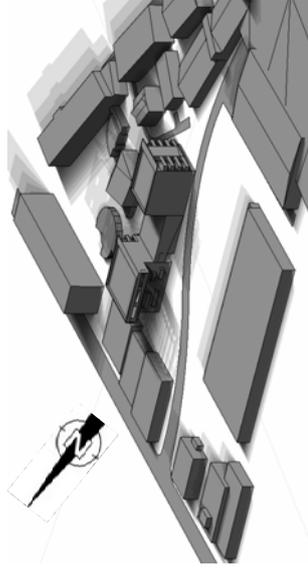
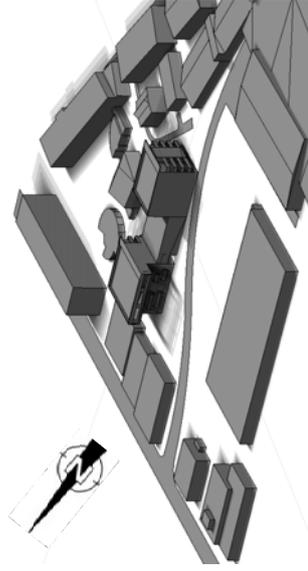


Abbildung 31: Solarstrahlung in kWh/m².a WB D – Ansicht NO (eigene Darstellung)

21. März



21. Juni



21. Dezember

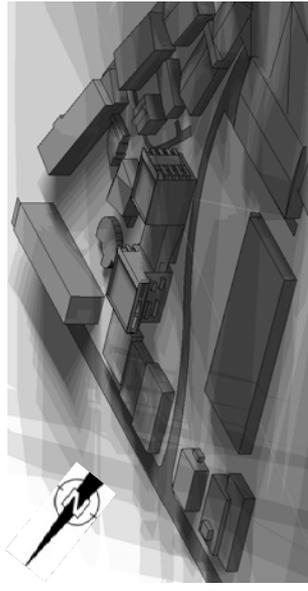


Abbildung 32: Schattenverlaufsdarstellung WB D (eigene Darstellung)

4.2. Gebäudekonzepte

In diesem Abschnitt werden für die Referenzgebäude unterschiedliche passive und aktive Optimierungsmaßnahmen angenommen und zu Gebäudekonzepten zusammengefasst. Bei der Auswahl der Komponenten wird die Gebäudegeometrie, die Größe des Gebäudes sowie die technischen Möglichkeiten der Verwendung von verschiedenen Energieträgern berücksichtigt. Darüber hinaus ist es Ziel, die Gebäudekonzepte so unterschiedlich wie möglich zu gestalten um der Bandbreite der alternativen Haustechnikkonzepte gerecht zu werden. Die Bezeichnung der Optimierungsvarianten erfolgt in Anlehnung an bekannten, jedoch nicht in allen Fällen allgemein gültig definierten Gebäudekonzepten. Es wird jeweils eine Gegenüberstellung von aktiven sowie passiven Optimierungsmaßnahmen in tabellarischer Form und eine grafische Darstellung zur Verfügung gestellt.

4.2.1. Optimierte Variante Wohnbau A „passiv“

Für das Referenzgebäude WB A wurde ein Gebäudekonzept in Anlehnung an den Passivhausstandard des Passivhausinstituts Darmstadt entworfen. Der Passivhausstandard ist ein wissenschaftlich fundierter und praxistauglicher Effizienzstandard für Gebäude, Siedlungen und Stadtquartiere, welcher auf objektiv begründbaren energetischen Anforderungen beruht und sich durch Konstanz und Transparenz auszeichnet. Beim Passivhausstandard spielt der Wärmeschutz der Gebäudehülle eine entscheidende Rolle. In Verbindung mit passiven Wärmequellen wie dem Solareintrag, dem Wärmeeintrag durch Personen und Geräte sowie der Wärmerückgewinnung aus der Fortluft der Belüftungsanlage ist es möglich den Energieumsatz eines Hauses soweit zu senken, dass unter Einhaltung von vorgegebenen Klima- und Behaglichkeitskriterien weniger geheizt, gekühlt, be- oder entfeuchtet werden muss. (Gonzalo & Vallentin, 2013) Tabelle 24 stellt die passiven und aktiven Maßnahmen des Gebäudekonzeptes OV WB A „passiv“ gegenüber.

Passive Maßnahmen	Aktive Maßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • verbesserter Wärmeschutz der opaken Bauteile • Abgestimmte passiv, solare Komponenten (passivhaustaugliche Fenster- und Verglasungssysteme) • Wärmebrückenoptimierung • Optimierung der Luftdichtigkeit • Speichermassen (vorhanden) • Flächenheizung 	<ul style="list-style-type: none"> • Aktive Be- und Entlüftung der Räume mit Wärmerückgewinnung • Angepasstes Heizsystem zur Begrenzung der Erzeugungs-, Speicher- und Wärmeverteilungsluste • Solarthermische Anlage • Pufferspeicher

Tabelle 24: aktive und passive Maßnahmen des Gebäudekonzeptes OV WB A „passiv“

Das Passivhausinstitut (PHI) in Darmstadt definiert den Passivhausstandard durch thermisch-energetische Kriterien (Heizwärmebedarf, Heizlast, Luftdichtheit) sowie durch die Begrenzung des Primärenergiebedarfes. (Schöberl, 2013)

Die in Tabelle 25 angeführten Bewertungskriterien müssen für die Zertifizierung von Wohngebäuden zum Passivhaus eingehalten werden. Eine Zertifizierung zum Passivhaus wird beim vorliegenden Gebäudekonzept nicht angestrebt.

Kriterium	Grenzwerte
Heizen <ul style="list-style-type: none"> • Heizwärmebedarf • oder Heizlast 	$\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ $\leq 10 \text{ W/m}^2$
Luftdichtheit Drucktestluftwechsel n_{50}	$\leq 0,6 \text{ 1/h}$
Primärenergie Primärenergiebedarf für Heizen, Kühlen, Trinkwarmwasser, Hilfsstrom, Haushalts- und Gemeinstrom	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Tabelle 25: Bewertungskriterien für die Zertifizierung eines Wohngebäudes im Passivhausstandard (Passivhausinstitut Darmstadt, 2013)

Abbildung 33 veranschaulicht das entworfene Gebäudekonzept für das Referenzgebäude WB A und stellt die wichtigsten Kennwerte der haustechnischen Anlagen übersichtlich dar.

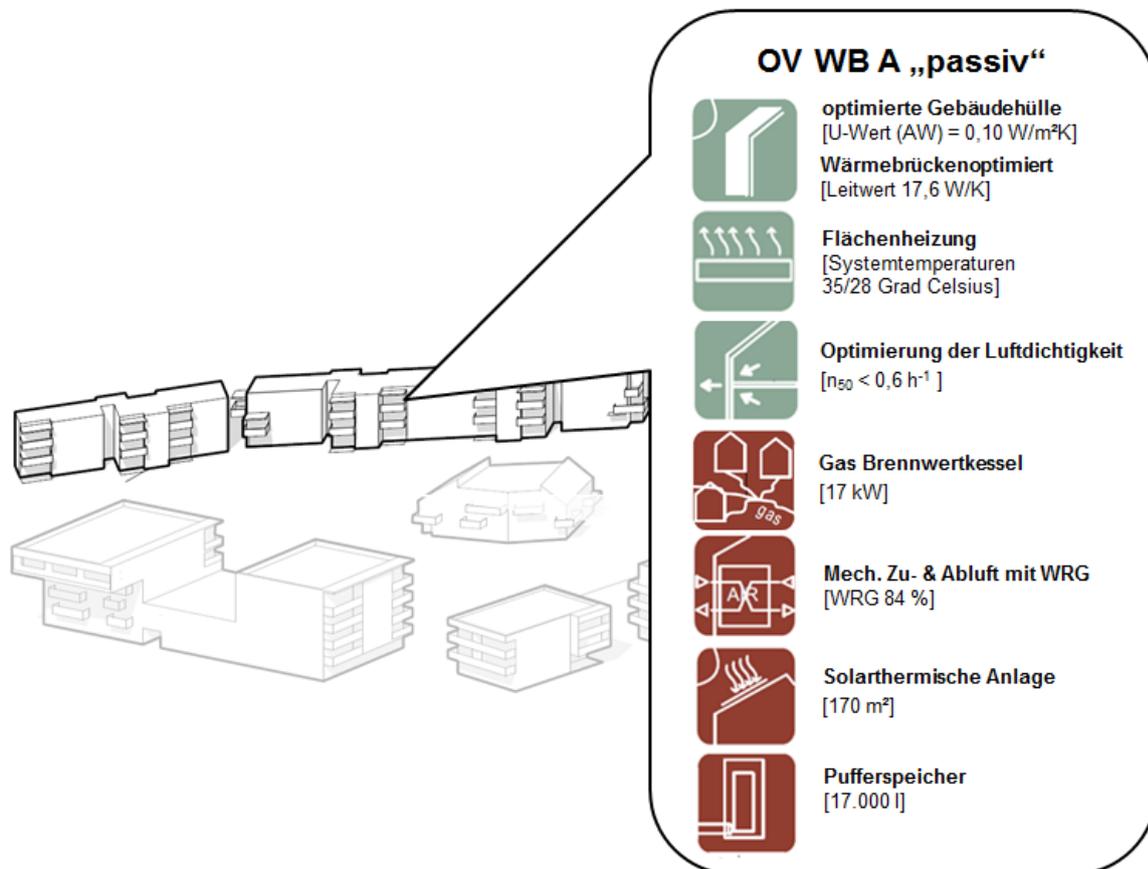


Abbildung 33: Gebäudekonzept OV WB A „passiv“

4.2.2. Optimierte Variante Wohnbau B „solar“

Für das Referenzgebäude WB B wurde ein Gebäudekonzept in Anlehnung an das Gebäudekonzept eines Solar-Aktiv Hauses entworfen. Ein Sonnenhaus, auch als Solar-Aktiv Haus bezeichnet, ist ein gut-gedämmtes Niedrigenergiehaus (Heizwärmebedarf < 45 kWh/m²a) dessen Energiebedarf für Heizung und Warmwasser zumindest zu 50 % durch großflächige, südseitig am Dach oder der Fassade angebrachte Solarkollektoren gedeckt wird. (Initiative Sonnenhaus Österreich, 2014). Dabei geht es weniger um eine positive Energie bzw. Emissionsbilanz, betrachtet über den Zeitraum eines Jahres, sondern vielmehr um einen möglichst hohen Autarkiegrad unter wirtschaftlichen Bedingungen. (Hüttmann, 2013) Der Restenergiebedarf wird im optimierten Gebäudekonzept durch die Einbindung einer Biomasseheizung (Pellets) abgedeckt. Massive Bauteile der tragenden Gebäudestruktur sorgen für eine hohe Wärmespeicherkapazität. Ein großer Schichtspeicher innerhalb der thermischen Gebäudehülle in Kombination mit einer Niedertemperaturheizung ermöglicht es theoretisch den Energieertrag aus einstrahlungsreichen Zeiten in sonnenärmere Perioden zu verschieben. Geringfügige Luftbewegungen und eine hohe Behaglichkeit sind die Folge. (Initiative Sonnenhaus Österreich, 2014) Ein endgültiger Beweis hierfür ist nur mittels einer aufwendigen Gebäudesimulation möglich, welche im Rahmen dieses Forschungsprojektes jedoch nicht umgesetzt werden konnte. Tabelle 26 stellt die passiven und aktiven Maßnahmen des Gebäudekonzeptes OV WB B „solar“ gegenüber.

Passive Maßnahmen	Aktive Maßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • Sehr guter Wärmeschutz der opaken Bauteile (vorhanden) • Abgestimmte passiv, solare Komponenten (vorhanden) • Speichermassen (vorhanden) • Flächenheizung 	<ul style="list-style-type: none"> • Thermische Solaranlage primär Raumheizung • Lastausgleichsspeicher • Pelletskessel, modulierend, gleitender Betrieb • Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung

Tabelle 26: aktive und passive Maßnahmen des Gebäudekonzeptes OV WB B „solar“

Der Einbau einer kontrollierten Wohnraumlüftung ist in einem Solar-Aktiv Haus nicht zwingend erforderlich und kommt auch im Gebäudekonzept OV WB B „solar“ nicht zur Anwendung. Aus Gründen der Komfortsteigerung, Regelbarkeit und zur Wärmerückgewinnung kann es jedoch sinnvoll sein.

Das vorliegende Gebäudekonzept OV WB B „solar“ stellt drei wesentliche Ziele in den Vordergrund:

- Die Sonnenenergie kann effektiv genutzt und in der thermischen Gebäudemasse gespeichert werden.
- Der Primärenergiebedarf wird durch die Nutzung der Sonnenenergie zur Deckung des Heiz- und Warmwasserbedarfes wesentlich reduziert und nicht-erneuerbare Ressourcen werden damit geschont.
- Die CO₂-Emissionen werden minimiert und die Abhängigkeit von Energieimporten wird reduziert. (Initiative Sonnenhaus Österreich, 2014)

Abbildung 34 veranschaulicht das entworfene Gebäudekonzept für das Referenzgebäude WB B und stellt die wichtigsten Kennwerte der haustechnischen Anlagen übersichtlich dar.

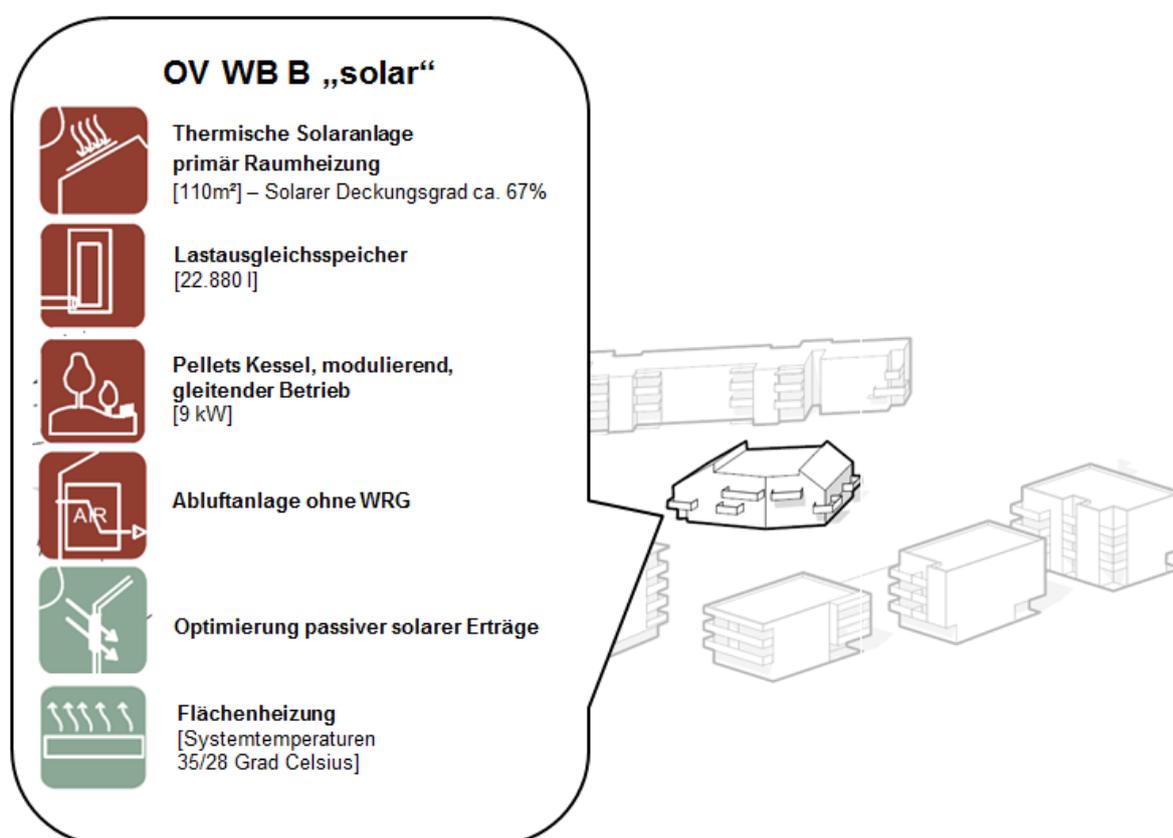


Abbildung 34: Gebäudekonzept OV WB B „solar“

4.2.3. Optimierte Variante Wohnbau C „aktiv“

In Zukunft werden Energiestandards für das Bauen benötigt, welche nicht nur passive Systeme betrachten. Die Gesamtbilanz dieser Gebäude beinhaltet die Einbeziehung aller aktiven und passiven Komponenten. Solche Gebäude bieten einen hohen thermischen Komfort bei gleichzeitiger Erzeugung von Energie über ihre Gebäudehülle bzw. am Standort. Eine gültiges und einheitliches Verständnis zum diesem Gebäudekonzept „Aktivhaus“ fehlt zum derzeitigen Zeitpunkt. Begriffe wie „Plusenergiehaus“, „Active House“ oder das vom deutschen „Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtplanung“ (BMVBS) definierte „Effizienz-Haus-Plus“ sind Versuche möglicher Definitionen. Der Standard des „Aktivhauses“ bedarf einer einfach verständlichen und klar nachvollziehbaren Definition, welche Gegenstand laufender Forschung ist. Gleiche Kennzahlen für alle Gebäudetypen werden dabei nicht möglich sein, sondern je nach Nutzungsart und Bebauungsdichte variieren, um das technisch und wirtschaftlich Machbare zu berücksichtigen. Eine weitgehend regenerative Energieversorgung in Kombination mit passiven Maßnahmen zur Energiebedarfsreduktion, welche zu einer ausgeglichenen bzw. positiven Primärenergiebilanz über das Jahr führen, stellt ein wesentliches Merkmal von zukünftigen „Aktivhäusern“ dar. Darüber hinaus sollten alle eingesetzten Haushaltsgeräte den höchsten Energieeffizienzstandard aufweisen um den Bedarf an Haushaltsstrom so gering wie möglich zu halten. (DETAIL Green, 2014)

Das Prinzip des „Aktivhauses“ basiert auf drei zentralen Forderungen:

- Die Häuser der Zukunft erzeugen mehr Energie. als sie selbst verbrauchen.
- Die Gebäude reagieren sensibel auf individuelle Parameter bei der Nutzung und setzen Veränderungen in Bezug auf die energetische Performance um.
- Sie kommunizieren mit anderen Energieerzeugern. Speichern und Verbrauchern mit dem Ziel der energetischen Autarkie.

(Hegger M., Fafflok C., Hegger J., & Passig I., 2013)

Tabelle 27 stellt die passiven und aktiven Maßnahmen des Gebäudekonzeptes OV WB C „aktiv“ gegenüber.

Passive Maßnahmen	Aktive Maßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • Flächenheizung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasser-Wasser Wärmepumpe monovalent • Pufferspeicher • PV-Anlage • Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung • Netzeinspeisung Überschuss PV-Strom

Tabelle 27: aktive und passive Maßnahmen des Gebäudekonzeptes OV WB C „aktiv“

Abbildung 35 veranschaulicht das entworfene Gebäudekonzept für das Referenzgebäude WB C und stellt die wichtigsten Kennwerte der haustechnischen Anlagen übersichtlich dar.

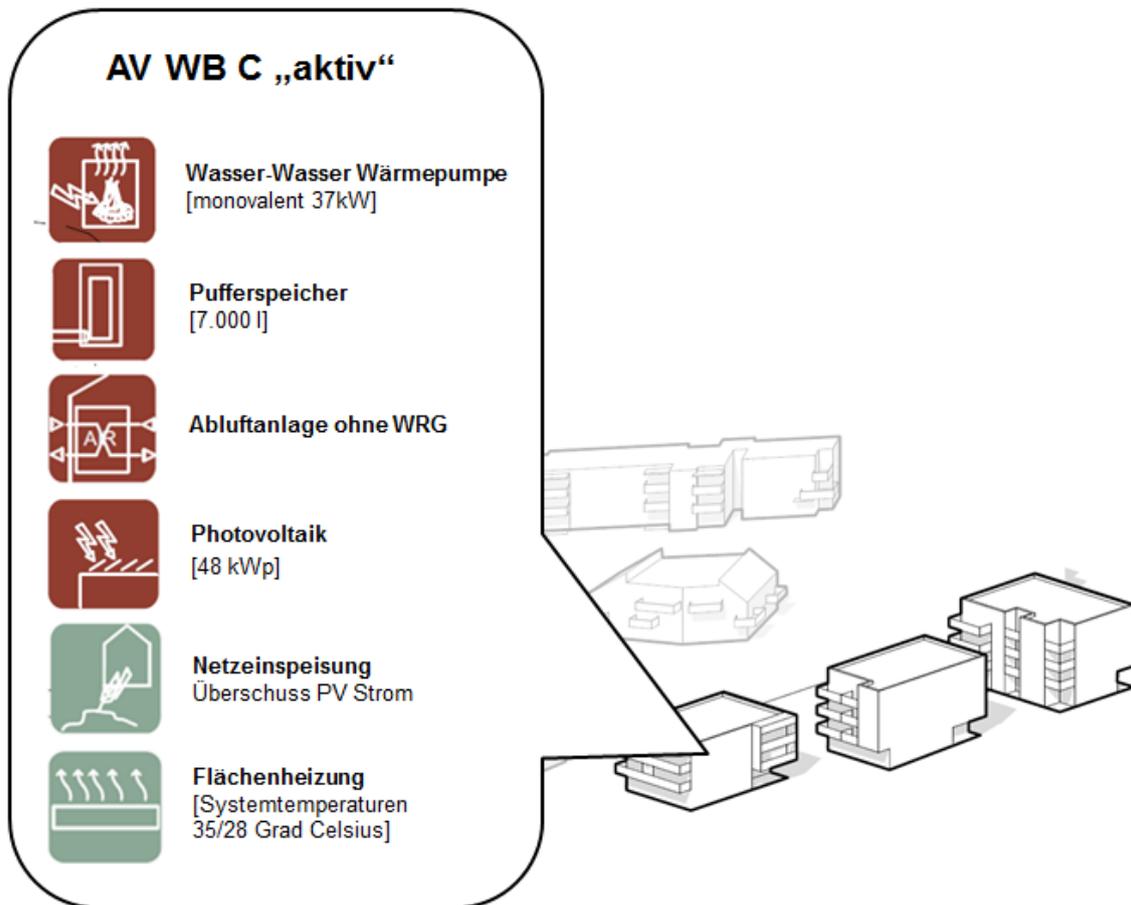


Abbildung 35: Gebäudekonzept OV WB C „aktiv“

4.2.4. Optimierte Variante Wohnbau D „null“

Der Fokus bei Nullenergiegebäuden liegt einerseits auf der Verringerung von Energieverbräuchen, andererseits auf Deckung dieser Verbräuche über erneuerbare Energieträger. Der Ausgleich erfolgt über Gutschriften für den Export der am Gebäude erzeugten Energie. Eine normative Definition des Nullemissionsgebäudes oder klimaneutralen Gebäudes fehlt derzeit noch. Ein Bilanzvorschlag, der im Rahmen des Forschungsprojekts IEA – Task 40 – Annex 52 „Towards Net Zero Energy Buildings“ in welchem die Grundlage für ein international anwendbares Bilanzierungsverfahren erstellt wurde, beinhaltet eine einfach überprüfbare, vollständige Bilanzierung der Jahressummen von lokal verursachtem, nicht erneuerbarem Energiebedarf und Gutschrift für den Export von Energie an Netze. Die Erträge solcher Anlagen werden auf Basis von Monatsbilanzen bis zur Höhe des monatlichen Bedarfs/Verbrauchs berücksichtigt, monatliche Überschüsse aber erst in einer Jahresbilanz betrachtet. Solarthermische Anlagen werden ebenfalls als verbrauchsmindernde Maßnahmen angesehen, sofern sie nicht überschüssige Wärme in ein Nahwärmenetz exportieren. (Marszal A. & et al, 2011)

Tabelle 28 stellt die passiven und aktiven Maßnahmen des Gebäudekonzeptes OV WB D „null“ gegenüber.

Passive Maßnahmen	Aktive Maßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • KEINE (Standard der Gebäudehülle derzeit bereits Niedrigstenergiegebäude) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mini-BHKW • Pufferspeicher • Pelletskessel, modulierend, gleitender Betrieb • PV-Anlage • Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung • Netzeinspeisung Überschuss BHKW-Strom und PV-Strom

Tabelle 28: aktive und passive Maßnahmen des Gebäudekonzeptes OV WB D „null“

Abbildung 36 veranschaulicht das entworfene Gebäudekonzept für das Referenzgebäude WB D und stellt die wichtigsten Kennwerte der haustechnischen Anlagen übersichtlich dar.

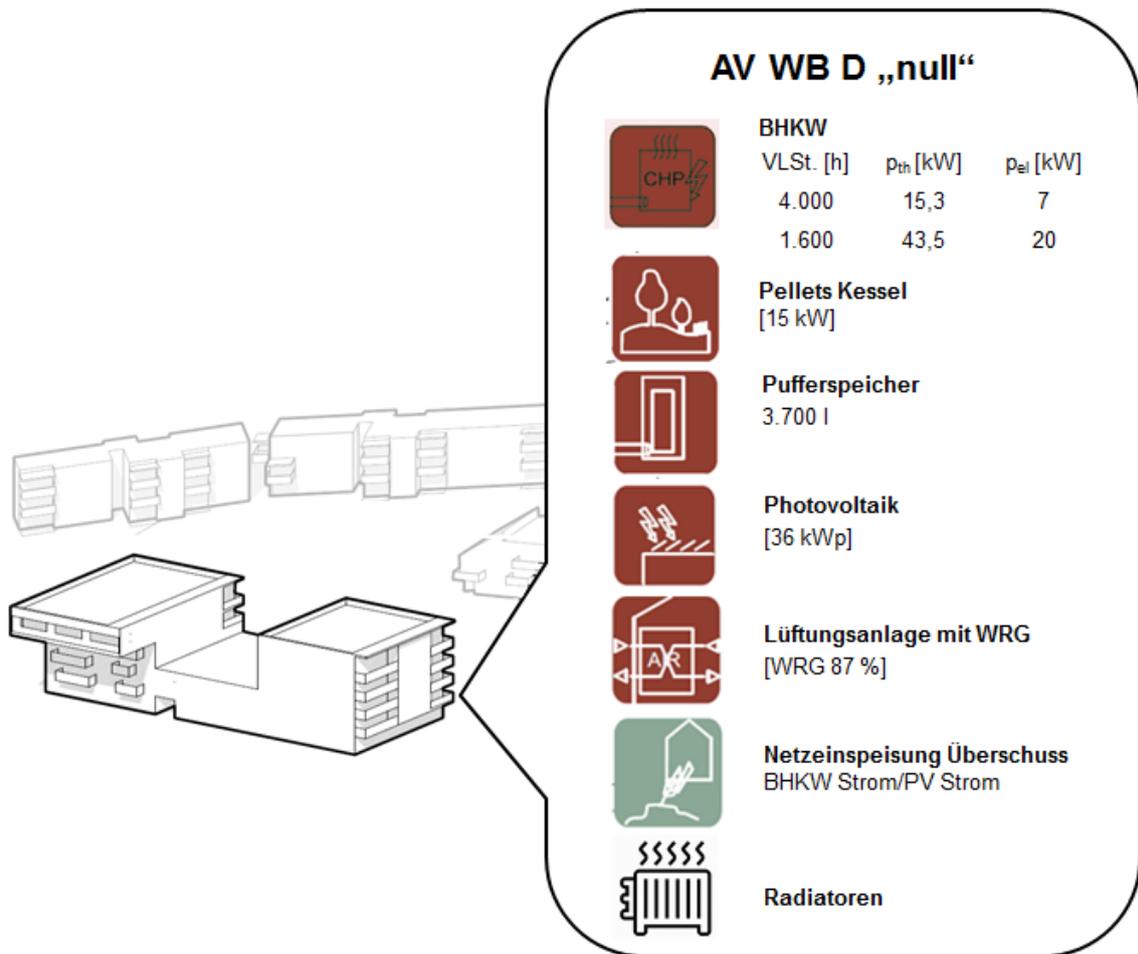


Abbildung 36: Gebäudekonzept OV WB D „null“

4.3. Primärenergetische Bilanzierung der Gebäudekonzepte

Die primärenergetische Bilanzierung der Gebäudekonzepte erfolgt monatlich. Die Bedarfs- werte werden der Energieausweis Software „GEQ – Version 2015“ entnommen. Die Be- rechnungsgrundlage ist die OIB 2011. Es gelten die Anforderungen der Salzburger Wohn- bauförderung 2015. Die Berechnung und Darstellung der Ergebnisse erfolgt mit der Software „Microsoft Excel 2013“.

Soweit es für das jeweilige Gebäudekonzept relevant ist, werden die Bauteile - Außen- wand, Dach, unterste Geschoßdecke, Fenster - der Referenzgebäude adaptiert. Auch eine Erhöhung der Wärmebrückenfreiheit wird berücksichtigt (optimierte Variante Wohnbau A „passiv“). Eine detaillierte Berechnung der Wärmebrücken wird nicht durchgeführt. Darüber hinaus beeinflussen die unterschiedlichen Arten der Wärmebereitstellung (Gas, Pellets, Solar, Wasser-Wasser-Wärmepumpe, Mini-BHKW) sowie die Bereitstellungsarten von elektrischem Strom (Netz, Photovoltaik, Mini-BHKW) und deren Primärenergiefaktoren ge- mäß OIB Richtlinie 6 – Ausgabe 2011 die Primärenergiebilanz. Die Ergebnisse der monatli- chen Primärenergiebilanz, die kumulierte Primärenergiebilanz sowie der Deckungsanteil der Primärenergie durch Primärenergiegutschrift werden in grafischer Form präsentiert und anschließend interpretiert. Zur Veranschaulichung der Veränderung erfolgt eine Gegen- überstellung der Gebäudekonzepte mit den Referenzgebäuden. Da es bis dato kein norma- tiv eingeführtes Verfahren für die Energiebilanzierung von Null- und Plusenergiegebäuden ist die Grundidee des angewandten Bilanzansatzes, dass die von einem Nullenergiegebäu- de aus dem Netz bezogene Energiemenge in der Jahresbilanz mindestens der eingespeis- ten Energiemenge entspricht.

4.3.1. OV WB A „passiv“

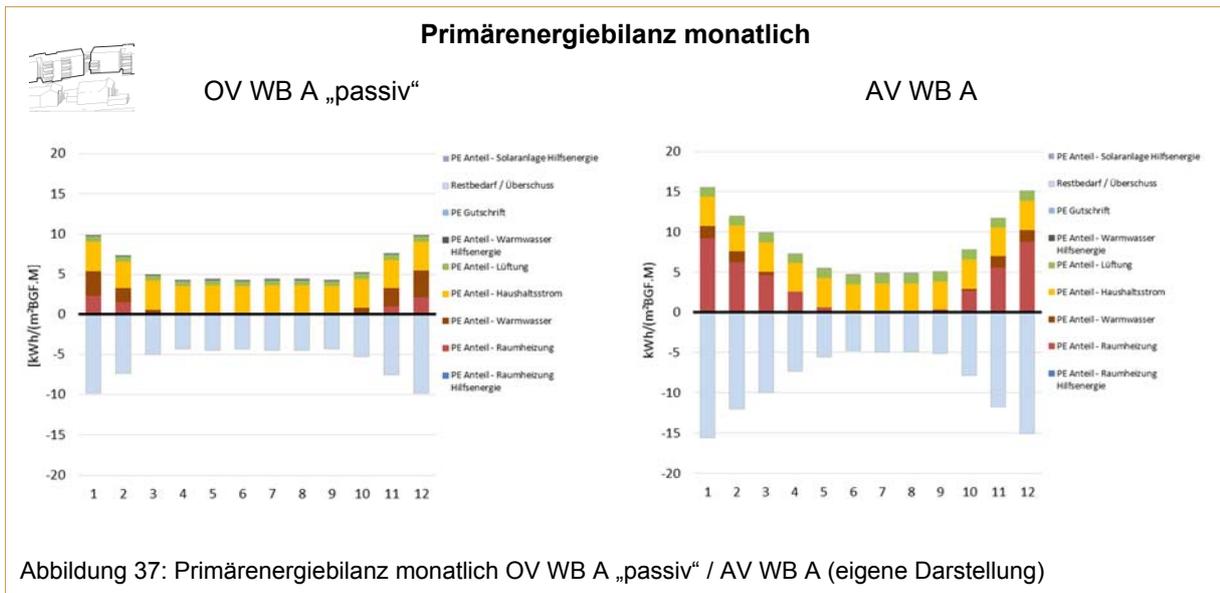


Abbildung 37: Primärenergiebilanz monatlich OV WB A „passiv“ / AV WB A (eigene Darstellung)

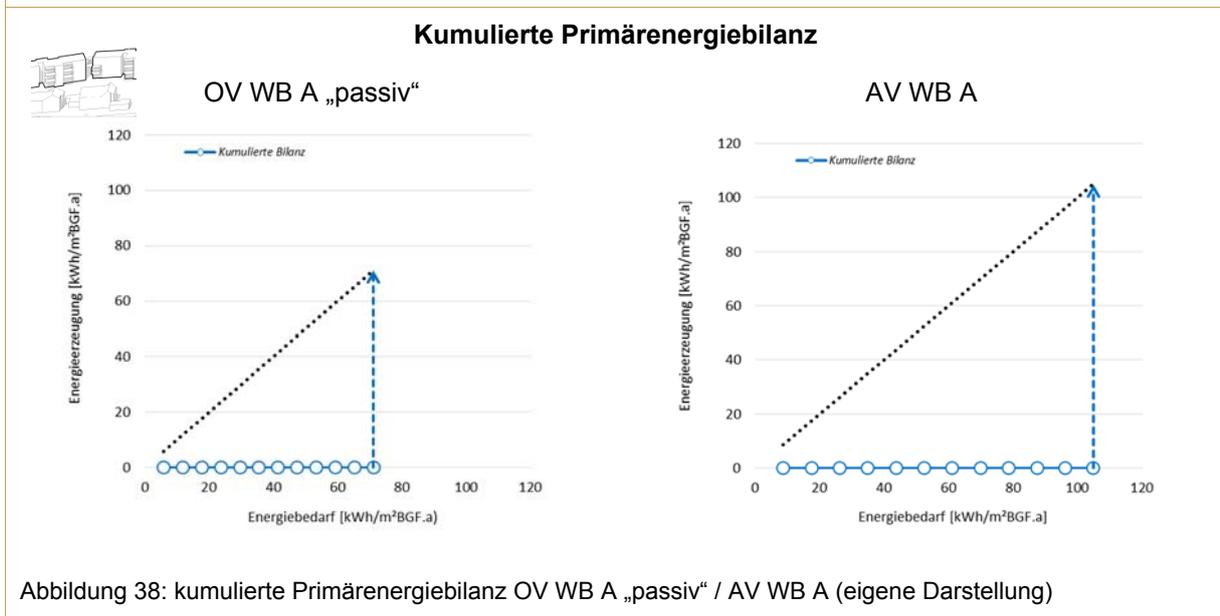


Abbildung 38: kumulierte Primärenergiebilanz OV WB A „passiv“ / AV WB A (eigene Darstellung)

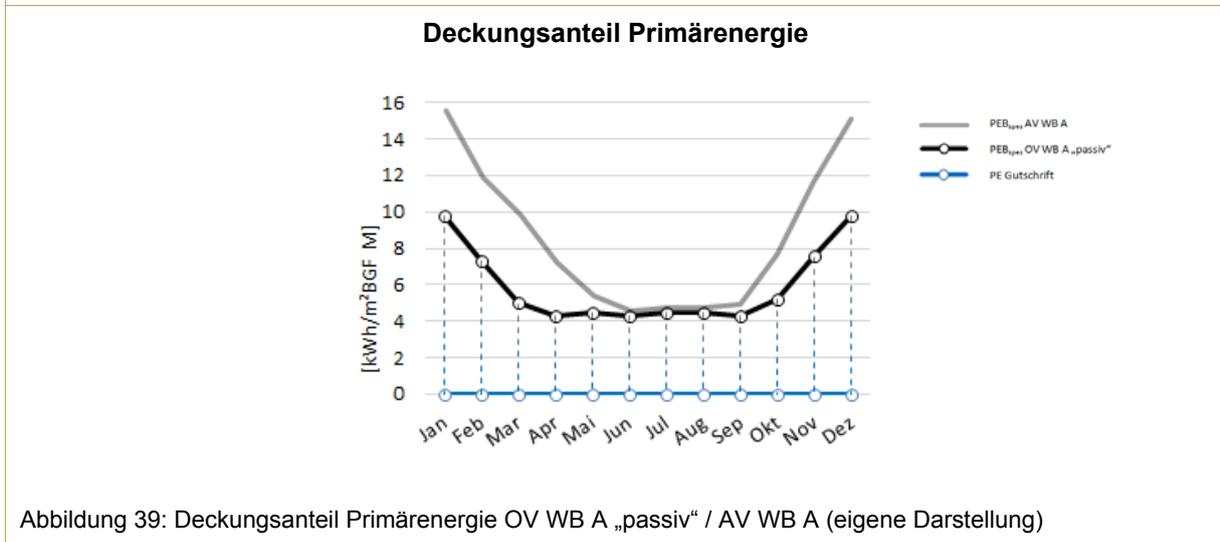


Abbildung 39: Deckungsanteil Primärenergie OV WB A „passiv“ / AV WB A (eigene Darstellung)

Die monatliche Primärenergiebilanz des Gebäudekonzeptes OV WB A „passiv“ zeigt auf Grund der in Abschnitt 4.2.1 dargelegten Maßnahmen deutlich geringere Bedarfswerte für die Raumheizung. Eine wesentliche Rolle spielen dabei die reduzierten Lüftungswärmeverluste als Folge der Integration einer mechanischen Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmehückgewinnung. Die reduzierten Transmissionswärmeverluste sind auf die Anpassung der Dämmstärken der Außenwand, des Dachs und der untersten Geschoßdecke sowie einer Optimierung der Wärmebrücken zurückzuführen. Die optimierte spezifische Leistung des Zu- und Abluftventilators der Lüftungsanlage bewirkt eine Reduktion des Primärenergiebedarfs für die Lüftung. Der Haushaltsstrombedarf erfährt nominell keine Veränderung, anteilig betrachtet steigt dessen Relevanz allerdings erheblich. In den Monaten April bis Oktober ist der Haushaltsstrombedarf für den Großteil des Energiebedarfes des Gebäudes verantwortlich.

Da bei diesem Gebäudekonzept keine Energieerzeugung am Standort vorgesehen ist, weist die kumulierte Primärenergiebilanz sowie der Deckungsanteil Primärenergie keine Primärenergiegutschrift auf. Die Erzeugung thermischer Energie mittels einer Solaranlage wird nicht als Primärenergiegutschrift angerechnet. Sie reduziert lediglich den Bedarf an eingesetzter Primärenergie.

Der Primärenergiebedarf der optimierten Variante liegt ca. 30 % unter jenem der Ausgangsvariante und die monatliche kumulierte Primärenergiebilanz erfährt eine Glättung über den Jahresverlauf durch Reduktion der Bedarfsspitzen in den Monaten Oktober bis April.

4.3.2. OV WB B „solar“

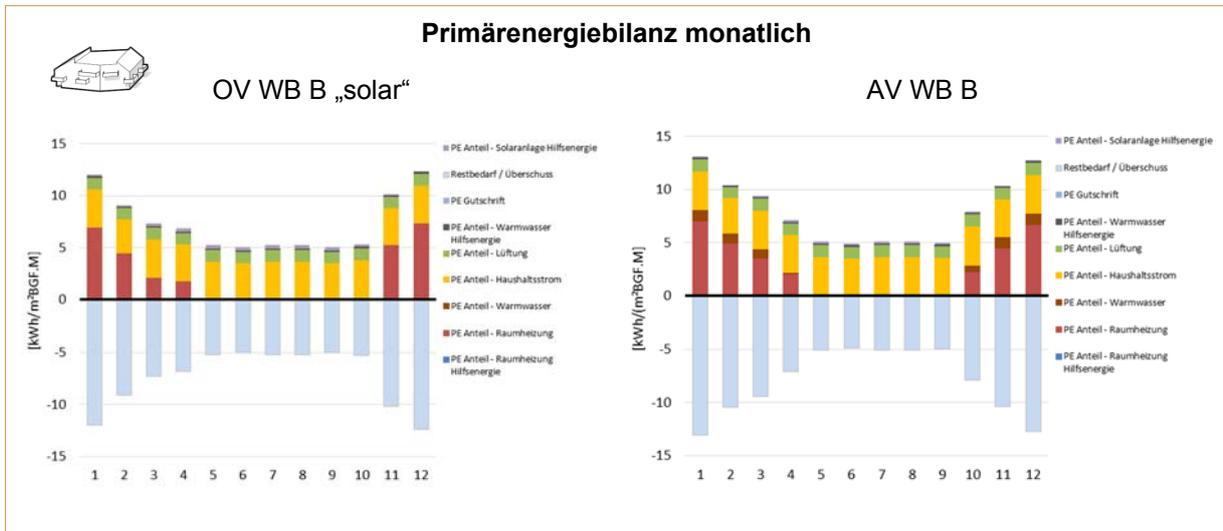


Abbildung 40: Primärenergiebilanz monatlich OV WB B „solar“ / AV WB B (eigene Darstellung)

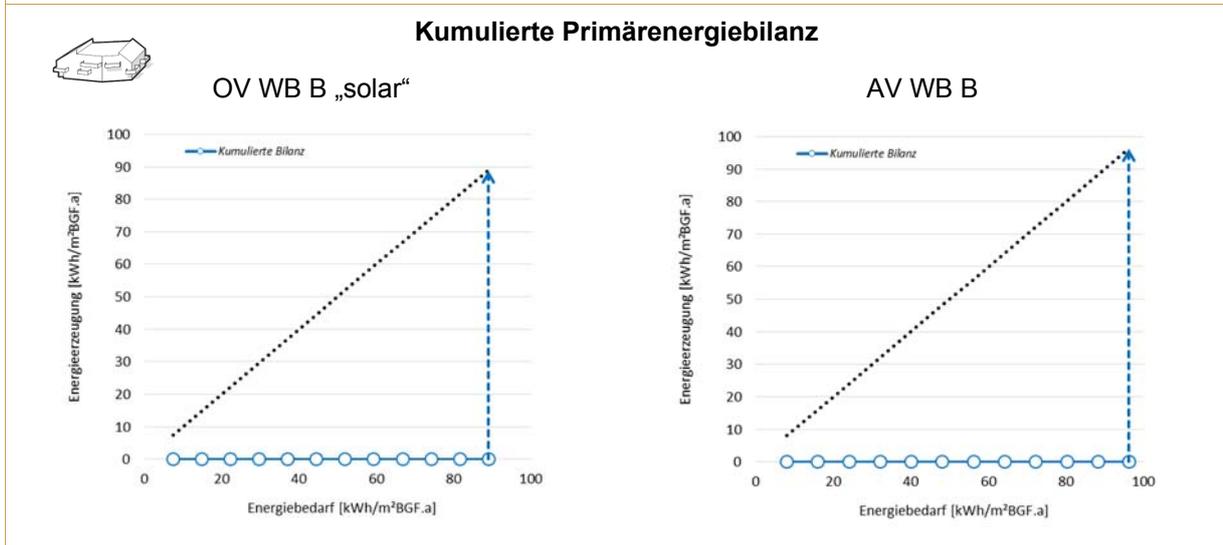


Abbildung 41: kumulierte Primärenergiebilanz OV WB B „solar“ / AV WB B (eigene Darstellung)

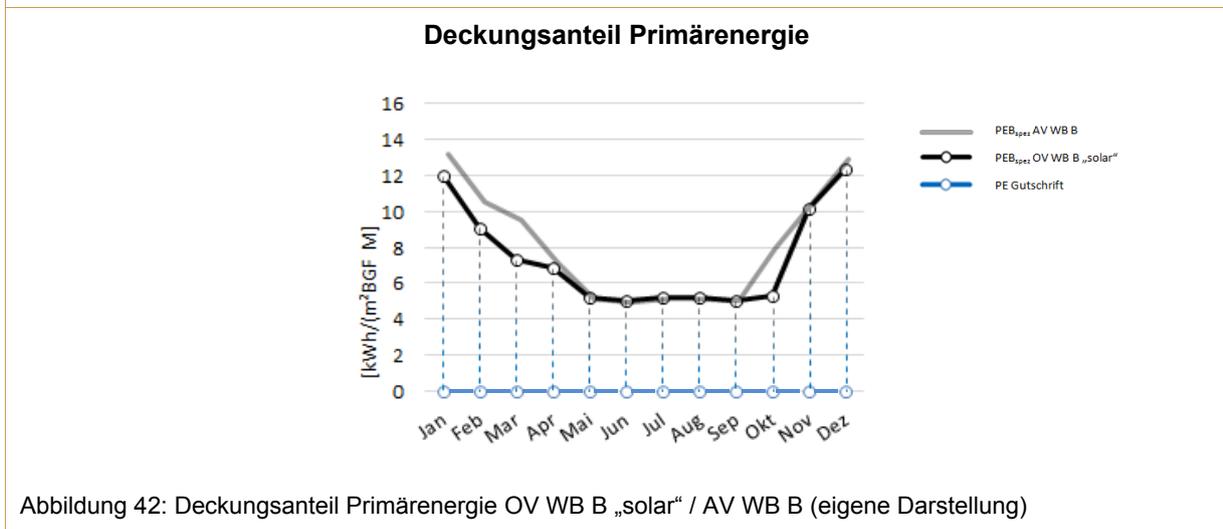


Abbildung 42: Deckungsanteil Primärenergie OV WB B „solar“ / AV WB B (eigene Darstellung)

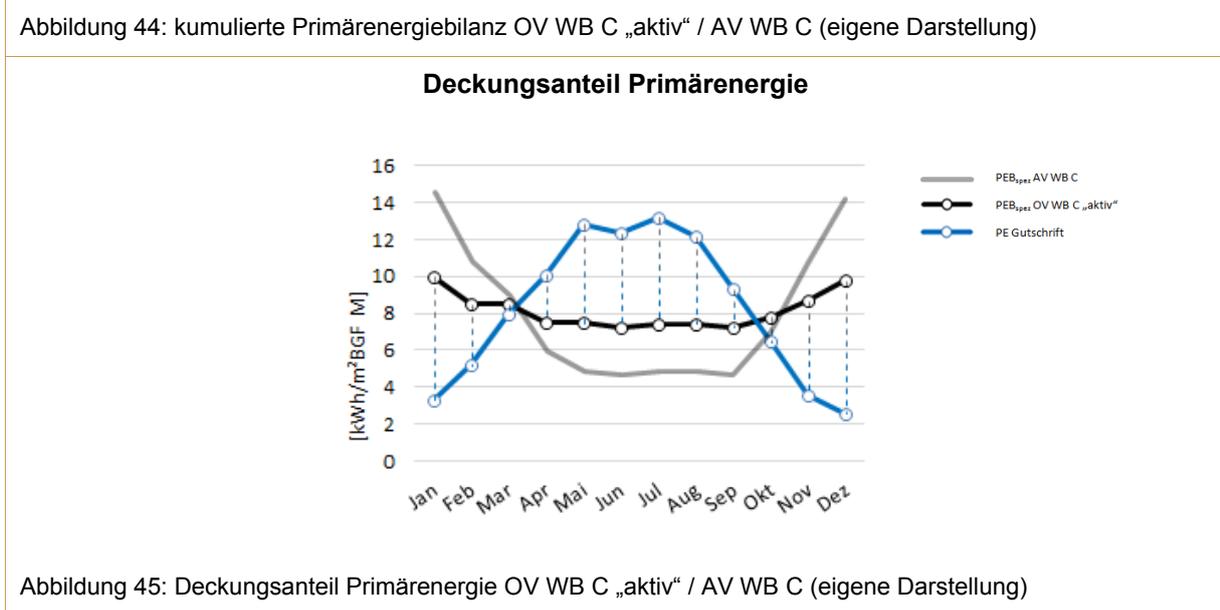
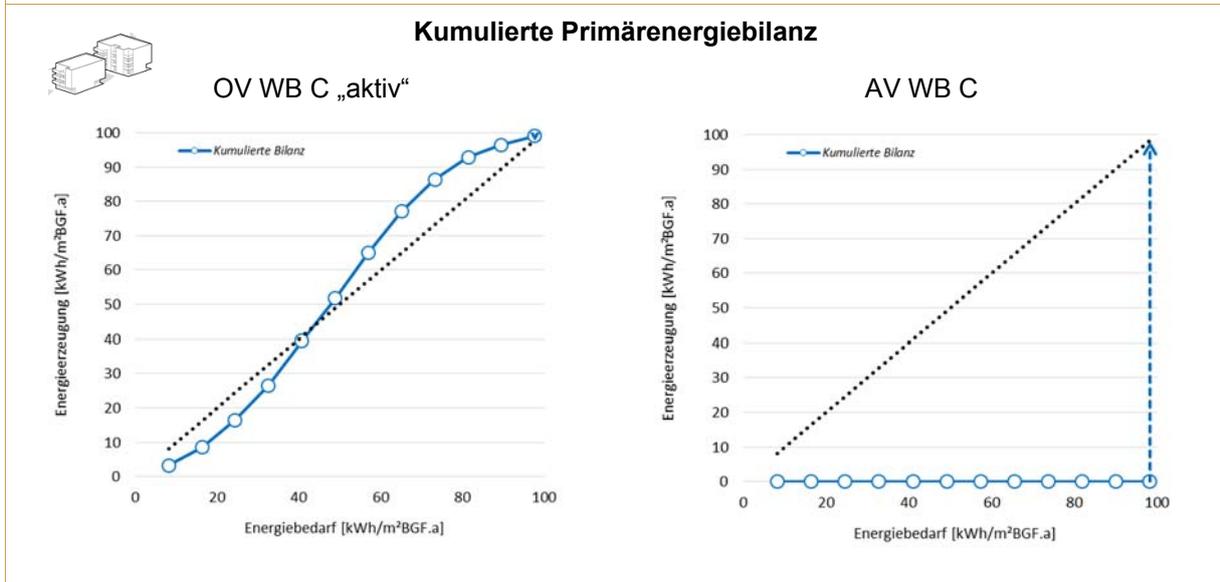
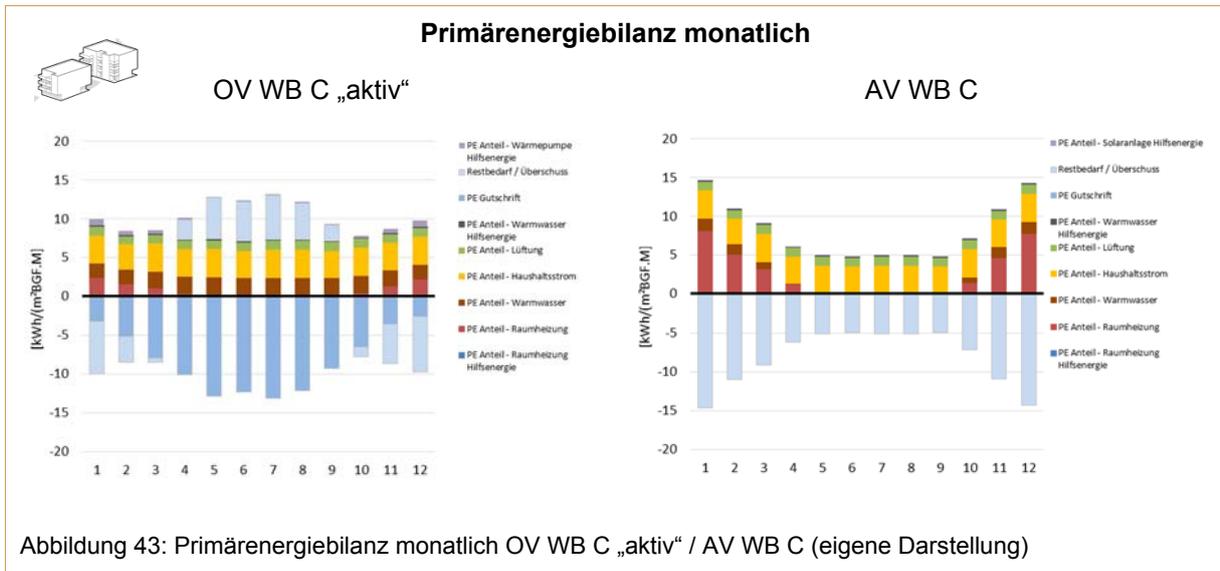
Die Berechnungen zeigen nur eine geringfügige Reduzierung des Primärenergiebedarfes für das Gebäudekonzept OV WB B „solar“ gegenüber dem Referenzgebäude. Die thermische Solaranlage, welche primär der Raumheizung und sekundär der Warmwasserbereitung dient, reduziert die benötigte Wärmemenge für Raumheizung und Trinkwasser. Der errechnete solare Deckungsgrad liegt bei ca. 67 %. Wie in Abschnitt 4.2.2 erläutert, ist ein endgültiger Beweis hierfür jedoch nur mittels einer aufwendigen Gebäudesimulation möglich, welche im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht umgesetzt werden konnte.

Der großer Schichtspeicher innerhalb der thermischen Gebäudehülle in Kombination mit einer Niedertemperaturheizung ermöglicht es theoretisch den Energieertrag aus einstrahlungsreichen Zeiten in sonnenärmere Perioden zu verschieben. Für einen Nachweis ist auch hierfür eine Gebäudesimulation unabdingbar.

Die benötigte Restwärme wird im Gebäudekonzept OV WB B „solar“ durch Verwendung eines Pelletskessels mit 8 kW Leistung erbracht. Die erforderliche Endenergie zur Bereitstellung der Restwärme beläuft sich auf ca. 21.000 kWh/a und liegt damit rund ein Drittel unter der benötigten Endenergie für Wärme in der Ausgangsvariante. In der Ausgangsvariante erfolgt die Wärmeversorgung mittels Fernwärme, welche einen Primärenergiefaktor von 1,00 aufweist. Der Primärenergiefaktor für Pellets liegt um 8 % höher bei einem Wert von 1,08. Diese Tatsache bewirkt eine Verminderung der Differenz der Primärenergie im Vergleich der beiden Varianten und lässt damit die Reduzierung der Primärenergie von ca. 96 kWh/m².BGF auf ca. 89 kWh/m².BGF relativ klein erscheinen.

Da bei diesem Gebäudekonzept keine Energieerzeugung am Standort vorgesehen ist, weist die kumulierte Primärenergiebilanz sowie der Deckungsanteil Primärenergie keine Primärenergiegutschrift auf. Die Erzeugung thermischer Energie mittels einer Solaranlage wird nicht als Primärenergiegutschrift angerechnet. Sie reduziert lediglich den Bedarf an eingesetzter Primärenergie. Die überschüssig produzierte Wärme der Solaranlage kann vor allem in den Sommermonaten nicht verwendet werden und muss über die Solarflächen in der Nacht wieder an die Umwelt abgegeben werden. Durch den stark reduzierten Heizwärme- und Kühlbedarf nimmt dieser Variante der Haushaltsstrom den größten Anteil am Gesamtenergiebedarf ein

4.3.3. OV WB C „aktiv“



Da bei diesem Gebäudekonzept neben der passiven Optimierung (Energiebedarfsreduktion) ein sehr großer Anteil an erneuerbarer Energieversorgung mittels gebäudeintegrierter Photovoltaik (48kWp) vorgesehen ist, weist die kumulierte Primärenergiebilanz eine Gutschrift auf, also eine positive Primärenergetische Bilanz. Zentrale Fragestellung bei dem Konzept OV WB C „aktiv“ ist jedoch, wie eine Erhöhung der zeitlichen Deckungsraten zwischen Energieumwandlung und Bedarf vor Ort in Einklang gebracht werden können, da sich diese in der Regel tageszeitlich und saisonal gravierend unterscheiden. Eine Ermittlung des wirtschaftlich und technisch optimalen Grades der Eigenbedarfsdeckung ist vor der Umsetzung eines dieser innovativen Gebäudekonzepte unumgänglich. Dabei sollte untersucht werden, wie sich vorhandene Produktionskapazitäten und individuelle Verbrauchsanforderungen in Wärme- und Stromnetzen zeitlich mit flexiblen Null- und Plusenergiegebäuden bestmöglich abstimmen lassen.

4.3.4. OV WB C „null“

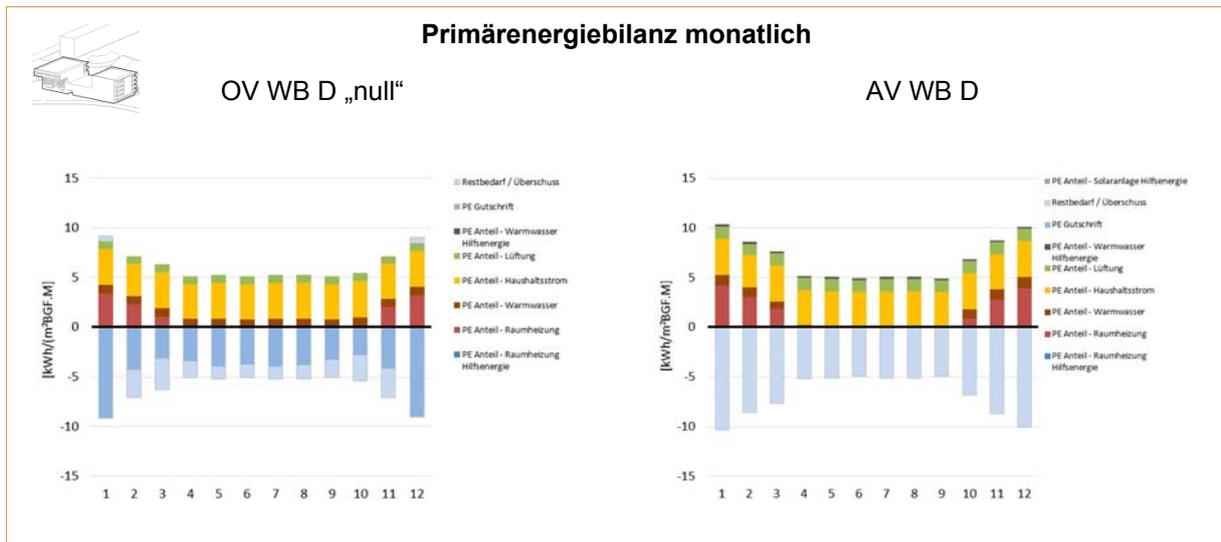


Abbildung 46: Primärenergiebilanz monatlich OV WB D „null“ / AV WB D (eigene Darstellung)

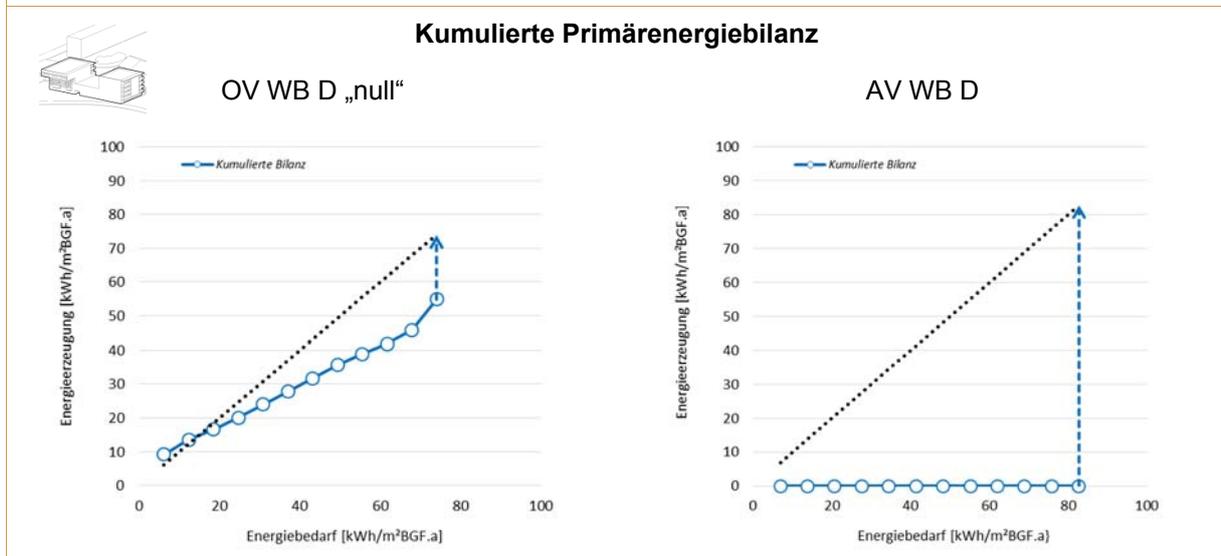


Abbildung 47: kumulierte Primärenergiebilanz OV WB D „null“ / AV WB D (eigene Darstellung)

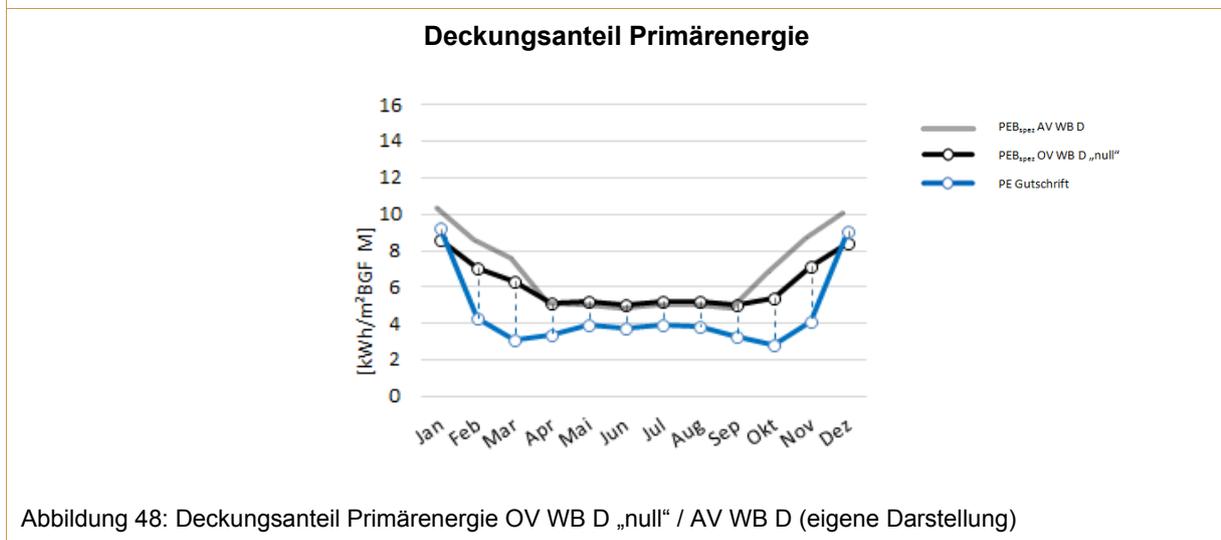


Abbildung 48: Deckungsanteil Primärenergie OV WB D „null“ / AV WB D (eigene Darstellung)

Ähnlich wie beim Konzept OV WB D „aktiv“ spielt die Nutzung erneuerbarer Energie und die Optimierung der Gebäudetechnik hier die wesentliche Rolle. Die Kombination eines Mini-BHKWs, Pufferspeicher, Pelletskessel mit modulierend, gleitendem Betrieb, PV-Anlage und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung führt zu wesentlich höherer Eigenbedarfsdeckung von Strom und Wärme als bei der vorangegangenen Variante OV WB D „aktiv“ („nur Strom Gebäude“ mit Wärmepumpe)

Die Deckungsraten zwischen Energieumwandlung und Bedarf vor Ort werden damit saisonal also möglichst in gut aufeinander abgestimmt. Die Einspeisung von überschüssigem PV-Strom wird damit reduziert. Die „exakte Nullenergiebilanz“ über den Jahresverlauf erreicht das Projekt jedoch nicht.

4.3.5. Nullenergiebilanz

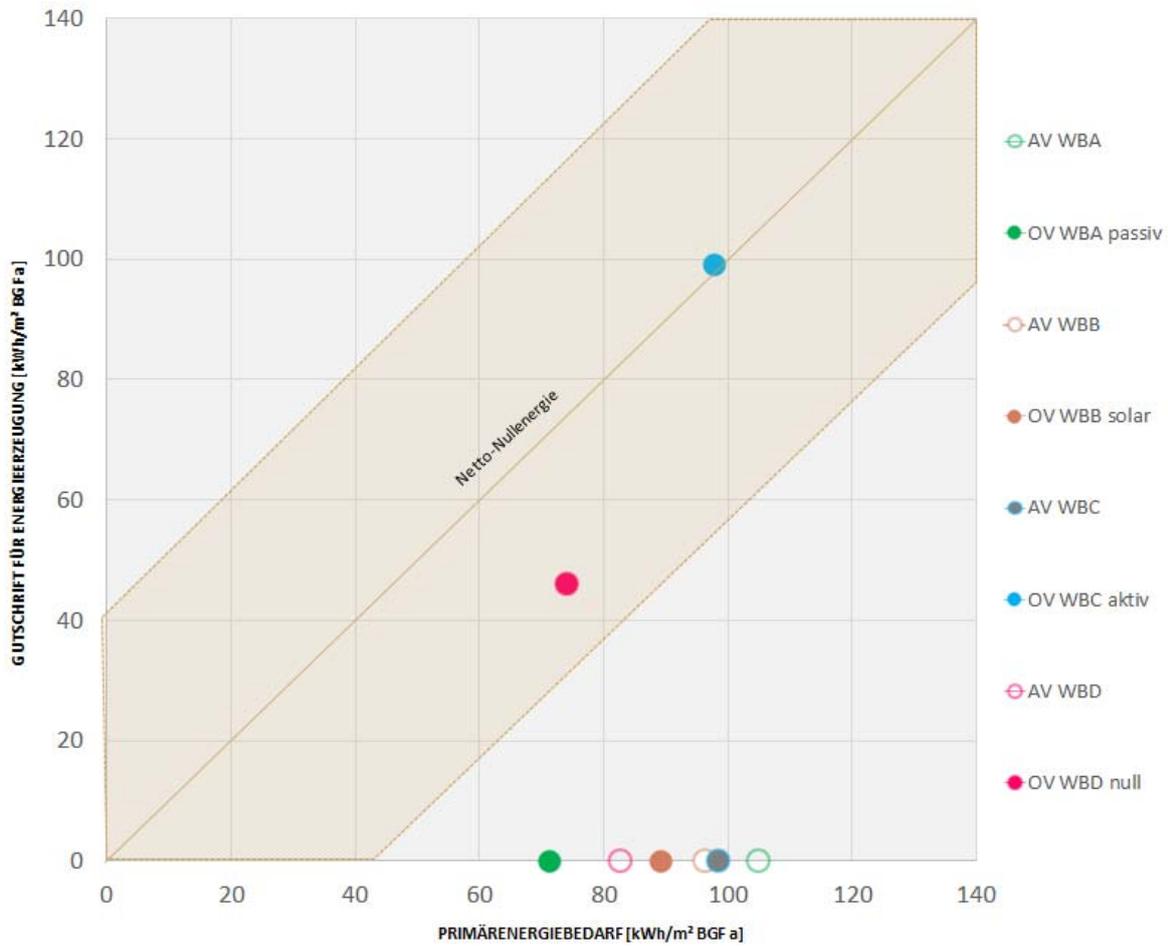


Abbildung 49: Nullenergiebilanz der Referenzgebäude und der Gebäudekonzepte

Die Analyse zeigt folgendes Bild: die Bestandsgebäude (Ausgangsvarianten) fokussieren auf eine Reduktion des Primärenergiebedarfs und liegen alle zwischen 80 und 105 kWh/m²a BGF. Während das Gebäudekonzept OV WB A „passiv“ auf eine Bedarfsreduktion über verringerte Transmissionswärmeverluste der Gebäudehülle und verringerte Lüftungswärmeverluste durch den Einsatz einer mechanischen Be- und Entlüftungsanlage setzt, wird beim Gebäudekonzept OV WB B „solar“ eine Reduktion des Heizwärmebedarfs und des Warmwasserwärmebedarfs durch zusätzliche Solarthermie Flächen und einen in der Gebäudehülle integrierten Speicher erzielt. Die Gebäudehüllqualität wird gegenüber der Ausgangsvariante OV WB B nicht weiter optimiert. Das Gebäudekonzept OV WB C „aktiv“ sowie OV WB D „null“ weisen einen ähnlichen Primärenergiebedarf auf wie die Konzepte OV WB A „passiv“ und OV WB B „solar“, jedoch lässt eine hohe Eigenbedarfsdeckungsrate (Nullenergie) und verstärkte Netzeinspeisung (Aktivhaus) diese Gebäudekonzepte in der Gegenüberstellung von Primärenergiebedarf und Gutschrift für Energieerzeugung bi-

lanziert besser dastehen. Zentrale Fragestellung bei den beiden Konzepten OV WB C „aktiv“ und OV WB C „null“ ist, wie eine Erhöhung der zeitlichen Deckungsraten zwischen Energieumwandlung und Bedarf vor Ort in Einklang gebracht werden können, da sich diese in der Regel tageszeitlich und saisonal gravierend unterscheiden.

Die Frage nach den Bauwerks- sowie den Lebenszykluskosten, im speziellen für diese zukunftsweisenden Konzepte, soll in Kapitel 5 geklärt werden.

5. Lebenszykluskostenanalyse

Darüber, wie sich Lebenszykluskosten anteilig auf die einzelnen Lebenszyklusphasen von großvolumigen Wohnbauten aufteilen, finden sich in der Literatur nur wenig belegte Angaben. Zum Thema „leistbares Wohnen“ gibt es viele Studien⁸, die vor allem den volkswirtschaftlichen Kontext hervorheben und der Frage nachgehen, wie die Entwicklung der Wohnkosten und der Bau- sowie der Immobilienpreise verläuft. Die Ergebnisse sind für die Fördergeber wichtig, denn sie stellen eine mögliche Entscheidungsgrundlage für die Entwicklung der Wohnbauförderung und das Ausmaß der notwendigen Mittel für energieökologische Maßnahmen dar.

Das folgende Kapitel wählt einen betriebswirtschaftlichen Ansatz. Das Ziel ist es, für den gemeinnützigen Wohnungsbau, die in der Errichtung, im Erhalt und im Betrieb einer Wohnhausanlage entstehenden Kosten durch die Verschärfung der Anforderungen an die Energieeffizienz bis 2020 über den gesamten Lebenszyklus der Gebäude darzustellen. Im Zusammenhang mit den Lebenszykluskosten von Gebäuden werden dabei vor allem die Themenbereiche Haustechnik/Energieversorgung, die Gebäudehülle, die Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten, sowie Reinigungs- und Verwaltungskosten betrachtet. Kostentreiber werden quantitativ identifiziert. In der quantitativen Untersuchung werden die Lebenszykluskosten und die Folgekosten, bezogen auf die Preisbasis 2015, der vier Ausgangsvarianten und der vier Gebäudekonzepte für eine Lebensdauer von 89 Jahren berechnet und miteinander verglichen.

5.1. Grundlagen und Vorgehensweise

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen der folgenden Lebenszykluskostenanalyse dargelegt sowie die getroffenen Annahmen begründet. Für die Berechnung der Lebenszykluskosten wird das Lebenszykluskostenprognosemodell „LEKOECS“ der Donau-Universität Krems verwendet. Es entstand aus dem vom Klima- und Energiefonds im Programm „ENERGIE DER ZUKUNFT“ geförderten Grundlagenforschungsprojekts „Lebenszykluskosten von Gebäuden“ und wurde als standardisiertes, praxistaugliches Werkzeug zur Berechnung der Lebenszykluskosten von Immobilien für den Einsatz in der Immobilien-Projektentwicklung entwickelt. (Ipser C., Floegl H., Mötzl H., & et al, 2014)

Das genannte Lebenszyklusprognosemodell ist in Anlehnung an die ÖNORM B 1801-1 und ÖNORM B 1801-2 sowie die ÖNORM B1801-4 strukturiert und transparent aufgebaut. Die

⁸ Siehe zum Beispiel: „Leistbare Mieten – Leistbares Leben“; Streissl-Führer A., Kon D, et al; erstellt für ÖVI; 2015
„Leistbares Wohnen“; Mundt A., Amann W; erstellt für das Sozialministerium; 2015

Lebenszykluskosten bewerten neben den im vorigen Kapitel erarbeiteten Energiebedarfen zusätzlich die ökonomische Nachhaltigkeit der Projekte. Sie spielen langfristig im Zusammenhang mit der geforderten Leistbarkeit von Wohnraum eine zentrale Rolle. In der quantitativen Untersuchung werden die vier Ausgangsvarianten und die vier optimierte Varianten herangezogen. Für alle diese Objekte werden sowohl die Bauwerkskosten als auch die laufenden Betriebs-, Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten erhoben und diese bezogen auf das Jahr 2015 dargestellt. Die Nutzungsdauer wird mit maximal 89 Jahren angenommen und die Lebenszykluskosten sowie die Folgekosten in Euro gesamt, beziehungsweise in Euro/m² WNF ermittelt, verglichen, interpretiert und grafisch dargestellt.

Für die Berechnung der Lebenszykluskosten werden die Barwerte der Folgekosten auf den Zeitpunkt der Fertigstellung des Gebäudes abgezinst. Die Finanzierungskosten werden in der Berechnung nicht berücksichtigt. Zwar stellen die Annuitätenbelastungen in nicht ausfinanzierten Mietwohnungen im Anwendungsbereich des Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetzes (WGG) einen wesentlichen Kostenfaktor im Lebenszyklus eines Gebäudes dar, die Einbeziehung dieser Kosten ist jedoch nicht Ziel des gegenständlichen Projekts und wurde daher aufgrund der besseren Vergleichbarkeit der einzelnen Wohngebäude untereinander vernachlässigt. Als kalkulatorischer Zinssatz für die Barwertberechnung wird die Sekundärmarktrendite (Mittelwert 2011-2013) angesetzt, empfohlen in der ÖNORM B 1801-4. Die Berechnung wird ohne die Mehrwertsteuer (Netto) gemacht, da die Ergebnisse primär als Handlungsleitfaden für die Salzburger Wohnbauförderung und gemeinnützige Wohnbauträger dienen.

Folgend eine Auflistung der wesentlichen Grundlagen und Annahmen:

- Das Bezugsjahr ist das Jahr 2015.
- Es werden die Barwerte aller Folgekosten ermittelt.
- Die berücksichtigten Kostengruppen sind: Bauwerkskosten (BWR, BWT, BWA)⁹. Die tatsächlich abgerechneten Kosten der Referenzgebäude können auf Grund verschiedener Parameter (z.B. Angebot, Auftragslage, ökonomische Gesamtsituation, Wetter etc.) erheblich abweichen. Zusätzlich standen nicht zu jedem Objekt eine detaillierte Aufschlüsselung (z. B. Kosten Wärmeerzeuger, Wärmeabgabesystem, Lüftungssystem, thermische Solaranlage etc.) zur Verfügung. Zum Zwecke der besseren Vergleichbarkeit wurden daher die Kosten für die technische Gebäudeausstattung (BWT) auf Grundlage von BKI Objektdaten G3 Technische Gebäudeausrüstung (2012) ermittelt. Diese Kosten werden mit dem Regionalfaktor für Salzburg gemäß der Eurostat Datenbank „New Cronos“ von 0,923 korrigiert.

⁹ Siehe Kapitel 5.2

- Die nicht berücksichtigten Kostengruppen sind: Grund, Aufschließung, Einrichtung, Außenanlagen, Planungsleistung, Nebenleistung, Reserven
- Die maximale Nutzungsdauer des Gebäudes wurde mit 89 Jahren angenommen. Diese Annahme wurde aus einem bestimmten Grund gewählt. Eine Vielzahl an Komponenten der Technischen Gebäudeausstattung weist lt. VDI 2067 eine Lebensdauer von 15 Jahren auf. Bei einer Nutzungsdauer von beispielsweise 90 Jahren fällt unter diesen Bedingungen eine Ersatzinvestitionsmaßnahme für die Gebäudeausstattung zu Ende der Nutzungsdauer an, welche aus Sicht der Verfasser unrealistisch ist und somit das Berechnungsergebnis verfälschen würde.
- Die Instandsetzungsmaßnahmen sowie die Prozentsätze der Instandhaltungskosten der einzelnen gebäudetechnischen Systeme werden Anhand des Nutzungsdauerkatalogs der VDI 2067 angenommen.
- Der Abzinsungsfaktor entspricht dem Durchschnittswert der Sekundärmarktrendite Bund der Jahre 2011-2013. Die Sekundärmarktrendite wurde am 01. April 2015 vom Nachfolgeindex „Umlaufgewichtete Durchschnittrendite für Bundesanleihen“ (UDRB) abgelöst. (Österreichische Nationalbank, 2015) Auf Grund der Tatsache, dass die Umstellung während der Bearbeitung des Projektes erfolgte, wird der „UDRB“ nicht berücksichtigt.
- Die Mehrkosten für die Errichtung eines Gebäudes mit Passivhauskomponenten sowie einer weitgehend wärmebrückenfreien und luftdichten Konstruktion wurden mit 10 % angenommen. Eine Berücksichtigung der Minderkosten erfolgt nicht.
(Schöberl, 2013)

In Tabelle 29, Tabelle 30, Tabelle 31 und Tabelle 32 werden die den Berechnungen zu Grunde liegenden Parameter samt Quellen aufgelistet.

Finanzielle Parameter	Rechenwert [%]	Quelle
Preissteigerung Bau (pBau)	2,77	STATISTIK AUSTRIA: Baupreisindex für den Hochbau, Wohnhaus- und Siedlungsbau insgesamt, Mittelwert 2008-2013
Preissteigerung Technik (pTechnik)	1,35	STATISTIK AUSTRIA: Erzeugerpreisindex Investitionsgüter (EU-harmonisierte Verwendungskategorien), Mittelwert 2008-2013
Preissteigerung Verbrauchspreise (pAllg)	2,25	STATISTIK AUSTRIA: Harmonisierter Verbraucherpreisindex, Mittelwert 2008-2013
Preissteigerung Energieträger exkl. Strom (pEnergie)	3,69	AEA auf Basis STATISTIK AUSTRIA: EPI Energiepreisindex der Österreichischen Energieagentur, Mittelwert 2008-2013
Preissteigerung Strom (pStrom)	2,03	AEA auf Basis STATISTIK AUSTRIA: Stromanteil EPI, Mittelwert 2008-2013
Preissteigerung Gas (pGas)	3,00	AEA auf Basis STATISTIK AUSTRIA: Gasanteil EPI, Mittelwert 2008-2013
Preissteigerung Fernwärme (pFernw)	3,73	AEA auf Basis STATISTIK AUSTRIA: Fernwärmeanteil EPI, Mittelwert 2008-2013
Preissteigerung feste Brennstoffe (z. B. Brennholz, Pellets, Holzbriketts)	1,60	AEA auf Basis STATISTIK AUSTRIA: Anteil feste Brennstoffe EPI, Mittelwert 2008-2013
Preissteigerung Lohnintensiv (pLohn)	2,67	STATISTIK AUSTRIA: Erzeugerpreisindex für unternehmensnahe Dienstleistungen, Reinigung von Gebäuden, Straßen und Verkehrsmitteln ÖNACE (2008) 81.2, Mittelwert 2008-2013
Verzinsung (r)	1,70¹⁰	STATISTIK AUSTRIA: Sekundärmarktrendite Österreich, Mittelwert 2011 -2013.

Tabelle 29: Finanzielle Parameter – Rechenwert und Quellen

¹⁰ Dieser Wert ist sehr stark von der internationalen Geldmarktpolitik der Zentralbanken abhängig. Ein sinnvoller Wert für die Verzinsung ergibt sich aus einem Mittelwert der Jahre 2011 bis 2013, da die Werte in diesem Zeitraum auf einer abgestimmten Geldmarktpolitik der Zentralbanken fußen.

Kosten Energieträger	[€/kWh]	Quelle
Strom	0,150	Salzburg AG https://www.salzburg-ag.at/waerme/fernwaerme/ abgerufen am 09.07.2015
Gas	0,065	Salzburg AG https://www.salzburg-ag.at/waerme/fernwaerme/ abgerufen am 09.07.2015
Fernwärme (Arbeitspreis netto)	0,067	Salzburg AG https://www.salzburg-ag.at/waerme/fernwaerme/ abgerufen am 09.07.2015
Pellets	0,046	http://www.propellets.at/de/pelletpreise/ Stand Juni 2015 abgerufen am 09.07.2015
Einspeisetarif	0,032	Ökostrom- Einspeisetarifverordnung 2014 (12,5 Cent/kWh für 13 Jahre), ohne Anerkennung als Ökostromanlage ist nur die ÖMAG - Abwicklungsstelle für Ökostrom AG zur Abnahme des Stroms zu gängi- gen Marktpreisen verpflichtet (3. Quartal 2015: 3,225 Cent/kWh)

Tabelle 30: Energieträger – Kosten und Quellen

Ver- und Entsorgung	[€]	Quelle
Wasserbezugsgebühr/m ³	1,49	Salzburg AG Wasserpreis, netto, ohne Messpreis Stand 01.01.2015 https://www.salzburg-ag.at/wasser/zahlen-fakten/ abgerufen am 08.07.2015
Abwassergebühr/m ³	0,065	Kanal-/Gewässeramt Stadt Salzburg, Stand 07/2015
Müllentsorgungskosten/1.000l	35,04	dieSalzburg

Tabelle 31: Ver- und Entsorgung – Kosten und Quellen

Daten		Quelle
Technische Gebäudeausrüstung Nutzungsdauer, Prozentsatz der Bauwerkskosten für Wartung, kleine Instandsetzung & Reparaturen		VDI 2067
Abbruchkosten		dieSalzburg
Reinigung und Pflege		dieSalzburg Abrechnung der Hausverwaltung
Bauwerk Technik Kosten Korrigiert mit Regionalfaktor Salzburg		BKI OBJEKTDATEN Kosten abgerechneter Bauwerke Technische Anlagen mit statistischen Kostenkennwerten G3 TECHNISCHE GEBÄUDEAUSRÜSTUNG BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.) Stuttgart: BKI 2012
Bauwerk Rohbau Kosten		dieSalzburg
Bauwerk Ausbau Kosten		dieSalzburg
Regionalfaktor Salzburg	0,923	Eurostat Datenbank New Cronos Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH 2014/2015

Tabelle 32: Datengrundlagen, Kosten BWR, BWT, BWA, Instandhaltung und Instandsetzung – Rechenwert und Quellen

Nicht alle Kosten für Bauwerk-Technik konnten den BKI-Objektdaten „G3 Technische Gebäudeausrüstung“ entnommen werden. Entweder waren die Kosten der Haustechnikkomponenten, welche Bestandteil der Gebäudekonzepte sind, nicht in den BKI-Objektdaten verfügbar oder die dokumentierten Komponenten entsprachen nicht den Anforderungen. In diesem Fall wurden die Kosten Herstellerangaben entnommen und entsprechend den Anforderungen für die Gebäudekonzepte adaptiert.

5.2. Bauwerkskosten der Referenzgebäude

Im Folgenden werden die Bauwerkskosten/m² Wohnnutzfläche der vier Ausgangsvarianten der Gebäude von „die Salzburg“ verglichen. Wie in Tabelle 4 dargestellt, wurde dem Projektteam zu den Referenzgebäuden eine aufgeschlüsselte Aufstellung der Errichtungskosten, soweit vorhanden, zur Verfügung gestellt. Da diese jedoch unvollständig ist, war ein Vergleich der Errichtungskosten nicht möglich. Daraus ergibt sich die Einschränkung auf die Bauwerkskosten – Bauwerk-Rohbau (BWR), Bauwerk-Technik (BWT) und Bauwerk-Ausbau (BWA), welche für alle vier Projekte verfügbar waren.

Abbildung 50 stellt die Bauwerkskosten pro m² Wohnnutzfläche der vier Referenzgebäude gegenüber.

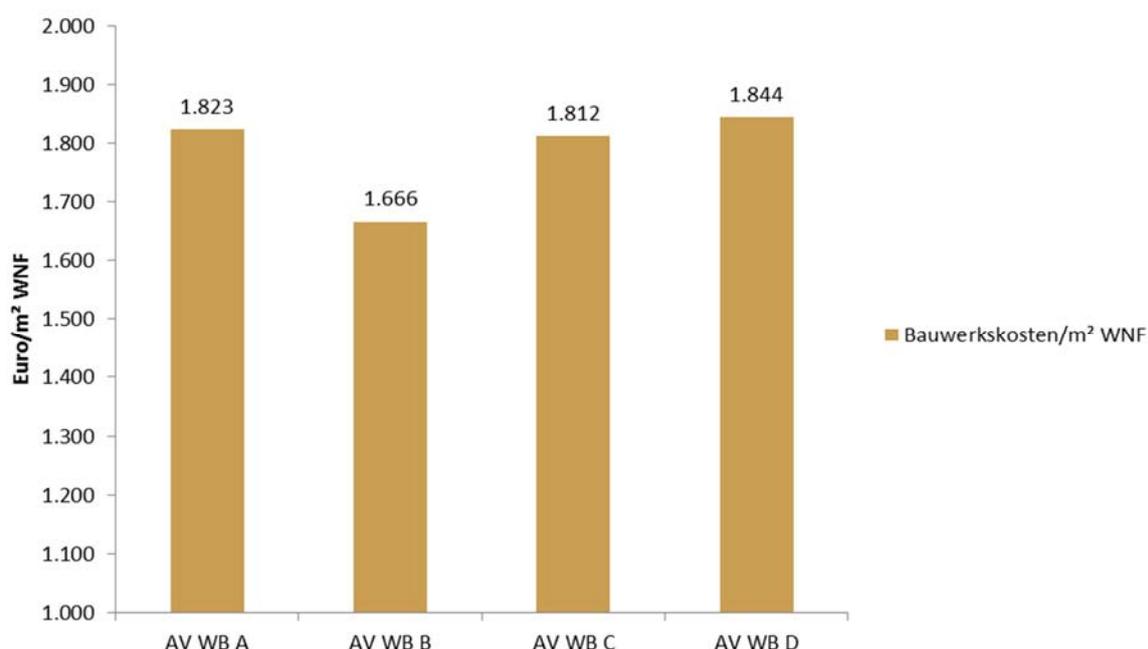


Abbildung 50: Bauwerkskosten pro m² WNF der vier Referenzgebäude (eigene Darstellung)

Es zeigt sich, dass der Unterschied zwischen dem teuersten und dem günstigsten Referenzgebäude laut Abrechnung von „die Salzburg“ 178 €/m² WNF beträgt. Dies entspricht Minderkosten von ca. 10 % in Bezug auf das teuerste Objekt. Wie in Abschnitt 5.1 erläutert, sind diese Kosten nicht mit den für die Lebenszykluskostenanalyse verwendeten Werten ident. Diese liegen im Vergleich zu den tatsächlich abgerechneten Kosten, je nach Referenzgebäude, zwischen 4 % und 7 % niedriger.

Die Darstellungen von Kosten und Kostenkennwerten in Abbildung 51 basieren auf der ÖNORM B 1801-1.

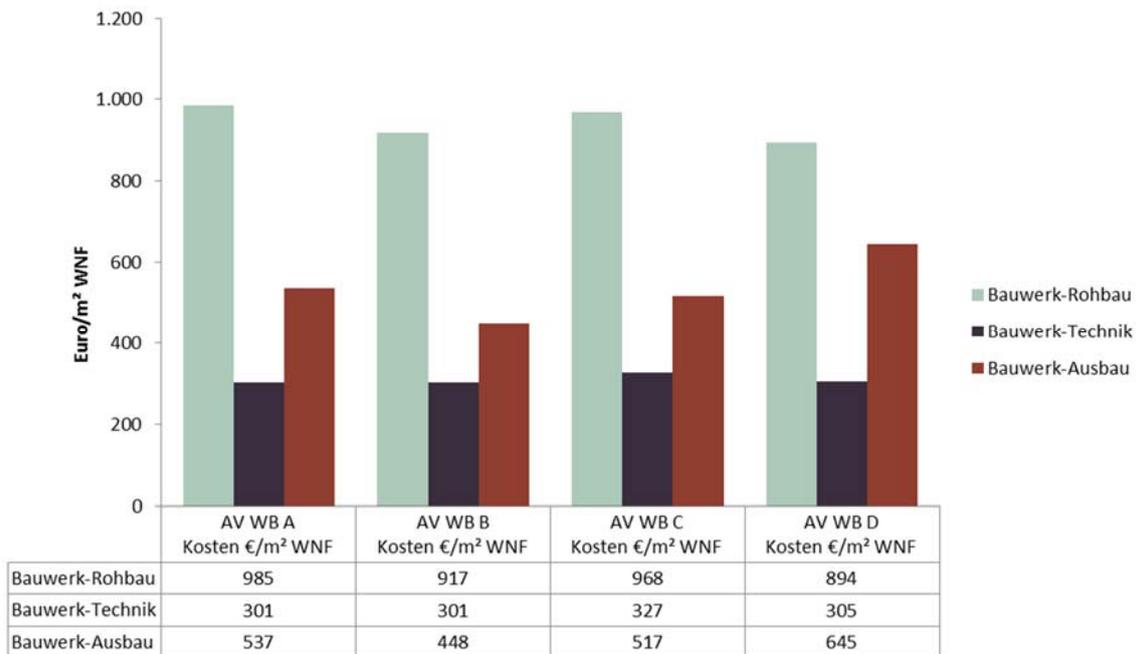


Abbildung 51: BWR/BWT/BWA pro m² WNF der vier Referenzgebäude (eigene Darstellung)

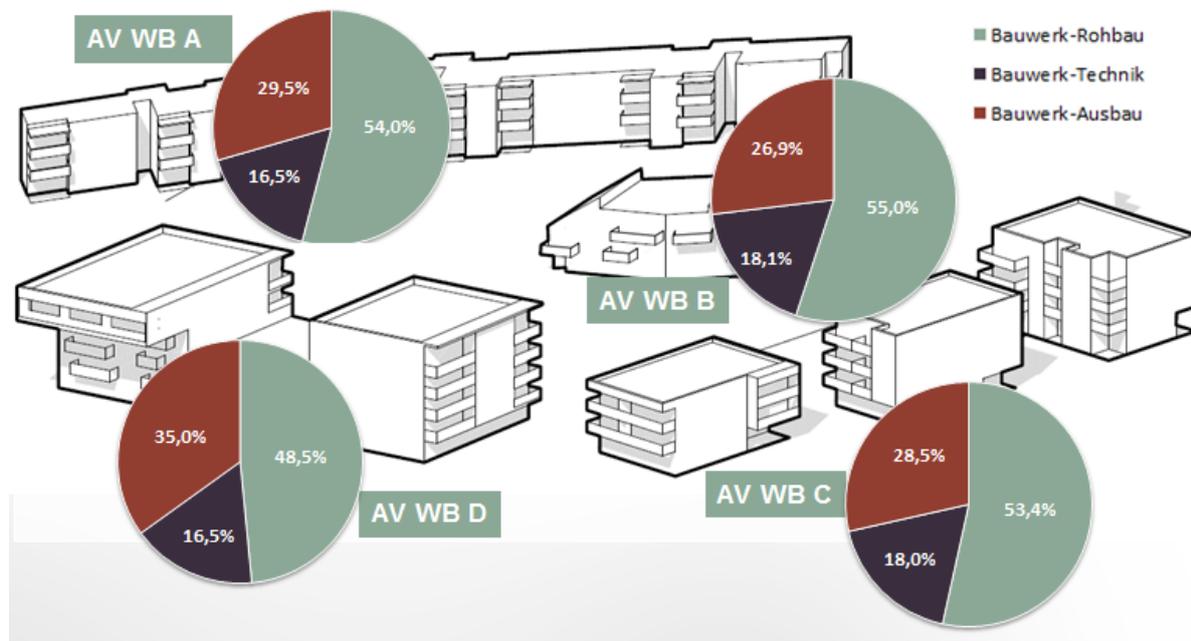


Abbildung 52: prozentuelle Verteilung BWR/BWT/BWA pro m² WNF der vier Referenzgebäude (eigene Darstellung)

Abbildung 51 und Abbildung 52 zeigt eine relativ homogene Verteilung der Kosten Bauwerk-Rohbau, Bauwerk-Ausbau und Bauwerk-Technik. Lediglich Referenzgebäude AV WB D weist einen erhöhten Anteil an Bauwerk-Ausbau Kosten auf.

5.3. Ermittlung der Kostenoptimalität

Die Ermittlung der Kostenoptimalität erfolgt nach den Beschreibungen der Grundlagen und der gewählten Vorgehensweise in Abschnitt 5.1 für die vier Referenzgebäude und die vier Gebäudekonzepte. Die Darstellung der Lebenszykluskosten, sowie der prozentuellen Verteilung der Lebenszykluskosten und der Folgekosten über einen Betrachtungszeitraum von 89 Jahren erfolgt am Beispiel des Referenzgebäudes AV WB A.

In weiterer Folge werden die Referenzgebäude mit den jeweiligen Gebäudekonzepten verglichen. Dabei werden die Lebenszykluskosten in Euro/m² WNF sowie die Lebenszykluskosten für die Haustechnik und Energieversorgung betreffende Kostengruppen in Euro/m² WNF betrachtet. Im Detail sind dies die Kosten für die *Errichtung* der Bauwerk-Technik, der technische Gebäudebetrieb (*Gebäudemanagement*), die *Wartung* Bauwerk-Technik, kleine Instandsetzungen und *Reparaturen* Bauwerk-Technik, *Instandsetzung* Bauwerk-Technik, *Heizung*, *Warmwasser* sowie *Strom Verbraucher* ohne Haushaltsstrombedarf. Wird Strom vor Ort erzeugt so fließt dies in die Berechnung mit ein. Eine mögliche Überproduktion wird mit dem Einspeisetarif gemäß Tabelle 30 gutgeschrieben. Diese Kostengruppe wird mit dem Namen „Lebenszykluskosten BWT und Energieversorgung“ beschrieben.

Die Gliederung der Lebenszykluskosten für das vorliegende Projekt folgt nachfolgendem Schema in Abbildung 53 und dient der besseren Orientierung.



Abbildung 53: Schema Lebenszykluskosten (eigene Darstellung)

Lebenszykluskosten AV WB A

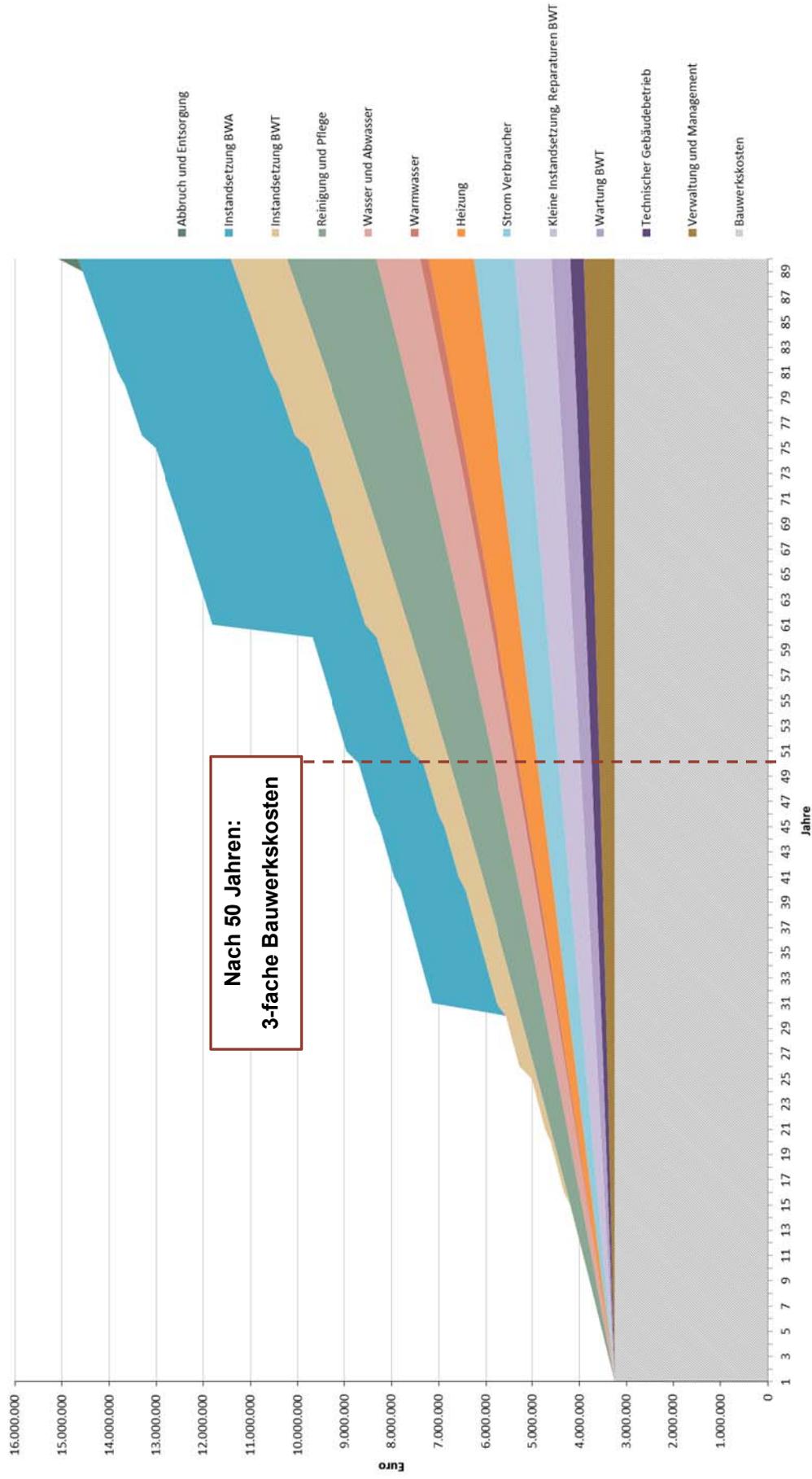


Abbildung 54: LZK AV WB A, 89 Jahre (eigene Darstellung)

Lebenszykluskosten AV WB A

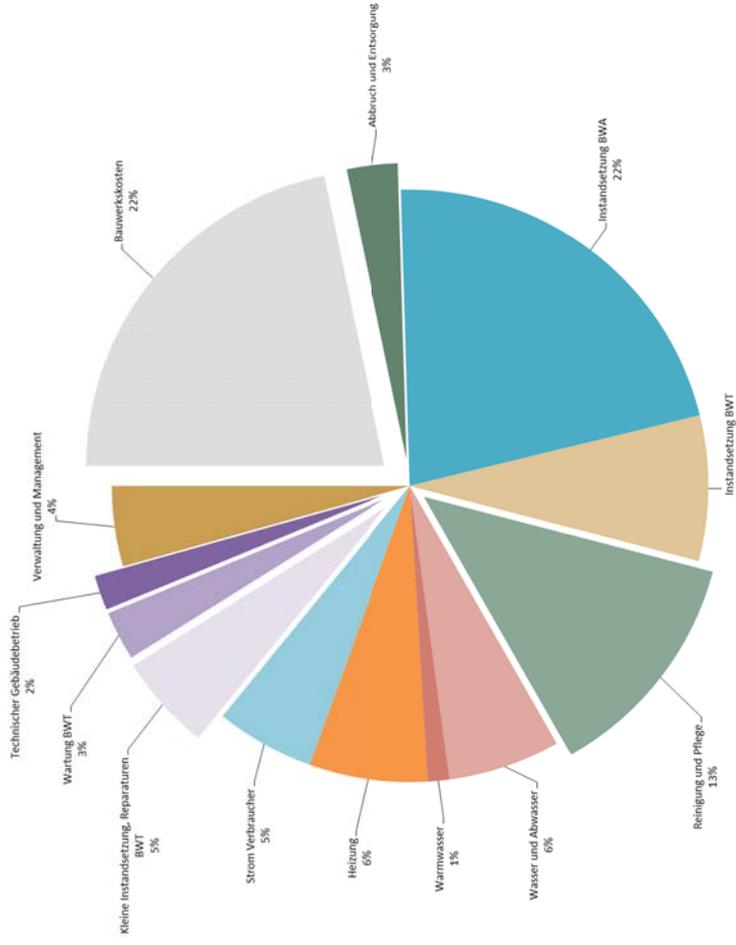


Abbildung 55: prozent. Verteilung LZK AV WB A, 89 Jahre (eigene Darstellung)

Folgekosten AV WB A

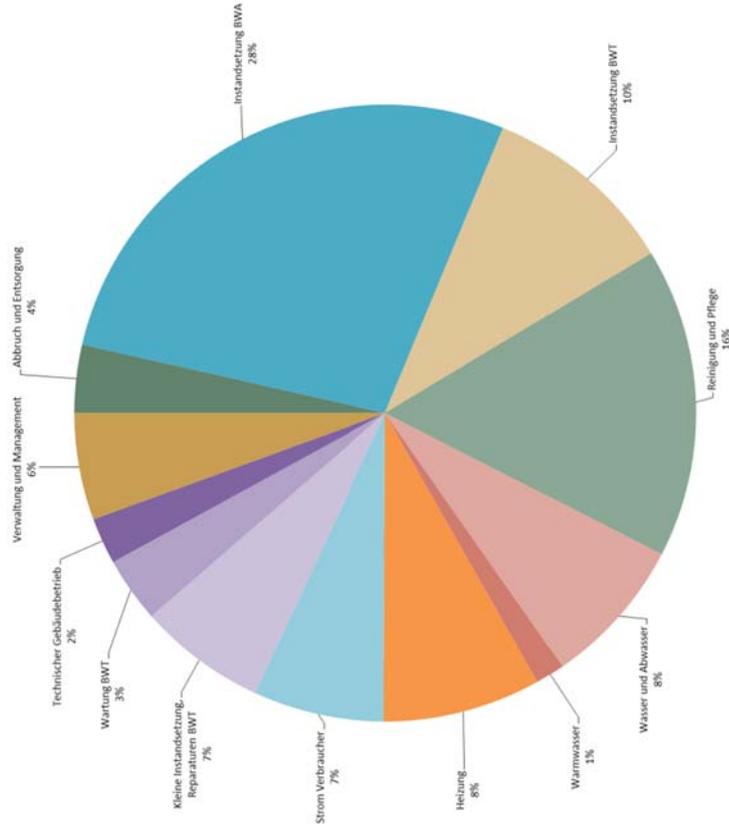


Abbildung 56: prozent. Verteilung Folgekosten AV WB A, 89 Jahre (eigene Darstellung)

Lebenszykluskosten für die Referenzgebäude und die Gebäudekonzepte (89 Jahre)



Abbildung 57: LZK in Euro/m² WNF; Referenzgebäude vs. Gebäudekonzepte; 89 Jahre (eigene Darstellung)

Tabelle 33 fasst die Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse der Ausgangsvarianten sowie der optimierten Varianten über eine Lebensdauer von 89 Jahren zusammen. Die Zahlenwerte und Prozentangaben werden auf ganze Zahlen gerundet.

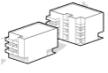
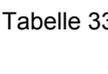
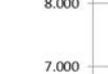
	Bauwerkskosten [€/m ² WNF]	Folgekosten [€/m ² WNF]	LZK/m ² WNF [€/m ² WNF]	LZK/Bauwerkskosten [%]
 AV WB A	1.751	6.356	8.108	463
 OV WB A „passiv“	1.949	6.304	8.253	424
 AV WB B	1.542	6.445	7.987	518
 OV WB B „solar“	1.669	5.990	7.659	460
 AV WB C	1.706	6.316	8.022	470
 OV WB C „aktiv“	1.801	6.032	7.833	435
 AV WB D	1.775	6.261	8.036	453
 OV WB D „null“	1.768	6.144	7.912	448

Tabelle 33: Auflistung der Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse; 89 Jahre (eigene Darstellung)

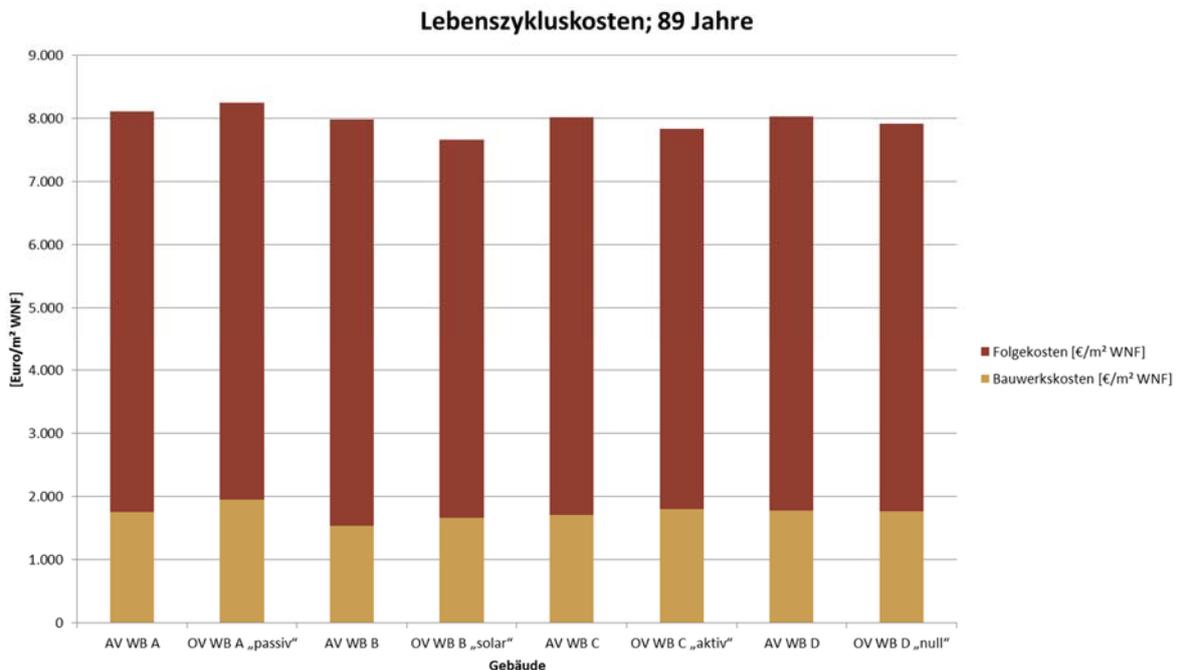


Abbildung 58: Lebenszykluskosten gegenübergestellt; 89 Jahre (eigene Darstellung)

In Tabelle 33 ist zu erkennen, dass der Barwert der Lebenszykluskosten bei einem Betrachtungszeitraum von 89 Jahren im geförderten großvolumigen Wohnbau in Salzburg mit dem *Vier- bis Fünffachen* der Bauwerkskosten anzusetzen ist. Dieser Verhältniswert hat auch auf für die entwickelten Gebäudekonzepte Gültigkeit.

Abbildung 58 zeigt eine Bandbreite der Bauwerkskosten von minimal 1.542 €/m² WNF für AV WB B und maximal 1.949 €/m² WNF für OV WB A „passiv“.

Die Folgekosten schwanken über den Betrachtungszeitraum von 89 Jahren zwischen minimal 5.990 €/m² WNF für OV WB B „solar“ und 6.445 €/m² WNF für AV WB B. Die Lebenszykluskosten aller Analysen weisen eine relative geringe Differenz von ca. 450 €/m² WNF über 89 Jahre auf.

Als Kostentreiber über den Lebenszyklus eines Bauwerks ist vor allem die Instandsetzung der Gebäudehülle (Bauwerk-Ausbau) mit einem Anteil von circa einem Viertel der Lebenszyklus- und Folgekosten verantwortlich. Durch die voranschreitende Technisierung im Gebäudebereich werden haustechnisch Anlagen immer mehr zu Kostentreibern, sowohl in Bezug auf die Errichtungskosten als auch beim technischen Gebäudebetrieb (Inspektionen, Wartung und Instandhaltung) und der Instandsetzung. Das Nutzerverhalten hat einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Folgekosten von Wohngebäuden wurde aber im gegenständlichen Projekt nicht erfasst. Des Weiteren sind die Kosten für die Reinigung und Pflege sowie der gesamte Strombedarf nicht zu vernachlässigen.

Insgesamt zeigt die Analyse eindrücklich, dass für die Sicherstellung langfristig leistbaren Wohnraums neben der reinen Optimierung der Bauwerkskosten auch im Bereich der Folgekosten angesetzt werden muss.

AV WB A vs. OV WB A „passiv“

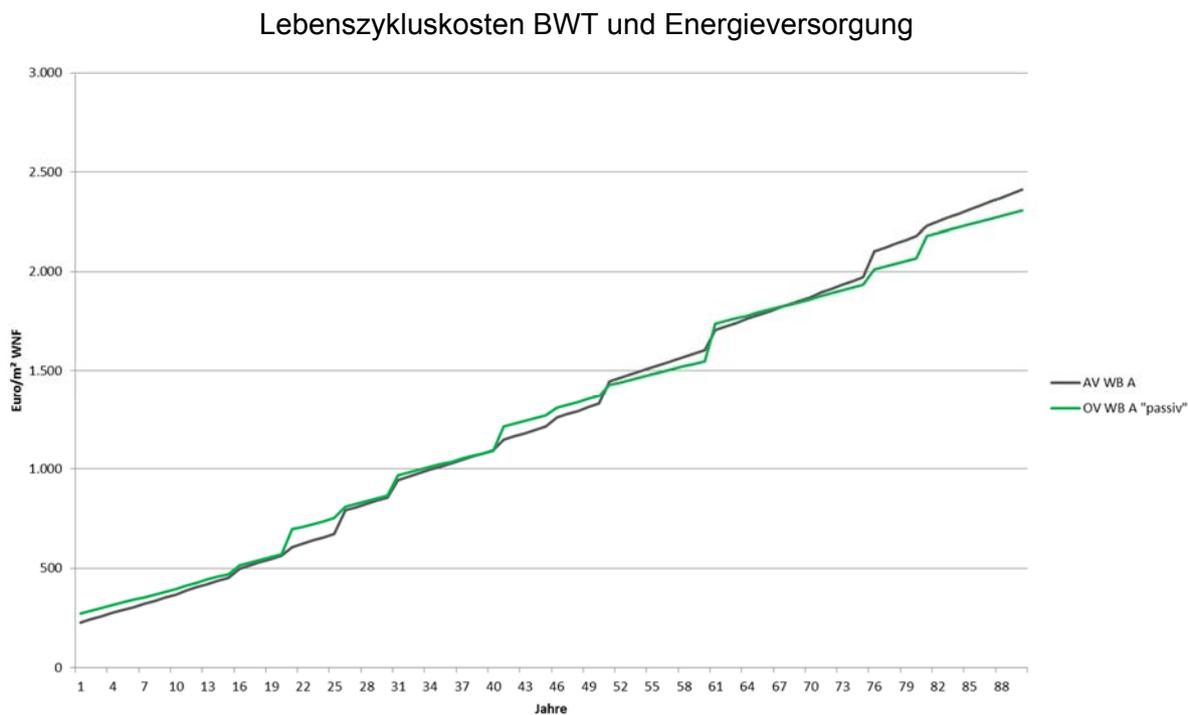


Abbildung 59: LZK BWT und Energieversorgung AV WB A vs. AV WB A „passiv“ (eigene Darstellung)

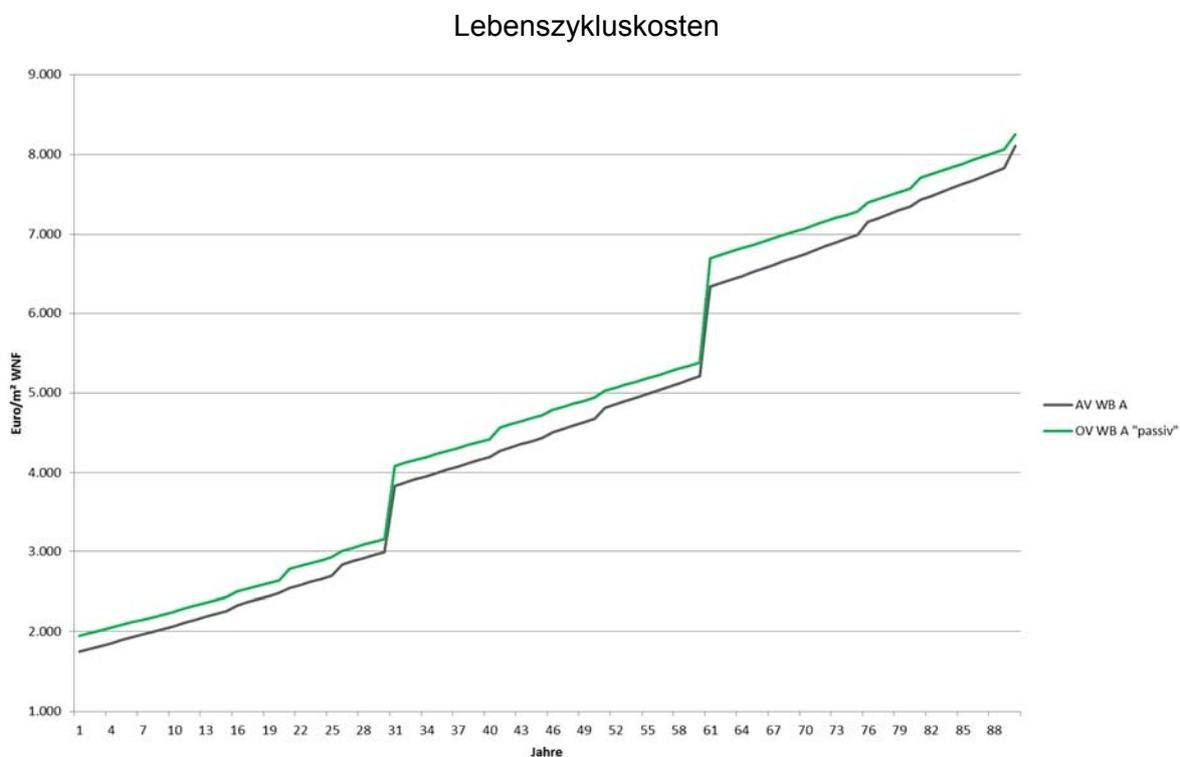


Abbildung 60: LZK AV WB A vs. AV WB A „passiv“ (eigene Darstellung)

AV WB B vs. OV WB B „solar“

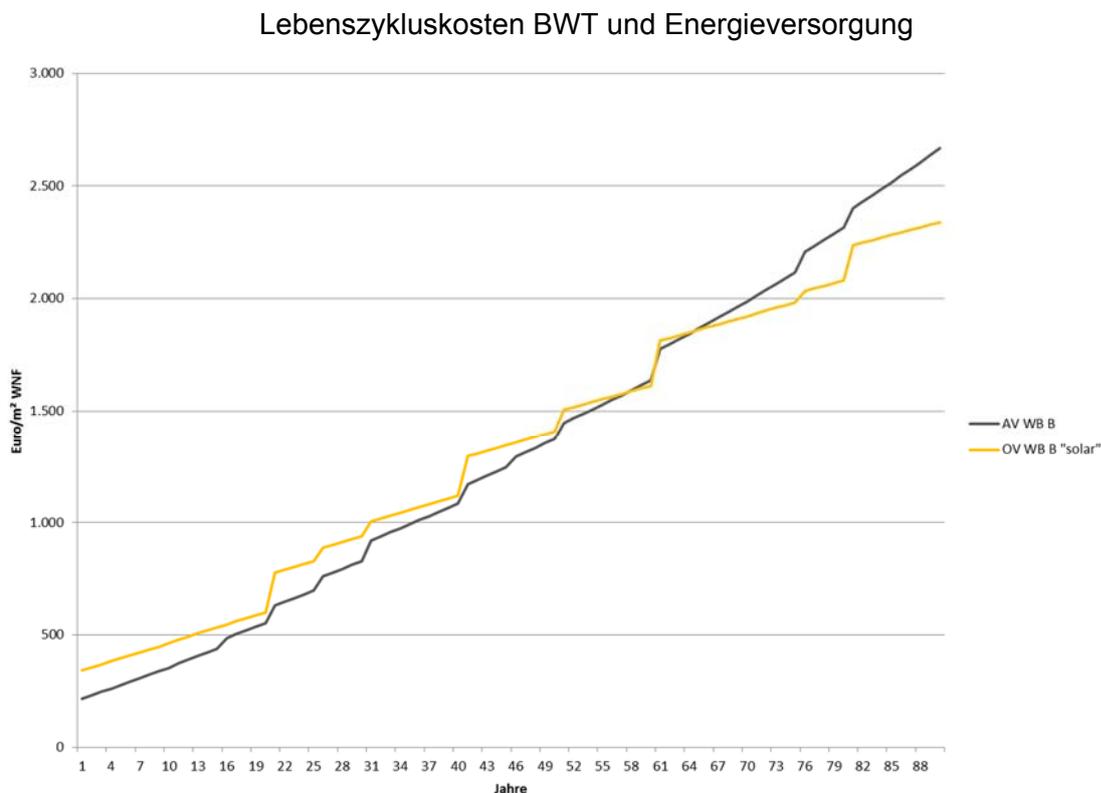


Abbildung 61: LZK BWT und Energieversorgung AV WB C vs. OV WB C „aktiv“ (eigene Darstellung)

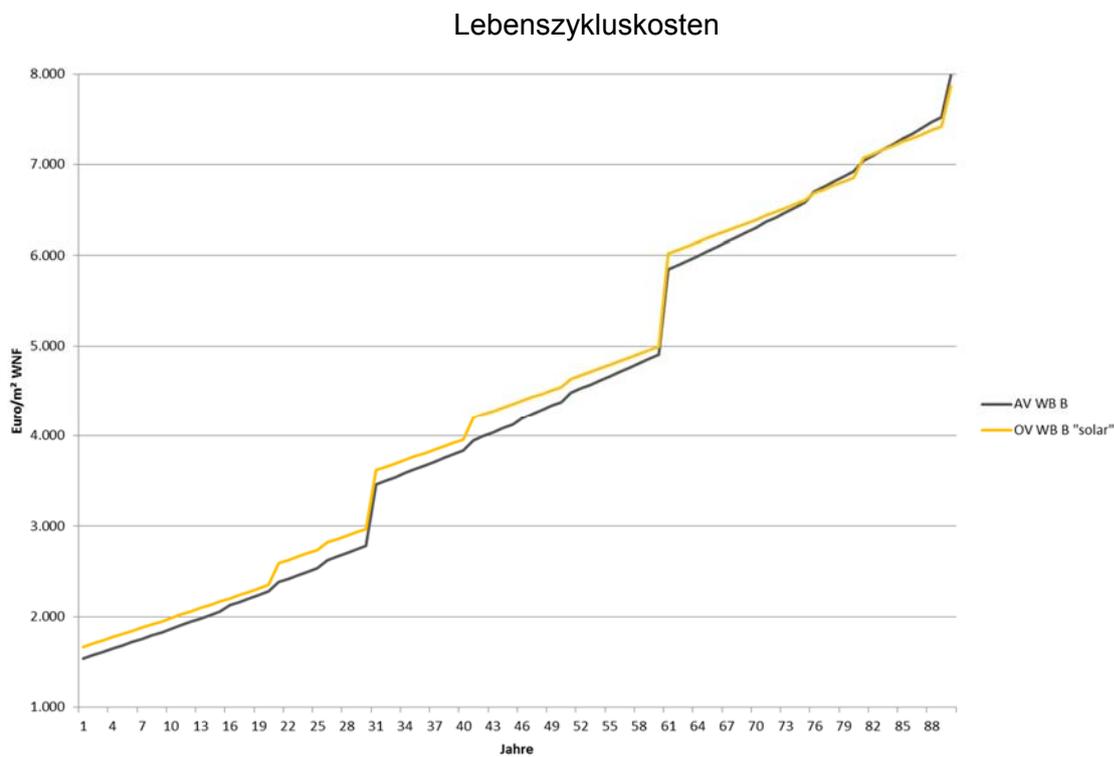


Abbildung 62: LZK AV WB B vs. OV WB B „solar“ (eigene Darstellung)

AV WB C vs. OV WB C „aktiv“

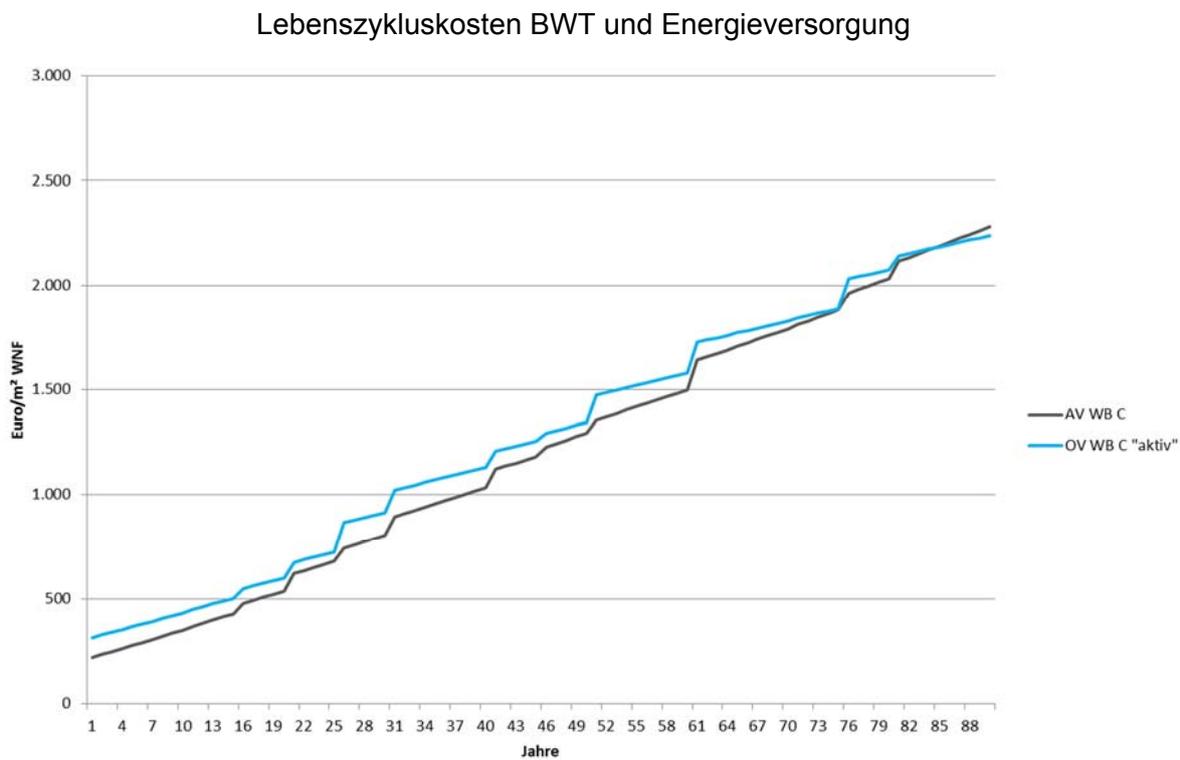


Abbildung 63: LZK BWT und Energieversorgung AV WB C vs. OV WB C „aktiv“ (eigene Darstellung)

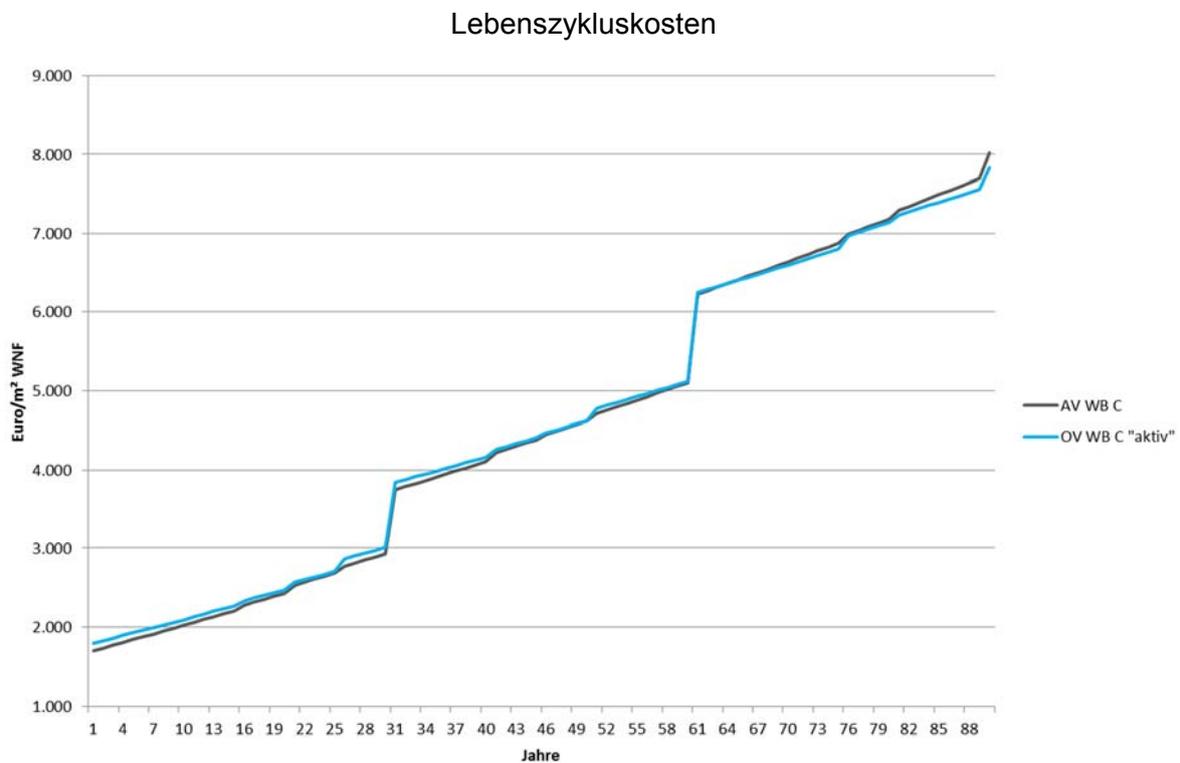


Abbildung 64: LZK AV WB C vs. OV WB C „aktiv“ (eigene Darstellung)

AV WB D vs. OV WB D „null“

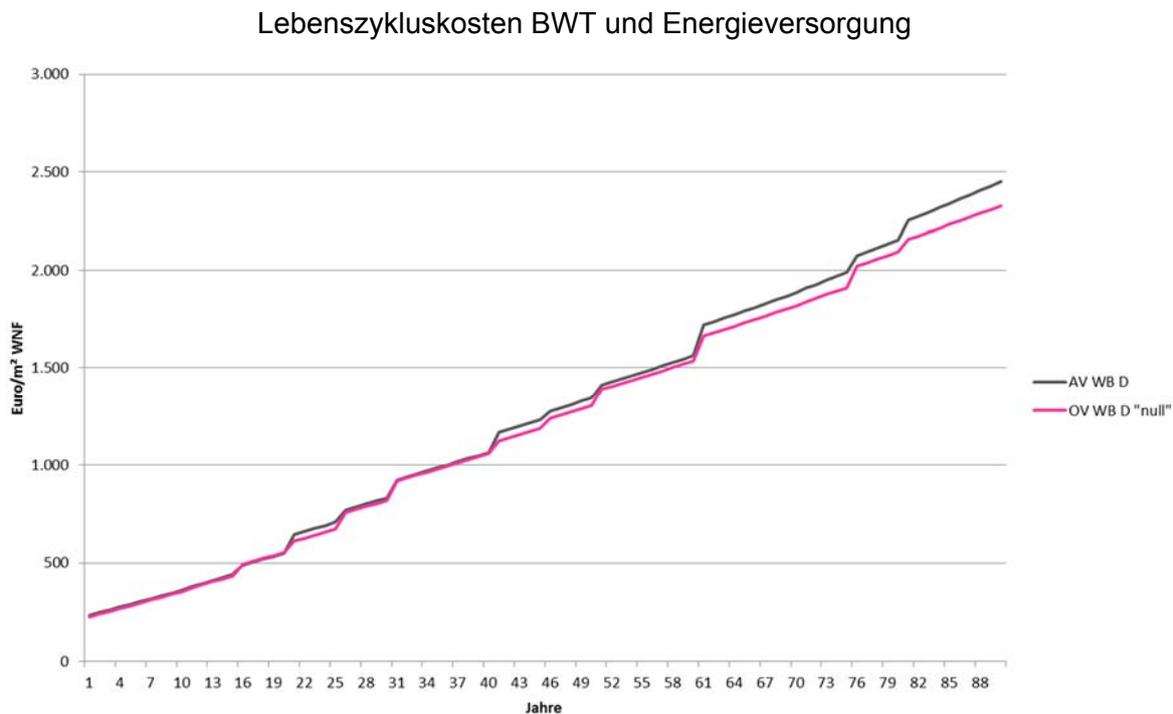


Abbildung 65: LZK BWT und Energieversorgung AV WB D vs. OV WB D „null“ (eigene Darstellung)

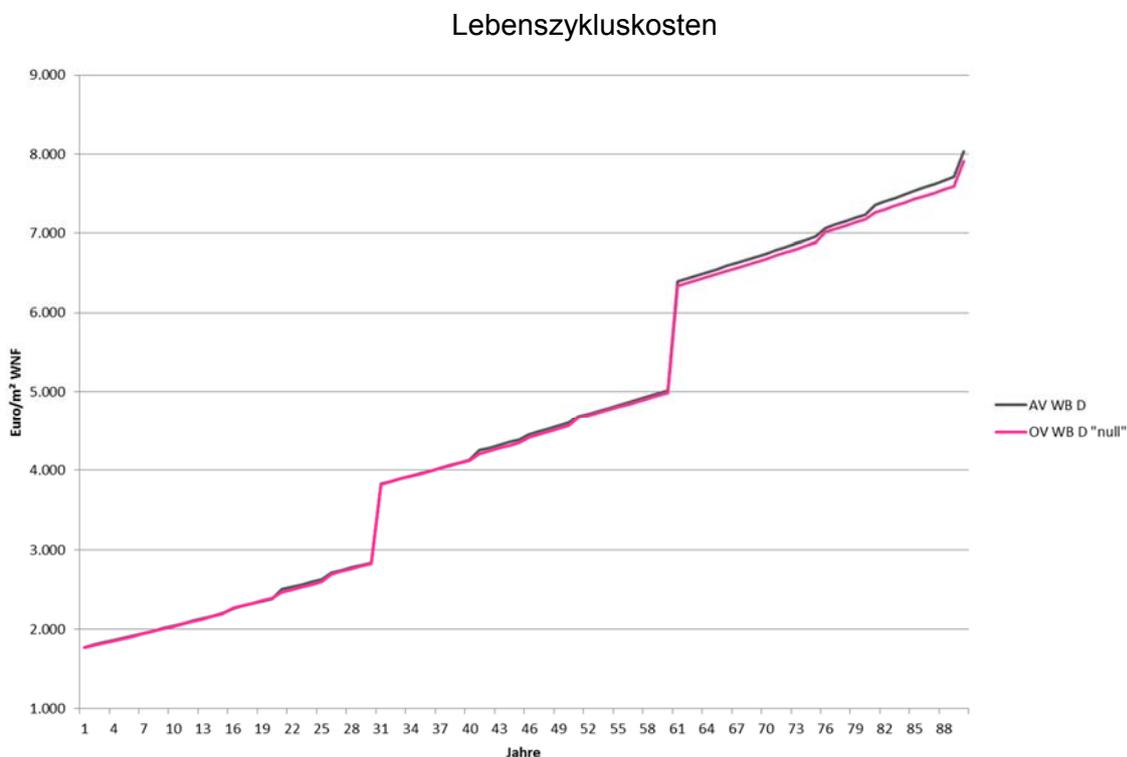


Abbildung 66: LZK AV WB D vs. OV WB D „null“

Lebenszykluskosten Bauwerk-Technik und Energieversorgung



Abbildung 67: Lebenszykluskosten Bauwerk-Technik und Energieversorgung; 89 Jahre (eigene Darstellung)

Lebenszykluskosten vs. Primärenergiebilanz

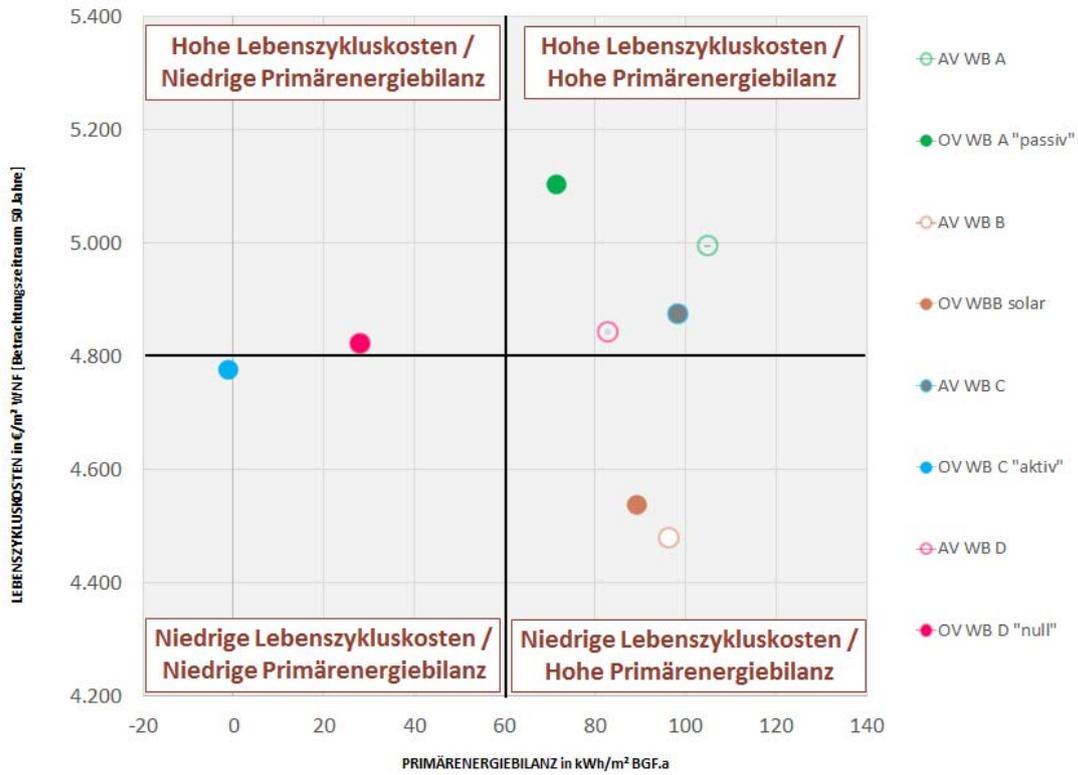


Abbildung 68: Matrix Lebenszykluskosten/Primärenergiebilanz; 50 Jahre (eigene Darstellung)

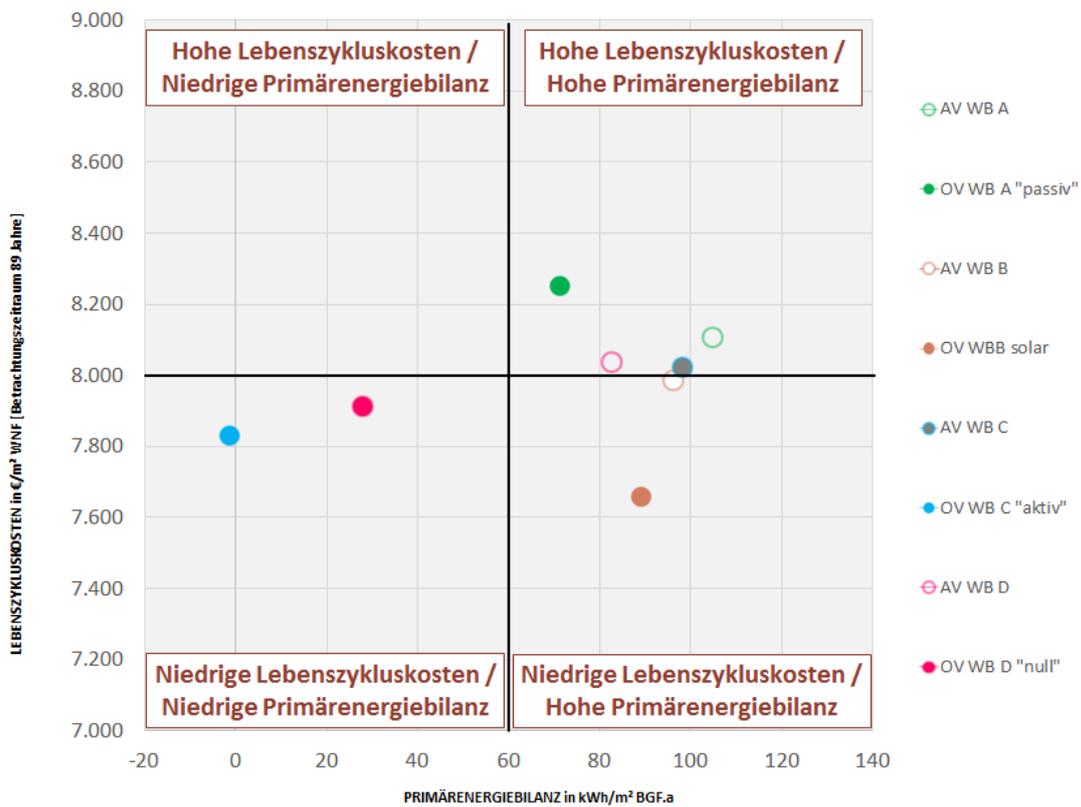


Abbildung 69: Matrix Lebenszykluskosten/Primärenergiebilanz; 89 Jahre (eigene Darstellung)

In Abbildung 68 und Abbildung 69 wurden die Lebenszykluskosten der Primärenergiebilanz in einer Matrix gegenübergestellt. Dabei wurden sowohl die Referenzgebäude als auch die entwickelten Gebäudekonzepte betrachtet. Abbildung 68 zeigt die Lebenszykluskosten über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren, Abbildung 69 über 89 Jahre. Die Darstellung dient als Orientierungshilfe, da die Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse, wie in Abschnitt 5.1 dargelegt, von einer Vielzahl an Variablen abhängig sind und auch die Ergebnisse der Primärenergiebilanz nur unter den getroffenen Annahmen Gültigkeit haben. Darüber hinaus wurde die Skalierung der y-Achse nach Ermessen des Projektteams sorgfältig bestimmt. Die vorliegenden Ergebnisse können allerdings als gute Annäherung betrachtet werden.

Wie in den beiden Abbildungen zu erkennen ist, unterscheiden sich Lebenszykluskosten aller betrachteten Gebäude um maximal 600 €/m² WNF. Die Lebenszykluskosten im Betrachtungszeitraum (50 Jahre) reichen von ca. 4.400 – 5.100€ pro m² Wohnnutzfläche. Nach 89 Jahren liegen diese Kosten dann bereits bei ca. 7.650 – 8.250€ pro m² Wohnnutzfläche. Im Vergleich betragen die reinen Bauwerkskosten der Varianten gerundet 1.500 – 1.950€ pro m² Wohnnutzfläche. Die höchsten Lebenszykluskosten weist das Gebäudekonzept OV WB A „passiv“ auf, welche die zusätzlichen Kosten einer Optimierung von Niedrigstenergiegebäude auf ein „Passivhaus-ähnliches“ Gebäude aufgrund der hohen Wartungs- und Instandsetzungskosten über den Lebenszyklus nicht kompensieren kann.

Die beiden Gebäudekonzepte OV WB D „null“ sowie OV WB C „aktiv“ weisen geringere Lebenszykluskosten als die jeweiligen Ausgangsvarianten auf und liegen auch in der primärenergetischen Betrachtung wesentlich besser. Vor allem das Gebäudekonzept „Nullenergie“ kann auf Grund einer hohe Eigenbedarfsdeckung durch die Erzeugung von Wärme und Strom vor Standort mittels einer Kraft-Wärme-Kopplung als kostenoptimal betrachtet werden. Beim „Plusenergiegebäude“ ist die Kostenoptimalität in starkem Ausmaß von den gültigen Einspeisevergütungen für vor Ort erzeugten Strom abhängig.

5.4. Auswirkungen zukünftiger Gebäudestandards auf die Wartungs- und Instandhaltungskosten lt. Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz

Sämtliche untersuchten Gebäude werden von der gemeinnützigen Wohnbaugesellschaft „die Salzburg GmbH“ errichtet und unterliegen dem Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz (WGG). Das Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz beruht auf dem Prinzip der Kostendeckung und gibt eine maximale Obergrenze für Erhaltungs- und Verbesserungsmaßnahmen vor. Als monatliches Entgelt darf von Gemeinnützigen Bauvereinigungen lediglich jener Betrag vereinbart werden, der für die Errichtung tatsächlich aufgewendet wurde. Die Bildung von Rücklagen zur Erhaltung ist möglich, ebenso die Einhebung von Betriebskosten. Die Höhe des Erhaltungs- und Verbesserungsbeitrags ist von der Bezugsdauer des Gebäudes abhängig. Laut WGG §14(d) Abs. 2 werden ab 01.04/05. 2014 in der Grundstufe 0,43 €/m² Wohnnutzfläche eingehoben. Ab einer Bezugsdauer von 10 Jahren erhöht sich dieser Wert auf 1,14 €/m² WNF und steigt ab einer Bezugsdauer von 20 Jahren auf 1,71 €/m² WNF. Danach erfährt der Erhaltungs- und Verbesserungsbeitrag keine Anpassung mehr.

Zusätzliche Gebäudetechnik und immer mehr Bauteilschichten mit geringen Lebensdauern wirken sich unmittelbar auf die Höhe der monatlichen und jährlichen Aufwendungen für Erhaltungs- und Verbesserungsmaßnahmen aus. Abbildung 70 zeigt anhand des exemplarischen Beispiels OV WB A „passiv“ das Verhältnis der kumulierenden maximalen monatlichen Rücklagen für Erhaltungs- und Verbesserungsmaßnahmen im direkten Vergleich mit dem anfallenden Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen bei einer angenommenen Verzinsung von 0,0 % beziehungsweise 0,8 %.

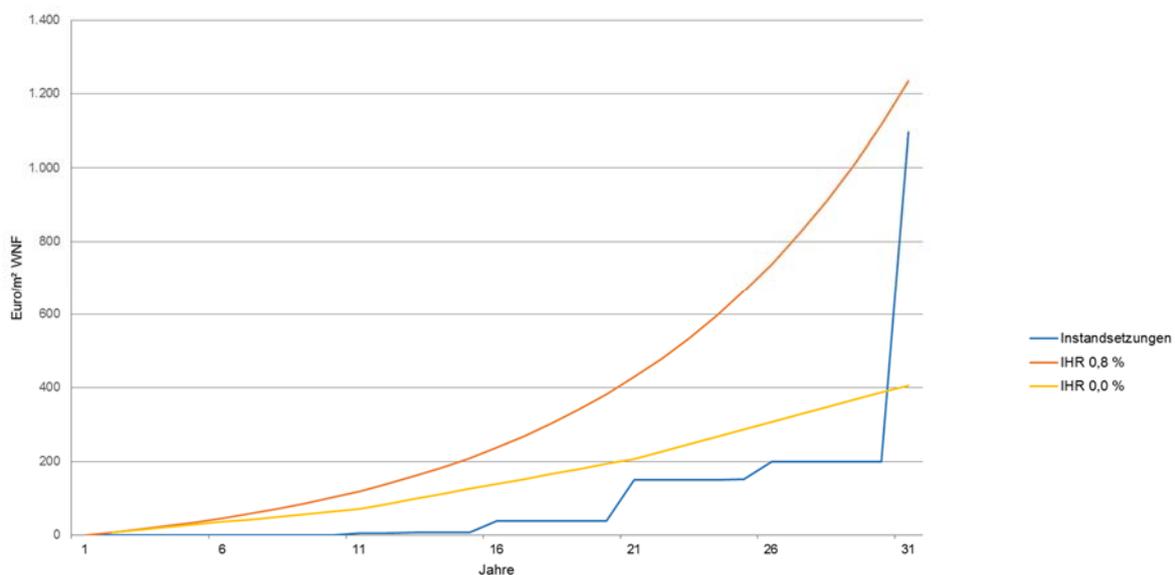


Abbildung 70: Instandhaltungsrücklage vs. Instandsetzungen bis 30 Jahre (eigene Darstellung)

In dieser Abbildung werden die anfallenden Kosten für Instandsetzung nicht von den Rücklagen für Erhaltungs- und Verbesserungsmaßnahmen in Abzug gebracht. Daher kann das Ergebnis nur als eine grobe Analyse der Problemstellung betrachtet werden. Nichtsdestotrotz ist zu beobachten, dass die angesparten Rücklagen, spätestens nach 30 Jahren, nicht mehr ausreichen um die Kosten für die anfallenden Instandsetzungen zu kompensieren. Dies bedeutet, dass für allfällige Sanierungen nicht ausreichend Ansparungen vorgenommen werden können und somit notwendige Instandsetzungen unter Umständen auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden müssen. Mögliche Folgen sind Schäden an der Bausubstanz, ineffiziente Haustechnik und insgesamt eine Wertminderung der Gebäudesubstanz.

Ergänzung:

Alle Angaben beziehen sich auf das Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz vor der WGG-Novelle 2015, welche mit 01.01.2016 in Kraft getreten ist. Eine Einarbeitung der Änderungen, welche sich durch diese Novellierung ergeben, ist im Rahmen dieses Projektes nicht vorgesehen. Ein Teil der Änderungen betrifft §14(d) in welchem der Erhaltungs- und Verbesserungsbeitrag (EVB) geregelt ist. So wird ab dem 01.01.2016 anstelle der bisherigen stufenweisen Erhöhung eine gleitende Anhebung zur Anwendung kommen. Konkret bedeutet dies, dass in den ersten fünf Jahren ab dem Erstbezugsdatum der Ausgangsbetrag von maximal 0,50 €/m².Mo nicht überschritten werden darf. Für jedes weitere Jahr erhöht sich dieser Betrag um 12 vH¹¹ pro Jahr, jeweils gerechnet vom Ausgangsbetrag. Diese gleitende Anhebung erfolgt bis zu einem Maximalbetrag von 2,00 €/m².Mo im 30. Jahr. (Österreichischer Verband gemeinnütziger Bauvereinigungen, 2015)

In Abbildung 71: EVB vs. EVB ab 01.01.2016 (eigene Darstellung) Abbildung 71 wird der EVB vor bzw. nach der Novellierung grafisch dargestellt.

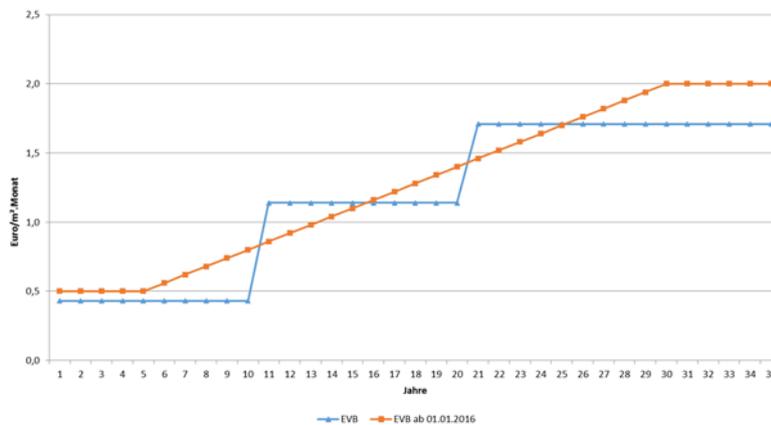


Abbildung 71: EVB vs. EVB ab 01.01.2016 (eigene Darstellung)

¹¹ Anmerkung: 12 vH = 12 Prozent

6. Schlussfolgerung

LEBENSZYKLUSBETRACHTUNG

Detaillierte Untersuchungen zu den Lebenszykluskosten werden derzeit vor allem im Büro- und Gewerbebau gemacht. Die vorliegende Studie bringt nun auch fundierte Ergebnisse für den Wohnbau in Salzburg.

Im geförderten großvolumigen Wohnbau in Salzburg lässt sich der Barwert der Lebenszykluskosten bei einem Betrachtungszeitraum von 89 Jahren mit dem Vier- bis Fünffachen der Bauwerkskosten ansetzen. Bei genauerer Betrachtung der Lebenszykluskosten zeigt die Kostenoptimalitätsberechnung sehr geringe Kostendifferenzen von ca. 450 Euro/m² Wohnnutzfläche über eine angenommene Lebensdauer von 89 Jahren. Dies trifft auch auf die Gebäudekonzepte „null“ und „aktiv“ zu, welche die Anforderungen des nationalen Plans zur Umsetzung der EPBD bei weitem primärenergetisch unterschreiten. Baustandards im mehrgeschossigen Wohnbau ab 2020 sind nur dann über den Lebenszyklus kosteneffizient, wenn der gestiegene Aufwand für die Wartung und Instandsetzung der Gebäudetechnik kostenoptimiert erfolgt und die Lebensdauer des technischen Ausbaus und der Gebäudetechnik langlebiger wird. Unter dieser Voraussetzung erscheinen auch Gebäudeoptimierungen bis hin zum „Nullenergiegebäude“ beziehungsweise „Aktivhaus“ im Neubau im Hinblick auf die Ziele im Jahr 2020 auch aus wirtschaftlicher Sicht langfristig gerechtfertigt und stellen gegenüber den derzeitigen Baustandards die kostenoptimale Variante dar. Die Ergebnisse der Lebenszykluskostenbetrachtung zeigen jedoch klar, dass für langfristig leistbaren Wohnraum speziell bei den Folgekosten angesetzt werden muss.

Die haustechnischen Anlagen sind bei allen untersuchten Gebäudevarianten starke Kostentreiber. Dies zeigt sich einerseits durch erhöhte Bauwerkskosten für Bauwerk-Technik, andererseits durch die notwendigen Instandsetzungen der technischen Gebäudeausstattung sowie beim technischen Gebäudebetrieb (Inspektionen, Wartung und Instandhaltung). Aufgrund der Lebensdauern von haustechnischen Anlagen zwischen 15 und 20 Jahren müssen diese im Lebenszyklus eines Gebäudes mindestens viermal ersetzt werden.

Laut den vorliegenden Berechnungen können die Mehrkosten einer zusätzlichen Optimierung der Ausgangsvariante in Niedrigstenergiebauweise (HWB: 36 kWh/m² BGF) in Richtung „Passivhaus“, insbesondere die stärkere Dämmung, Installation einer mechanischen Lüftungsanlage sowie deren Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten, nicht durch verringerte Energiekosten über den Betrachtungszeitraum von 89 Jahren ausgeglichen werden. Anders verhält es sich bei den Varianten „solar“, „aktiv“ und „null“ welche über den Lebenszyklus von 89 Jahren geringere Kosten pro m² WNF aufweisen als die Referenzgebäude. Im Gebäudekonzept „Nullenergie“ – „OV WB D „null“ – ist ein hoher Grad an Eigenbedarfsdeckung mit Wärme und Strom durch eine Kraft-Wärme-Kopplung vor Ort vorgese-

hen. Dadurch kann der Primärenergiebedarf als auch der CO₂-Ausstoß drastisch reduziert werden. Darüber hinaus ist diese Variante kostenoptimal. Die Variante OV WB C „aktiv“ kann den Primärenergiebedarf über die Jahresbilanz durch den Einsatz einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe und einer Photovoltaikanlage signifikant vermindern. Die Kohlendioxidemissionen sinken durch den Einsatz dieser Gebäudetechnikkonstellation trotz eines Primärenergiefaktors für Strom von 2,62 laut OIB 2011 ebenfalls. Die Wirtschaftlichkeit dieser „Plus-Energie-Variante“ ist jedoch sehr stark von der Entwicklung der Einspeisevergütungen abhängig. Bei einer Vergütungen in der Höhe von 3,225 Cent/kWh (Stand: 3. Quartal 2015) für die Einspeisung von erzeugtem Strom kann eine Kostenoptimalität nicht gewährleistet werden. Trotz der Erkenntnis, dass eine weitere Optimierung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste über die Niedrigstenergiebauweise hinaus über den betrachteten Lebenszyklus nicht kostenoptimal ist und dem Einsatz einer innovativen Gebäudetechnik sowie deren optimale Abstimmung, welche zu einem verringerten Primärenergiebedarf und damit verringerte Kohlendioxidemissionen führt, der Vorzug zu geben ist, sollte eine „Übertechnisierung“ der Gebäude vermieden werden. Diese kann zu einem nicht unerheblichen Anstieg der Instandhaltungs-, Wartungs- und Instandsetzungskosten führen und damit die Kostenoptimalität eines innovativen Gebäudekonzeptes (Nullenergie) über den Lebenszyklus in Frage stellen.

Derzeit wird die hohe Energieeffizienz von Gebäuden durch Bauteilschichten und gebäudetechnische Anlagen mit relativ geringen Lebensdauern erreicht. Die Analyse der Lebenszykluskosten der Gebäude zeigt ein wiederkehrendes Schema. Die Kosteneinsparungen durch eine bessere Gebäudehülle und ausgefeilte gebäudetechnische Anlagen werden oft durch die Wartungs- sowie Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten der Gebäudehülle sowie der gebäudetechnischen Anlagen vernichtet. Eine erhebliche Reduktion der Lebenszykluskosten lässt sich vermutlich nur durch dauerhaftere Konstruktionen und langlebigere Haustechnik erreichen und nicht in erster Linie über den energetischen Standard. Der Fokus sollte daher in Zukunft auf zugängliche, leicht zu wartende Konstruktion, sowohl im Ausbau (Trennbarkeit von Bauteilen) als auch in der Gebäudetechnik liegen. Diese langfristig funktionalen Gebäude ermöglichen einen Beitrag zur Ressourcenschonung, Kostenoptimierung, Reduktion von CO₂-Emissionen sowie zur Werterhaltung.

WOHNBAUFÖRDERUNG, NATIONALE ANFORDERUNGEN, ENERGIEBILANZ

Die Mindestanforderungen an den Primärenergiebedarf PEB_{max} und $CO2_{max}$ laut nationalem Plan bis 2020 werden von allen vier Referenzgebäuden, die den Anforderungen der Salzburger Wohnbauförderung 1990 entsprechen, eindeutig unterschritten, siehe Kapitel 3. Dies weist einerseits auf den bereits sehr guten Niedrigst-Energiestandard der ausgeführten Referenzgebäude hin, andererseits darf die viel diskutierte Frage aufgegriffen werden, ob die Anforderungen nach nationalem Plan betreffend PEB_{max} und $CO2_{max}$ tatsächlich weit genug gehen um eine Entwicklung hin zu Null- bzw. Plusenergiegebäuden zu forcieren.

Die BTV-Energie 2015 des Bundeslandes Salzburg stellt strengere Anforderungen an die Gebäude. Der LEK_T Wert kann jedoch von allen Referenzgebäuden zu jedem Beobachtungszeitpunkt eingehalten werden können. Dies erlaubt bestätigt den Rückschluss, dass die Transmissionswärmeverluste auf Grund der Niedrigstenergie-Gebäudehülle weitgehend reduziert sind und hier nur ein geringes Optimierungspotenzial vorhanden ist. Die Grenzwerte für LEK_P können von einem Referenzgebäude bereits ab dem Jahr 2017 nicht eingehalten werden. Auf Grund der fortschreitenden Verschärfung bis 2021 wird die Erreichung der Anforderung auch für die übrigen Referenzgebäude unmöglich. Die Anforderungen an den LEK_{CO2} Wert werden von zwei Referenzgebäuden bereits 2016 deutlich überschritten die beiden anderen Gebäude überschreiten den Grenzwert ab 2019 beziehungsweise 2021. Auch wenn die eingesetzte Primärenergie und die damit in Verbindung stehenden Kohlendioxidemissionen für die Wärmeversorgung der Gebäude einen großen Einfluss auf das Ergebnis haben, so zeigt sich in der Detailanalyse, dass der Haushaltsstrombedarf in Summe mit bis zu 60 % den größten Anteil an Primärenergiebedarf und Kohlendioxidemissionen verursacht.

Betreffend die Wohnbauförderungen in den österreichischen Bundesländern kann festgehalten werden, dass nur die Bundesländer Salzburg und Vorarlberg Anforderungen an den Primärenergiebedarf sowie die Kohlendioxidemissionen stellen. In den übrigen sieben Bundesländern gelten 2014 die Grenzwerte für geförderte Wohnungsneubauten gemäß der Art. 15a-B-VG-Vereinbarung BGBl. II Nr. 251/2009 2009/45 Abschnitt 2 Art. 3. Mit den Bestimmungen der Salzburger Wohnbauförderung sendet die Salzburger Landesregierung ein richtungsweisendes Signal für eine Senkung des Primärenergiebedarfs sowie der $CO2$ -Emissionen. Die Referenzgebäude, welche unter dem S.WFG 1990 (Ausgabe 2011) gefördert wurden, unterschreiten die Anforderungen des Nationalen Plans hinsichtlich PEB_{max} und $CO2_{max}$ deutlich.

Keines der Referenzgebäude (Stand Wohnbauförderung vor 2015) kann die Anforderungen der neuen Salzburger Wohnbauförderung 2015 (vor allem LEK_{CO2} aber auch LEK_P) einhalten. Dies beweist, dass die Salzburger Landesregierung den ambitionierten Weg zu einem verminderten Primärenergiebedarf und weniger $CO2$ -Emissionen konsequent fortsetzt.

Der LEK_T Wert und damit der Transmissionswärmeverlust der Gebäude ist hierbei von untergeordneter Bedeutung, was wiederum auf die ausreichend gute Hülle mit U-Werten im Niedrigst-Energiebereich zurückzuführen ist. Dies bestätigt die Analyse der Energieausweise. Lediglich im Bereich des Daches, der Fenster und der untersten Geschoßdecke besteht ein geringfügiges energetisches Optimierungspotenzial. Wie die Berechnungen der Lebenszykluskosten allerdings zeigen, sind solche zusätzlichen Optimierungen bei einer bereits vorhandenen Niedrigstenergiebauweise nicht kostenoptimal. Wesentlich kritischer zu betrachten sind die Nichteinhaltung der Grenzwerte für LEK_P und LEK_{CO_2} . Beide werden maßgeblich durch die Art der Energiebereitstellung für Wärme und Strom sowie den dazugehörigen Konversionsfaktoren gemäß OIB Richtlinie 6 – Ausgabe 2011 und BTV-E vom 01.04.2015 bestimmt.

Wie in Abschnitt 3.3.2 bereits erläutert, gelten in Salzburg die ambitioniertesten Anforderungen für die Gewährung der Wohnbauförderung im Vergleich zu den anderen Bundesländern und auch die Anforderungen laut „Nationalen Plan“ sind deutlich einfacher zu erreichen. Während keines der Referenzgebäude die Anforderungen der neuen Salzburger Wohnbauförderung 2015 (vor allem LEK_{CO_2} aber auch LEK_P siehe Abschnitt 3.3.1) einhalten kann, unterschreiten die vier entwickelten Gebäudekonzepte die Anforderungen an LEK_T , LEK_P und LEK_{CO_2} . Die Analyse der Primärenergiebilanz der vier Gebäudekonzepte unterstreicht die zukünftige Bedeutung des Strombedarfs (Haushaltsstrom und Betriebsstrom), als hauptverantwortliches Kriterium für den Primärenergiebedarf und damit auch für die Kohlendioxidemissionen. Liegt der Anteil am Primärenergiebedarf für Strom bei den Referenzgebäuden in Abhängigkeit von Jahreszeit und Wärmeenergieversorgung zwischen circa 25 % und 60 % so erhöht sich dessen Anteil in der Primärenergiebilanz der Gebäudekonzepte auf Grund des geringeren Primärenergiebedarfs für die Wärmebereitstellung auf circa 30 % bis 80 %, wiederum in Abhängigkeit von Jahreszeit und der eingesetzten Wärmeenergieversorgung.

Es wird deutlich, dass elektrischer Strom bei dem angestrebten Gebäudestandard ab 2020 zu einem entscheidenden Faktor wird, da Transmissionswärmeverluste, Lüftungswärmeverluste etc. bereits sehr weit reduziert sind und die Effizienz der eingesetzten Haustechnik sich noch weiter verbessern wird. Das Nutzerverhalten könnte dabei eine entscheidende Rolle einnehmen. Selbst das effizienteste Wohngebäude wird auch in Zukunft viel Energie in Form von Strom verbrauchen, wenn die Versorgung der Nutzer mit Haushaltsstrom sowie der Betriebsstrom für gebäudetechnische Anlagen nicht effizient gestaltet ist.

7. Ausblick

In Zukunft kann die Durchführung einer Lebenszykluskostenanalyse unterschiedlicher Planungsvarianten im geförderten Wohnbau in Salzburg dazu beitragen, kostengünstiges Wohnen zu ermöglichen. Zukünftige Gebäudestandards wie das „Null-Energie-Gebäude“ und das „Plus-Energie-Gebäude“ stellen durchaus Optionen für den Wohnbau der Zukunft innerhalb der Wohnbauförderung dar. Eine Untersuchung von Planungsvarianten in Bezug auf Investitions-, Wartungs-, Instandsetzung-, Instandhaltungs-, Reinigungs-, Energie- und Entsorgungskosten sowie der Abbruchkosten über den Lebenszyklus bietet nicht nur für die Errichter von Wohngebäuden ein adäquates Steuerungsinstrument sondern ermöglicht auch eine langfristige Abschätzung zukünftig notwendiger Mittel für die zuständigen Fördergeber sowie für die Verantwortlichen in der betreffenden Gesetzgebung.

Das Ergebnis der Abschätzung angesparter Rücklagen laut WGG §14(d) Abs. 2 (Stand 2015) hat gezeigt, dass spätestens nach 30 Jahren, der eingehobene Erhaltungs- und Verbesserungsbeitrag nicht mehr ausreicht um die Kosten für die anfallenden Instandsetzungen für Bauwerk-Ausbau und Bauwerk-Technik zu kompensieren. Das bedeutet, dass für allfällige Sanierungen nicht genügend finanzielle Mittel zur Verfügung stehen und notwendige Instandsetzungen unter Umständen auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden müssen oder gar nicht durchgeführt werden können. Mögliche Folgen durch diesen „Sanierungsstau“ sind Schäden an der Bausubstanz, ineffiziente Haustechnik und insgesamt eine Wertminderung der Gebäudesubstanz. Mit der Durchführung einer Lebenszykluskostenanalyse steht ein probates Instrument zur Verfügung um zukünftig notwendige Aufwendungen sowie deren Zeitpunkte besser abzuschätzen. Eine mögliche Anpassung des gesetzlichen Erhaltungs- und Verbesserungsbeitrags sollte in Abstimmung mit den Ergebnissen von Lebenszykluskostenanalysen erarbeitet werden. Auf Grund der Komplexität der Thematik spricht dieses Projekt jedoch keine expliziten Empfehlungen aus. Dazu bedarf es einer umfangreichen Betrachtung der makroökonomischen und rechtlichen Zusammenhänge, welche im Rahmen dieses Projekts nicht durchführbar war. Ein „Sanierungsstau“ ist in jedem Fall aus oben genannten Gründen durch adäquate Mittel zu verhindern.

Alle Angaben beziehen sich auf das Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz vor der WGG-Novelle 2015, welche mit 01.01.2016 in Kraft getreten ist (siehe „Ergänzung“ im Abschnitt 5.4). Eine Einarbeitung der Änderungen, welche sich durch diese Novellierung ergeben, ist im Rahmen dieses Projektes nicht vorgesehen, kann aber für zukünftige Projekte angedacht werden.

Ein Nachweis der Durchführung von Lebenszykluskostenanalysen unterschiedlicher Planungsvarianten könnte für die Gewährung von Wohnbauförderungsmitteln als verbindliche Maßnahme angedacht werden. Der Betrachtungszeitraum hat erhebliche Auswirkungen auf die Ergebnisse einer Lebenszykluskostenanalyse und sollte daher mit Bedacht gewählt werden. Darüber hinaus muss festgehalten werden, dass eine solche Analyse auf Grund der verschiedensten Parameter, welche nicht immer im Einflussbereich des Errichters liegen, immer nur so gut ist, wie die Annahmen, die getroffen werden. Verzinsung des eingesetzten Kapitals, Preissteigerungen im Bau, Energiepreissteigerungen etc. (siehe Tabelle 29: Finanzielle Parameter – Rechenwert und Quellen) sind Variablen, welche in einem geopolitischen und makroökonomischen Umfeld entstehen bzw. gesteuert werden und deshalb nicht in der Sphäre Einzelner liegen. Deren Auswirkungen auf das Ergebnis einer Lebenszykluskostenanalyse können jedoch beträchtlich sein und sämtliche Optimierungen „zu Nichte machen“.

Auch in der Gebäudezertifizierung spielt die Lebenszykluskostenbetrachtung eine immer größere Rolle und wird beispielsweise in Programmen wie klima:aktiv, TQB/ÖGNB, ÖGNI, BREEAM bereits positiv bewertet. Lebenszykluskostenanalysen werden somit für Immobilienentwickler und Investoren immer interessanter.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass Null-Energie-Konzepte mit hoher Eigenbedarfsdeckung kostenoptimal über den Lebenszyklus sind. Nichtsdestotrotz darf die Frage aufgeworfen werden, ob es langfristig zielführend ist, die Aufgabe einer primärenergetisch günstigen sowie weitestgehend CO₂-neutralen Stromversorgung alleine auf Gebäudeebene verwirklichen zu wollen. Die kontinuierliche Steigerung des Anteils „alternativer“ Energien im Strom Mix würde zwangsläufig auch Nullenergiegebäude Realität werden lassen.

Eine übergeordnete Betrachtung, in der ein bidirektionaler Austausch von Energie, sowohl Wärme als auch Strom, möglich ist, kann durch infrastrukturelle Maßnahmen im Bereich der Übertragungsnetze verwirklicht werden. Auch eine Entwicklung, weg von monofunktionalen Siedlungen, hin zu einer Nutzungsmischung kann einen derartigen Prozess unterstützen. Hierzu bedarf es einer intensiven Zusammenarbeit aller beteiligten Stakeholder aus Politik und Wirtschaft und nicht zuletzt dem Wunsch nach Veränderung.

Es folgt ein kurzer Ausblick über mögliche weitere Forschungsfelder:

- Wie kann ein Wechsel von einer reinen Betrachtung der Errichtungskosten zu einer Betrachtung der Lebenszykluskosten forciert werden?
- Wie lässt sich eine Lebenszykluskostenanalyse in den Bestimmungen der Salzburger Wohnbauförderung verankern?
- Die Lebenszykluskostenanalyse sollte ein integraler Teil des Planungsprozesses sein. Damit ließe sich der Dateninput vereinfachen. Stichwort: Bottom-up statt Top-Down Approach
- Die Eingabe der notwendigen Parameter zur Durchführung einer Lebenszykluskostenanalyse ist derzeit noch sehr aufwendig. Entwicklung eines vereinfachten Tools für die Abschätzung der Lebenszykluskosten für die Wohnbauförderung?
- Eine fundierte Datensammlung der Kosten für Wartung und Instandhaltung von gebäudetechnischen Anlagen ist nötig. Derzeit gibt es nur Prozentsätze der Errichtungskosten in der Literatur.
- Wie sieht die Lebenszykluskostenanalyse eines „Low-Tech“ Wohngebäudes aus im Vergleich zu einem hochtechnisierten Wohngebäude?
- Neue Geschäftsmodelle zur Betreibersituation betreffen der Einspeisung von selbst-erzeugtem Strom (Photovoltaik) werden nötig sein um Aktivhäuser auch kostenoptimal realisieren zu können.
- Die Gebäudetechnik sollte in Verbänden gedacht werden um die Kosten weiter zu senken. Dazu wird es notwendig sein den Energieaustausch (Wärme und Strom) zwischen Gebäuden zu ermöglichen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: untersuchte Varianten (eigene Darstellung).....	4
Abbildung 2: Lebenszykluskostenbetrachtung Referenzgebäude (eigene Darstellung).....	5
Abbildung 2: Optimierungsbereiche der Gebäudekonzepte (eigene Darstellung).....	6
Abbildung 2: Zusammenfassende Ansicht der Datenblätter der Referenzgebäude (eigene Darstellung).....	10
Abbildung 3: Indikatoren der Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Wohngebäuden.....	12
Abbildung 4: Bilanzierungsschema für Null-Energiegebäude (Sartori I., Napolitano A., & Voss K., 2012).....	14
Abbildung 5: Ergebnisse grafisch; HWB _{max} vs. HWB _{SK} (eigene Darstellung).....	16
Abbildung 6: Ergebnisse grafisch; PEB _{max} vs. PEB _{SK} (eigene Darstellung).....	17
Abbildung 7: Ergebnisse grafisch; CO _{2max} vs. CO _{2SK} (eigene Darstellung).....	18
Abbildung 8: Anforderungen BTV-E bis 31.12.2016 vs. LEK _T /LEK _P /LEK _{CO2} IST – Salzburg (eigene Darstellung).....	20
Abbildung 9: Anforderungen BTV-E ab 01.01.2017 vs. LEK _T /LEK _P /LEK _{CO2} IST – Salzburg (eigene Darstellung).....	21
Abbildung 10: Anforderungen BTV-E ab 01.01.2019 vs. LEK _T /LEK _P /LEK _{CO2} IST – Salzburg (eigene Darstellung).....	22
Abbildung 11: Anforderungen BTV-E ab 01.01.2021 – Salzburg (eigene Darstellung).....	23
Abbildung 12: Anforderungen lt. §1 S.WFV 2015 (eigene Darstellung).....	26
Abbildung 13: HWB _{BGF RK} Anforderung vs. HWB _{BGF RK} IST, BL (eigene Darstellung).....	28
Abbildung 14: HWB _{BGF RK} Anforderung vs. HWB _{BGF RK} IST, Vorarlberg (eigene Darstellung).....	29
Abbildung 15: PEB Anforderung vs. PEB IST, CO ₂ Anforderung vs. CO ₂ IST, Vorarlberg (eigene Darstellung).....	30
Abbildung 16: potentielle Solarfläche der Referenzgebäude WB A, WB B, WB C, WB D (eigene Darstellung).....	34
Abbildung 17: pot.Solarfl./GHF; pot.Solarfl./WNF in m ² /m ² (eigene Darstellung).....	34
Abbildung 18: Q _{PV} in kWh pro m ² Wohnnutzfläche und Jahr (eigene Darstellung).....	34
Abbildung 19: Solarstrahlung in kWh/m ² .a WB A – Ansicht SW (eigene Darstellung).....	35
Abbildung 20: Solarstrahlung in kWh/m ² .a WB A – Ansicht NO (eigene Darstellung).....	35
Abbildung 21: Schattenverlaufsdarstellung WB A (eigene Darstellung).....	35
Abbildung 22: Solarstrahlung in kWh/m ² .a WB B – Ansicht SW (eigene Darstellung).....	36
Abbildung 23: Solarstrahlung in kWh/m ² .a WB B – Ansicht NO (eigene Darstellung).....	36
Abbildung 24: Schattenverlaufsdarstellung WB B (eigene Darstellung).....	36
Abbildung 25 Solarstrahlung in kWh/m ² .a WB C – Ansicht SW (eigene Darstellung).....	37
Abbildung 26: Solarstrahlung in kWh/m ² .a WB C – Ansicht NO (eigene Darstellung).....	37
Abbildung 27: Schattenverlaufsdarstellung WB C (eigene Darstellung).....	37
Abbildung 28: Solarstrahlung in kWh/m ² .a WB D – Ansicht SW (eigene Darstellung).....	38
Abbildung 29: Solarstrahlung in kWh/m ² .a WB D – Ansicht NO (eigene Darstellung).....	38
Abbildung 30: Schattenverlaufsdarstellung WB D (eigene Darstellung).....	38
Abbildung 31: Gebäudekonzept OV WB A „passiv“.....	40
Abbildung 32: Gebäudekonzept OV WB B „solar“.....	42
Abbildung 33: Gebäudekonzept OV WB C „aktiv“.....	44

Abbildung 34: Gebäudekonzept OV WB D „null“	46
Abbildung 35: Primärenergiebilanz monatlich OV WB A „passiv“ / AV WB A (eigene Darstellung).....	48
Abbildung 36: kumulierte Primärenergiebilanz OV WB A „passiv“ / AV WB A (eigene Darstellung)	48
Abbildung 37: Deckungsanteil Primärenergie OV WB A „passiv“ / AV WB A (eigene Darstellung).....	48
Abbildung 38: Primärenergiebilanz monatlich OV WB B „solar“ / AV WB B (eigene Darstellung).....	50
Abbildung 39: kumulierte Primärenergiebilanz OV WB B „solar“ / AV WB B (eigene Darstellung).....	50
Abbildung 40: Deckungsanteil Primärenergie OV WB B „solar“ / AV WB B (eigene Darstellung)	50
Abbildung 41: Primärenergiebilanz monatlich OV WB C „aktiv“ / AV WB C (eigene Darstellung).....	52
Abbildung 42: kumulierte Primärenergiebilanz OV WB C „aktiv“ / AV WB C (eigene Darstellung).....	52
Abbildung 43: Deckungsanteil Primärenergie OV WB C „aktiv“ / AV WB C (eigene Darstellung)	52
Abbildung 44: Primärenergiebilanz monatlich OV WB D „null“ / AV WB D (eigene Darstellung).....	54
Abbildung 45: kumulierte Primärenergiebilanz OV WB D „null“ / AV WB D (eigene Darstellung).....	54
Abbildung 46: Deckungsanteil Primärenergie OV WB D „null“ / AV WB D (eigene Darstellung)	54
Abbildung 47: Nullenergiebilanz der Referenzgebäude und der Gebäudekonzepte	56
Abbildung 48: Bauwerkskosten pro m ² WNF der vier Referenzgebäude (eigene Darstellung)	64
Abbildung 49: BWR/BWT/BWA pro m ² WNF der vier Referenzgebäude (eigene Darstellung)	65
Abbildung 50: prozentuelle Verteilung BWR/BWT/BWA pro m ² WNF der vier Referenzgebäude (eigene Darstellung)	65
Abbildung 51: Schema Lebenszykluskosten (eigene Darstellung)	66
Abbildung 52: LZK AV WB A, 89 Jahre (eigene Darstellung)	67
Abbildung 53: prozent. Verteilung LZK AV WBA, 89 Jahre (eigene Darstellung)	68
Abbildung 54: prozent. Verteilung Folgekosten AV WBA, 89 Jahre (eigene Darstellung)	68
Abbildung 55: LZK in Euro/m ² WNF; Referenzgebäude vs. Gebäudekonzepte; 89 Jahre (eigene Darstellung).....	69
Abbildung 56: Lebenszykluskosten gegenübergestellt; 89 Jahre (eigene Darstellung).....	70
Abbildung 57: LZK BWT und Energieversorgung AV WB A vs. AV WB A „passiv“ (eigene Darstellung).....	72
Abbildung 58: LZK AV WB A vs. AV WB A „passiv“ (eigene Darstellung)	72
Abbildung 59: LZK BWT und Energieversorgung AV WB C vs. OV WB C „aktiv“ (eigene Darstellung).....	73
Abbildung 60: LZK AV WB B vs. OV WB B „solar“ (eigene Darstellung)	73
Abbildung 61: LZK BWT und Energieversorgung AV WB C vs. OV WB C „aktiv“ (eigene Darstellung).....	74
Abbildung 62: LZK AV WB C vs. OV WB C „aktiv“ (eigene Darstellung)	74
Abbildung 63: LZK BWT und Energieversorgung AV WB D vs. OV WB D „null“ (eigene Darstellung).....	75
Abbildung 64: LZK AV WB D vs. OV WB D „null“.....	75
Abbildung 65: Lebenszykluskosten Bauwerk-Technik und Energieversorgung; 89 Jahre (eigene Darstellung)	76
Abbildung 66: Matrix Lebenszykluskosten/Primärenergiebilanz; 50 Jahre (eigene Darstellung).....	77
Abbildung 67: Matrix Lebenszykluskosten/Primärenergiebilanz; 89 Jahre (eigene Darstellung).....	77
Abbildung 68: Instandhaltungsrücklage vs. Instandsetzungen bis 30 Jahre (eigene Darstellung)	79
Abbildung 69: EVB vs. EVB ab 01.01.2016 (eigene Darstellung).....	80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht verwendete Tools (eigene Darstellung).....	7
Tabelle 2: Übersicht ausgewählter Daten der Referenzgebäude (eigene Darstellung)	8
Tabelle 3: Anonymisierungsschema der Referenzgebäude und der optimierten Varianten(eigene Darstellung).....	8
Tabelle 4: Übersicht bereitgestellter Informationen (eigene Darstellung)	9
Tabelle 5: Mindestanforderung an die Gesamtenergieeffizienz von Wohngebäuden, 2014 – 2020 (OIB, 2014)	13
Tabelle 6: Konversionsfaktoren für die Berechnung des Primärenergiebedarfs und der CO ₂ -Emissionen eigene Darstellung nach (OIB, 2011) und * (Salzburger Landesregierung, 2015).....	13
Tabelle 7: Ergebnisse tabellarisch; HWB _{max} vs. HWB _{SK} (eigene Darstellung).....	16
Tabelle 8: Ergebnisse tabellarisch; PEB _{max} vs. PEB _{SK} (eigene Darstellung)	17
Tabelle 9: Ergebnisse tabellarisch; CO _{2-max} vs. CO _{2-SK} (eigene Darstellung).....	18
Tabelle 10: höchstzulässige LEK-Linien (Salzburger Landesregierung, 2015).....	19
Tabelle 11: Prozentuelle Abweichung LEK _T /LEK _P /LEK _{CO2} IST zur Anforderung BTV-E bis 31.12.2016 – Salzburg (eigene Darstellung)	20
Tabelle 12: Prozentuelle Abweichung LEK _T /LEK _P /LEK _{CO2} IST zur Anforderung BTV-E ab 01.01.2017 – Salzburg (eigene Darstellung)	21
Tabelle 13: Prozentuelle Abweichung LEK _T /LEK _P /LEK _{CO2} IST zur Anforderung BTV-E ab 01.01.2019 – Salzburg (eigene Darstellung)	22
Tabelle 14: Prozentuelle Abweichung LEK _T /LEK _P /LEK _{CO2} IST zur Anforderung BTV-E ab 01.01.2021 – Salzburg (eigene Darstellung)	23
Tabelle 15: Gesamtübersicht Einhaltung der Anforderungen lt. BTV-E an LEK _T /LEK _P /LEK _{CO2} (eigene Darstellung).....	24
Tabelle 16: Anforderungen an LEK _T , LEK _P und LEK _{CO2} gemäß S.WFV 2015.....	26
Tabelle 17: Prozentuelle Abweichung LEK _T /LEK _P /LEK _{CO2} IST zur Anforderung §1 S.WFV 2015 (eigene Darstellung)	26
Tabelle 18: Mindestanforderungen für Wärmeschutzstandards (Österreichische Bundesregierung, 2009).....	27
Tabelle 19: Ergebnisse tabellarisch, HWB _{BGF RK} Anforderung vs. HWB _{BGF RK} IST, BL (eigene Darstellung).....	28
Tabelle 20: Grenzwerte HWB, PEB, CO ₂ für die WBF in Vorarlberg (Vorarlberger Landesregierung, 2014).....	29
Tabelle 21: Ergebnisse tabellarisch, HWB _{BGF RK} Anforderung vs. HWB _{BGF RK} IST, Vorarlberg (eigene Darstellung).....	29
Tabelle 22: Ergebnisse tabellarisch, PEB Anforderung vs. PEB IST, CO ₂ Anforderung vs. CO ₂ IST, Vorarlberg (eigene Darstellung)	30
Tabelle 23: Wohnbauförderungswürdigkeit der Referenzgebäude in Abhängigkeit der geltenden Bestimmungen (eigene Darstellung)	31
Tabelle 24: aktive und passive Maßnahmen des Gebäudekonzeptes OV WB A „passiv“.....	39
Tabelle 25: Bewertungskriterien für die Zertifizierung eines Wohngebäudes im Passivhausstandard (Passivhausinstitut Darmstadt, 2013).....	40
Tabelle 26: aktive und passive Maßnahmen des Gebäudekonzeptes OV WB B „solar“	41
Tabelle 27: aktive und passive Maßnahmen des Gebäudekonzeptes OV WB C „aktiv“	43
Tabelle 28: aktive und passive Maßnahmen des Gebäudekonzeptes OV WB D „null“	45
Tabelle 29: Finanzielle Parameter – Rechenwert und Quellen	61

Tabelle 30: Energieträger – Kosten und Quellen 62

Tabelle 31: Ver- und Entsorgung – Kosten und Quellen..... 62

Tabelle 32: Datengrundlagen, Kosten BWR, BWT, BWA, Instandhaltung und Instandsetzung – Rechenwert und Quellen..... 63

Tabelle 33: Auflistung der Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse; 89 Jahre (eigene Darstellung) 70

Abkürzungsverzeichnis

BKI	Baukostenindex
BTV-E	Bautechnikverordnung Energie
EPBD	Energy Performance of Building Directive
EU	Europäische Union
LGBl	Landesgesetzblatt
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
S.WFG	Salzburger Wohnbauförderungsgesetz
S.WFV	Salzburger Wohnbauförderungsverordnung
PV	Photovoltaik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
BGF	Bruttogrundfläche
WNF	Wohnnutzfläche
UG	Untergeschoß
EG	Erdgeschoß
OG	Obergeschoß
AV WB A	Ausgangsvariante Wohnbau A
AV WB B	Ausgangsvariante Wohnbau B
AV WB C	Ausgangsvariante Wohnbau C
AV WB D	Ausgangsvariante Wohnbau D
OV WB A	optimierte Variante Wohnbau A
OV WB B	optimierte Variante Wohnbau B
OV WB C	optimierte Variante Wohnbau C
OV WB D	optimierte Variante Wohnbau D
EA	Energieausweis
vgl.	vergleiche
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung

Glossar

HWB_{SK}	Heizwärmebedarf in kWh/m ² BGF und Jahr bezogen auf das Standortklima
PEB_{SK}	Primärenergiebedarf in kWh/m ² BGF und Jahr bezogen auf das Standortklima
$CO_2\text{-Emission}_{SK}$	Kohlendioxidemission in kg/m ² BGF und Jahr bezogen auf das Standortklima
l_c	die charakteristische Länge ist ein Maß für die Geometrie eines Gebäudes
f_{GEE}	Gesamtenergieeffizienz-Faktor lt. OIB Richtlinie 6 (Relation des Endenergiebedarfs zur Anforderung an den Endenergiebedarf bezogen auf das Referenzklima oder Standortklima.
PEB_{max}	maximal zulässiger Primärenergiebedarf
CO_2_{max}	maximal zulässige Kohlendioxidemissionen
f_{PE}	Primärenergiefaktor
$f_{PE.ern.}$	Primärenergiefaktor (erneuerbarer Anteil)
$f_{PE.n.ern.}$	Primärenergiefaktor (nicht erneuerbarer Anteil)
f_{CO_2}	
LEK	Der LEK-Wert ("Linie europäischer Kriterien", ÖNORM B8110 und H 5055) kennzeichnet den Wärmeschutz der Gebäudehülle unter Berücksichtigung auf die Geometrie des Gebäudes.
LEK_T	LEK-Wert für die Transmissionswärmeverluste
LEK_P	LEK-Wert für die Transmissionswärmeverluste
LEK_{CO_2}	LEK-Wert für die Transmissionswärmeverluste
HWB_{max}	maximal zulässiger Heizwärmebedarf
EEB_{max}	maximal zulässiger Endenergiebedarf
f_{geemax}	maximal zulässiger Gesamtenergieeffizienz-Faktor

Literaturverzeichnis

- DETAIL Green. (2014). Passivhaus oder Aktivhaus? Zwei Gebäudekonzepte im Wettstreit - Interviews mit W. Feist und M. Hegger. *DETAIL Green*(1), S. 16-21.
- Europäische Union. (19. Mai 2010). *Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung)*. Brüssel, Belgien.
- Europäische Union. (16. Januar 2012). *Delegierte Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz*. Brüssel, Belgien.
- Gonzalo, R., & Vallentin, R. (2013). *Passivhäuser entwerfen*. München: Institut für internationale Architekturdokumentation GmbH & Co. KG.
- Hegger M., Fafflok C., Hegger J., & Passig I. (2013). *Aktivhaus - Das Grundlagenwerk: Vom Passivhaus zum Aktivhaus*. München: Callwey.
- Hüttmann, M. (Juli-Oktober 2013). Wärme satt ins Haus - Sonnenhäuser auf dem Prüfstand. *Sonnenenergie*.
- Initiative Sonnenhaus Österreich. (2014). Von <http://www.sonnenhaus.co.at> abgerufen
- Ipser C., Floegl H., Mötzl H., & et al. (2014). LEKOECOS: Kombiniertes ökonomisch-ökologisches Gebäudelebenszyklusmodell. (I. u. Bundesministerium für Verkehr, Hrsg.) Wien.
- Knotzer A., & Weiss T. (2014). Internationales Spotlight auf die Bilanzierung von Null- und Plusenergiegebäuden. *Die großen Zukunftstrends - TGA-Planung 2015*, S. 2-5.
- Marszal A., & et al. (2011). Zero Energy Building - A Review of definitions and calculation methodologies. *Energy & Buildings*(43), S. 971-979.
- OIB. (Oktober 2011). *OIB-Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz*. Wien, Österreich.
- OIB. (28. März 2014). *OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem "Nationalen Plan" gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU*. Wien, Österreich.
- Österreichische Bundesregierung. (13. August 2009). Vereinbarung gemäß Art. 15a. B-VG zwischen dem Bund und den Ländern über Maßnahmen im Gebäudesektor zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen; StF: BGBl.II Nr. 251/2009.
- Österreichische Nationalbank. (2015). <https://www.oenb.at>. Abgerufen am 15. 10 2015 von <https://www.oenb.at/Presse/20150330.html>
- Österreichischer Verband gemeinnütziger Bauvereinigungen. (Dezember 2015). WGG-Novelle 2015. Wien.
- Passivhausinstitut Darmstadt. (2013).

- Ploss M., Brunn M., Bachner D., & et al. (2013). *Analyse des kostenoptimalen Anforderungsniveaus für Wohnungsneubauten in Vorarlberg*. Wien/Dornbirn: e7 Energie Markt Analyse, Energieinstitut Vorarlberg.
- Salzburger Landesregierung. (21. August 2015). Gesamte Rechtsvorschrift für Bautechnikverordnung-Energie, Fassung vom 01.04.2015. *Verordnung der Salzburger Landesregierung über die energetischen Anforderungen an Bauten sowie über Inhalt und Form des Energieausweises (Bautechnikverordnung-Energie - BTV-E) StF: LGBl Nr 58/2014*. (S. Landesregierung, Hrsg.) Salzburg, Österreich.
- Sartori I., Napolitano A., & Voss K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings*(48), S. 220-232.
- Schöberl, H. (2013). *Kostengünstige mehrgeschossige Passivwohnhäuser*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Statistik Austria. (Jänner 2015a). Tariflohnindex für ausgewählte Kollektivverträge (Basis: 2006 = 100). (S. Austria, Hrsg.)
- Statistik Austria. (2015b). Durchschnittliche Nettomiete und Betriebskosten von Hauptmietwohnungen nach Bundesland. (S. Austria, Hrsg.)
- Vorarlberger Landesregierung. (16. 12 2014). Neubauförderungsrichtlinie 2015. *Neubauförderungsrichtlinie 2015 für den öffentlichen Wohnbau*.

Anhang

Im Anhang sind die Datenblätter zu den vier Referenzgebäuden gesammelt:

Datenblatt AV WB A

DATENBLATT OIB 2011

Objektadresse
Chiemgaustraße
5020 Salzburg

Gebäudeart
Mehrfamilienhaus

Wohneinheiten
27

Bruttogrundfläche [m²]
2.404

Kompaktheit [1/m]
0,59

Heizlast [kW]
55,40

mittlere U-Wert [W/m²K]
0,22

HWB_{SK} [kWh/m²a]
35,90

HEB_{SK} [kWh/m²a]
43,80

EEB_{SK} [kWh/m²a]
60,30

PEB_{SK} [kWh/m²a]
104,80

CO₂ Emission_{SK} [kg/m²a]
18,70

f_{GEE}
0,49



AV WB A

RAUMHEIZUNG

Art	gebäudezentral
Wärmeabgabe	Radiatoren, Einzelraumheizer
Wärmespeicher	Pufferspeicher/13.000 l
Wärmebereitstellung	Gas-Brennwertkessel/120 kW

WARMWASSERBEREITUNG

Art	dezentral
Warmwasserbereitung	kombiniert mit Raumheizung
Wärmespeicher	kein Wärmespeicher vorhanden

LÜFTUNG

energetisch wirksamer Luftwechsel	0,4 1/h
Wärmebereitstellungsgrad	Abluftanlage (keine WRG)
Erdvorwärmung	kein Erdwärmetauscher
tägl. Betriebszeit	24 h

THERMISCHE SOLARANLAGE

Solarkollektorart	Hochselektiv
Anlagentyp	primär Raumheizung, sekundär Warmwasser
Nennvolumen	13.000 l
Aperturfläche	125 m ²
Kollektorverdrehung	35°
Neigungswinkel	45°
Geländewinkel	0°

Datenblatt AV WB B

DATENBLATT OIB 2011

Objektadresse

Römerweg 10
5061 Elsbethen

Gebäudeart

Mehrfamilienhaus

Wohneinheiten

10

Bruttogrundfläche [m²]

832

Kompaktheit [1/m]

0,46

Heizlast [kW]

18,10

mittlere U-Wert [W/m²K]

0,24

HWB_{SK} [kWh/m²a]

32,90

HEB_{SK} [kWh/m²a]

47,40

EEB_{SK} [kWh/m²a]

63,90

PEB_{SK} [kWh/m²a]

103,50

CO₂ Emission_{SK} [kg/m²a]

11,00

f_{GEE}

0,60



AV WB B

RAUMHEIZUNG

Art	gebäudezentral
Wärmeabgabe	Radiatoren, Einzelraumheizer
Wärmespeicher	Pufferspeicher/2.900 l
Wärmebereitstellung	Nah-/Fernwärme

WARMWASSERBEREITUNG

Art	Zweileitersystem (dezentral)
Warmwasserbereitung	kombiniert mit Raumheizung
Wärmetauscher	ja

LÜFTUNG

energetisch wirksamer Luftwechsel	0,4 1/h
Wärmebereitstellungsgrad	Abluftanlage (keine WRG)
Erdvorwärmung	kein Erdwärmetauscher
tägl. Betriebszeit	24 h

THERMISCHE SOLARANLAGE

Solarkollektorart	Hochselektiv
Anlagentyp	primär Raumheizung, sekundär Warmwasser
Nennvolumen	2.900 l
Aperturfläche	29 m ²
Kollektorverdrehung	4°
Neigungswinkel	45°
Geländewinkel	10°

Datenblatt AV WB C

DATENBLATT OIB 2011

Objektadresse
Schmiedkreuzstraße
5020 Salzburg

Gebäudeart
Mehrfamilienhaus

Wohneinheiten
31

Bruttogrundfläche [m²]
4.107

Kompaktheit* [1/m]
0,44

Heizlast* [kW]
21,50

mittlere U-Wert [W/m²K]*
0,25

HWB_{SK}* [kWh/m²a]
25,30

HEB_{SK}* [kWh/m²a]
38,15

EEB_{SK}* [kWh/m²a]
54,58

PEB_{SK}* [kWh/m²a]
99,98

CO₂ Emission_{SK}* [kg/m²a]
17,60

f_{GEE}*
0,52



AV WB C

RAUMHEIZUNG

Art	gebäudezentral
Wärmeabgabe	Radiatoren, Einzelraumheizer
Wärmespeicher	Pufferspeicher/15.540 l
Wärmebereitstellung	Gas-Brennwertkessel/123,6 kW

WARMWASSERBEREITUNG

Art	Zweileitersystem (dezentral)
Warmwasserbereitung	kombiniert mit Raumheizung
Wärmetauscher	ja

LÜFTUNG

energetisch wirksamer Luftwechsel	0,4 1/h
Wärmebereitstellungsgrad	Abluftanlage (keine WRG)
Erdvorwärmung	kein Erdwärmetauscher
tägl. Betriebszeit	24 h

THERMISCHE SOLARANLAGE

Solarkollektorart	Hochselektiv
Anlagentyp	primär Raumheizung, sekundär Warmwasser
Nennvolumen	15.540 l
Aperturfläche	139 m ²
Kollektorverdrehung	45°
Neigungswinkel	45°
Geländewinkel	0°

*Mittelwert der 4 Gebäude

Datenblatt AV WB D

DATENBLATT OIB 2011

Objektadresse

Robinigstraße
5020 Salzburg

Gebäudeart

Mehrfamilienhaus

Wohneinheiten

55

Bruttogrundfläche [m²]

4.624

Kompaktheit [1/m]

0,37

Heizlast [kW]

93,80

mittlere U-Wert [W/m²K]

0,28

HWB_{SK} [kWh/m²a]

14,90

HEB_{SK} [kWh/m²a]

30,70

EEB_{SK} [kWh/m²a]

47,20

PEB_{SK} [kWh/m²a]

87,30

CO₂ Emission_{SK} [kg/m²a]

10,50

f_{GEE}

0,48



AV WB D

RAUMHEIZUNG

Art	gebäudezentral
Wärmeabgabe	Radiatoren, Einzelraumheizer
Wärmespeicher	Pufferspeicher/23.000 l
Wärmebereitstellung	Nah-/Fernwärme

WARMWASSERBEREITUNG

Art	Zweileitersystem (dezentral)
Warmwasserbereitung	kombiniert mit Raumheizung
Wärmetauscher	ja/208 kW

LÜFTUNG

energetisch wirksamer Luftwechsel	0,17 1/h
Wärmebereitstellungsgrad	75%
Erdvorwärmung	kein Erdwärmetauscher
tägl. Betriebszeit	24 h

THERMISCHE SOLARANLAGE

Solarkollektorart	Hochselektiv
Anlagentyp	primär Raumheizung, sekundär Warmwasser
Nennvolumen	15.400 l
Aperturfläche	154 m ²
Kollektorverdrehung	0°
Neigungswinkel	45°
Geländewinkel	30°