

Spielräume des dualen Weges der Wärmeschutzanforderungen nachhaltiger Gebäudekonzepte

Forschungsprojekt im Auftrag des
Fachverbandes der Stein- und keramischen Industrie
Wiedner Hauptstraße 63
1045 Wien

Bearbeitung:

Dipl.-Ing. Dr. Peter Holzer
Mag. Nadja Bartlmä, BSc.
Felix Wimmer, BSc.
Dipl. -Ing. Lukas Weißböck

Wien, am 13. November 2020

Institute of Building Research & Innovation

Arch. Dipl.-Ing. Dr. Renate Hammer, MAS

Dipl.-Ing. Dr. Peter Holzer

1	Einleitung	3
1.1	Ausgangssituation	3
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Methode	3
2	Definition von Modellgebäuden.....	5
2.1	Gebäudetyp	6
2.2	Baukonstruktion	7
2.3	Energiesystem	16
2.4	Varianten	19
3	Zielqualitäten	21
3.1	Ökologie	22
3.2	Ökonomie	25
3.3	Soziales.....	26
3.4	Besondere Qualitäten	27
3.5	Baurechtliche Anforderungen.....	27
4	Gebäudeprofile.....	28
4.1	Ergebnisdarstellung	28
	Abbildungsverzeichnis	30
	Tabellenverzeichnis.....	30
	Anhang.....	30

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die OIB Richtlinie 6 definiert die Mindestanforderungen an den Energieverbrauch eines Gebäudes. Hinsichtlich der Zielwerterreichung werden zwei Wege vorgeschlagen. Einerseits können die Anforderungen über Wärmeschutz-Maßnahmen an der Gebäudehülle und andererseits über eine effiziente Wärmebereitstellung mit einem hohen erneuerbaren Anteil erfolgen; der sogenannte Duale Weg.

Der duale Weg eröffnet Spielräume, entweder in sehr guten Wärmeschutz der Gebäudehülle und in Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zu investieren oder aber Schwerpunkte in der erneuerbaren Wärmeerzeugung zu setzen. Diese Spielräume auszuloten und darzustellen ist Ziel dieser Studie.

1.2 Zielsetzung

Es war das ursprüngliche Ziel der vorgeschlagenen Studie, innerhalb der Mindestanforderungen des dualen Weges optimale Kombinationen aus Wärmedämmung der Gebäudehülle einerseits und effizienter erneuerbarer Wärmebereitstellung andererseits herauszuarbeiten und darzustellen.

Da sich herausgestellt hat, dass eine Umschichtung von Kosten für zusätzliche Wärmedämmung unter Ausnutzung des Dualen Weges keine maßgeblichen Investitionen in die Gebäudetechnik ermöglichen, wird als Ergebnis nunmehr eine kommentierte beispielhafte Zusammenstellung von ökologisch und wirtschaftlich hochwertigen, genehmigungsfähigen Kombinationen aus Gebäudehülle, Gebäudetyp und Gebäudetechnik erstellt und diesem Bericht im Anhang beigelegt. Diese Gebäudeprofile eignen sich hervorragend für die Öffentlichkeitsarbeit.

Als zusätzliches Service für Bauherren enthält der Bericht auch eine Anleitung wie diese Lösungen erfolgreich im Energieausweis abgebildet werden können.

Somit entsteht ein umfassender Leitfaden für die Konzeptionierung von Gebäuden unter Berücksichtigung von ökologischen, sozialen und ökonomischen Betrachtungspunkten, genauer klimaschützende, klimaresiliente und naturschützende Systeme, die auch Kreislaufwirtschaft und Leistbarkeit sowie gesundheitliche, komfortable Aspekte berücksichtigen.

Vereinfacht gesagt, ein Leitfaden für massive Gebäude mit klimafreundlichen Haustechniklösungen, die sehr gut geeignet sind, um ein allgemeines Umdenken in der Bauwirtschaft zu unterstützen.

1.3 Methode

In einem ersten Schritt werden Modellgebäude nach Gebäudetyp, Baukonstruktion und Bauphysik, sowie Energiekonzepten definiert. Aus den so entstehenden Variationsmöglichkeiten werden acht für eine praktische Bauaufgabe sinnvolle Varianten ausgewählt.

Diese Gebäude werden, vor allem auch in Hinblick auf die Haustechnik, systematisch analysiert, im Energieausweis abgebildet und nach den festgelegten Zielkriterien beurteilt. Daraus werden publizierbare Gebäudebeschreibungen generiert, die alle zentralen Qualitäten übersichtlich und

stringent zusammenfassen. Ein wesentlicher Teil dieser Qualitäten ist auch eine wirtschaftliche Analyse der zusätzlichen Investitionskosten und den Betriebskosten der Anlage.

Nachfolgend werden zunächst Grundlagen für den Vergleich der einzelnen Systeme erarbeitet. Neben der Definition von Modellgebäuden, baukonstruktiven Eigenschaften sowie energetischen Konzepten werden verschiedene Kombinationen dieser drei Kategorien festgelegt, welche in weiterer Folge anhand der im Kapitel der Zielqualitäten Kriterien analysiert werden. Abschließend finden sich die einzelnen Gebäudesteckbriefe inklusive einer Leseanleitung und begleitenden Informationen zu den Systemen.

2 Definition von Modellgebäuden

Die Definition von Modellgebäuden erfordert eine eingehende Beschäftigung mit unterschiedlichen Gebäudetypen, Baukonstruktionen und Energiekonzepten, die in ihren jeweiligen Eigenheiten betrachtet und dann einander gegenübergestellt werden. Dies erfolgt, um technisch und wirtschaftlich sinnvolle sowie umfassend nachhaltige Varianten für einfach nachvollziehbare und multiplizierbare Modellgebäude, die auch im Energieausweis entsprechend abgebildet werden können, zu erstellen.

Die Lösungen wurden angelehnt an die Referenzgebäude aus der OIB Kostoptimalität¹ erhoben, um eine möglichst hohe Bandbreite für die praktische Umsetzung zu erzielen und derzeitigen Fragen aus der Bauwirtschaft zu begegnen.

Es wurden theoretische Modelle herangezogen, da diese in ihrer Interpretierbarkeit, Vergleichbarkeit und Multiplizierbarkeit einen höheren Stellenwert einnehmen als tatsächlich umgesetzte Gebäude, die für jede Multiplikation abstrahiert werden müssten.

So ergeben sich aus den folgenden grundlegenden 3 Parametergruppen die entwickelten Modellgebäude:

- **Gebäudetyp** als Parametersammlung der geometrischen Form des Gebäudes:
Gebäudeform und Größe (EFH, MFH, GWB)
Bruttogrundfläche BGF
Charakteristische Länge – l_c
- **Baukonstruktion** als Parametersammlung der physikalischen Eigenschaften des Gebäudes:
Wärmeschutz – U-Wert
Wirksame Wärmespeicherkapazität - Schwereklassen
- **Energiesystem** als Parametersammlung der haustechnischen Komponenten
Jeweils passend zu Gebäudetyp und Baukonstruktion

¹ OIB-Richtlinie 6 – Kostoptimalität, Berechnung des kostenoptimalen Anforderungsniveaus, Österreichisches Institut für Bautechnik, Februar 2018, Wien

2.1 Gebäudetyp

Der Gebäudetyp stellt einen der drei wesentlichen grundlegenden baulichen Parametergruppen dar. Er befasst sich mit der grundlegenden Form des Gebäudes, dessen Abmessungen, Orientierung und Flächen. Die hier gewählten Parameter stellen jene Eigenschaften dar, die das Gebäude in seinen Grundzügen beschreibt. Relevante Parameter sind:

- Lage und Orientierung
- Außenabmessungen und Gebäudehöhe
- Nutzungsart und Nutzflächen
- Fensterflächen und Verschattung

Zur Vereinfachung und zur besseren Vergleichbarkeit wurden vorab fixe Kombinationen dieser grundlegenden Eigenschaften festgelegt. Diese Festlegung erfolgte in Anlehnung an die Referenzgebäude der OIB Kostenoptimalitätsstudie.

Die Lage und somit die entsprechenden Klimadaten werden mit dem Standort Waidhofen an der Ybbs, A-3340 und einer Seehöhe von 370 m für alle Varianten. Zusätzlich wird eine Nord-Süd Ausrichtung der langen Seiten vorgenommen.

Einfamilienhaus - EFH:

Mit Außenabmessungen von 10,72 m x 8,00 m x 6,00 m (Länge x Breite x Höhe) stellt die erste Variante ein typisches, zweigeschossiges Einfamilienhaus dar. Daraus ergibt sich eine Bruttogrundfläche von 171,52 m² und Nettogrundfläche von 123,49 m². Mit einer Hüllfläche von 396,2 m² und einem Volumen von 514,56 m³ ergibt sich daraus eine charakteristische Länge l_c von 1,3 m.

Der Fensteranteil von 20% an der Außenwandfläche wird ohne Berücksichtigung der genauen Ausgestaltung festgelegt. Unter Berücksichtigung der Orientierung ergibt sich bei 20% Fensterflächenanteil an der Außenwandflächen (224,6 m²) folgende Aufteilung:

- 50% Süd orientiert (22,5 m²)
- Je 20% Ost- und West-orientiert (je 9,0 m²)
- 10 % Nord-orientiert (4,5 m²)

Mehrfamilienhaus - MFH:

Die zweite Variante stellt mit Außenabmessungen von 14,84 m x 10,00 m x 9,00 m (Länge x Breite x Höhe) ein dreigeschossiges Mehrfamilienhaus dar. Aus einer Bruttogrundfläche von 445,20 m² ergibt sich eine Nettogrundfläche von 320,16 m². Die Hüllfläche beträgt 743,9 m² und spiegelt gemeinsam mit einem Volumen von 1.335,60 m³ eine charakteristische Länge l_c von 1,80 m wieder.

Der Fensteranteil von 20% an der Außenwandfläche wird, Berücksichtigung der genauen Ausgestaltung festgelegt. Unter Berücksichtigung der Orientierung ergibt sich hier bei 20% Fensterflächenanteil an der Außenwandflächen (447,12 m²) folgende Aufteilung:

- 50% Süd orientiert (45,2 m²)
- je 20% Ost- und West-orientiert (je 17,9 m²)
- 10 % Nord-orientiert (8,9 m²)

Geschoßwohnungsbau - GWB:

Der mehrgeschossige Geschosswohnungsbau wird in dieser Kombination wiedergespiegelt. Die Außenabmessungen belaufen sich auf 20,42 m x 12,00 m x 18,00 m (Länge x Breite x Höhe) und sorgen bei 6 Geschossen dadurch für eine Bruttogrundfläche von 1470,24 m² und eine Nettogrundfläche von 1058,57 m². Die charakteristische Länge l_c von 2,66 m errechnet sich aus einer Hüllfläche von 1657,20 m² und einem Volumen von 4410,72 m³.

Hier beträgt der Fensteranteil 20% der Außenwandfläche. Auch hier ohne Berücksichtigung der genauen Ausgestaltung. Unter Berücksichtigung der Orientierung ergeben sich bei 20% Fensterflächenanteil an der Außenwandflächen (1167,1 m²) folgende Fensterflächen:

- 50% Süd orientiert (je 116,7 m²)
- je 20% Ost- und West-orientiert (je 46,7 m²)
- 10 % Nord-orientiert (23,3 m²)

Alle drei Gebäude sind hierbei als reine Wohngebäude konzipiert und die nutzungsrelevanten Parameter werden entsprechend der Wohnanforderungen gewählt.

Die charakteristische Länge l_c wird gemeinsam mit dem Kürzel des Gebäudetypus als maßgebende Kennzahl für die Varianten festgelegt. Mit diesen wird in weiterer Folge auf die entsprechende Kombination der Parameter des jeweiligen Gebäudetyps verwiesen.

- EFH mit $l_c = 1,3$ m
- MFH mit $l_c = 1,80$ m
- GWB mit $l_c = 2,66$ m

2.2 Baukonstruktion

Ein weiterer wesentlicher Teil eines Gebäudes ist dessen Baukonstruktion, primär bestehend aus dessen Aufbauten und deren bauphysikalischen Eigenschaften.

Dabei haben insbesondere der Wärmeschutz und die Speicherwirkung der Aufbauten eine hohe Relevanz in Bezug auf das energetische Verhalten des Gebäudes, aber auch hinsichtlich Resilienz und Komfort. Anforderungen an den Wärmeschutz werden grundsätzlich in der OIB Richtlinie 6 festgelegt. Hierbei unterscheidet man in direkte Anforderungen an die Konstruktion durch maximale U-Werte und allgemeine Anforderungen an das Gesamtgebäude in Form von Energiebedarfsbegrenzungen.

Die Grenzen für den Endenergiebedarf, oft auch durch den Heizwärmebedarf substituiert, des Gebäudes werden in der Richtlinie durch die 10er und 16er Linie in Abhängigkeit von der charakteristischen Länge l_c festgelegt. Die beiden Linien charakterisieren sich durch unterschiedlich große Anforderungen an die Hüllqualität. Die 10er Linie hat deutlich restriktivere Begrenzung der thermischen Gebäudeverluste (Endenergiebedarf), wobei die 16er Linie in dieser Hinsicht nicht so streng ist, jedoch nebenbei noch eine Anforderung an die Energiebereitstellung der Gebäude in Form einer f_{GEE} Begrenzung aufweist (Gesamtenergieeffizienz). Dies wird oft als der Duale Weg des Wärmeschutzniveaus bezeichnet.

Die derzeit gültige OIB Richtlinie 6 (Stand 2019) legt diese beiden Anforderungsschienen wie folgt fest:

Tabelle 1: Nachweis der Einhaltung der Anforderungen für Wohngebäude über den Endenergiebedarf

Nachweis über EEB		Neubau
HWB _{Ref, RK, zul} [kWh/m ² a]	ab Inkrafttreten	12 x (1+3,0 / l _C)
	ab 01.01.2021	10 x (1+3,0 / l _C)
EEB _{RK, zul} [kWh/m ² a]	ab Inkrafttreten	EEB _{WG, RK, zul}

Tabelle 2: Nachweis der Einhaltung der Anforderungen für Wohngebäude über den Gesamtenergiebedarf

Nachweis über f _{GEE}		Neubau
HWB _{Ref, RK, zul} [kWh/m ² a]	ab Inkrafttreten	16 x (1+3,0 / l _C)
f _{GEE, RK, zul} [-]	ab Inkrafttreten	0,80
	ab 01.01.2021	0,75

Für die gewählten Gebäudetypen bedeutet das in weitere Folge, dass der HWB und der f_{GEE} in folgenden Bereichen liegen müssen, um den Anforderungen der letztgültigen OIB Richtlinie 6 gerecht zu werden:

Tabelle 3: Grenzen des HWB und f_{GEE} für die gewählten Referenzgebäude

Anforderungen		HWB [kWh/m ² a]
ab Inkrafttreten	EFH	39,69 oder 52,92 + f _{GEE} 0,8
	MFH	32,00 oder 42,67 + f _{GEE} 0,8
	GWB	25,53 oder 34,05 + f _{GEE} 0,8
ab 01.01.2021	EFH	33,07 oder 52,92 + f _{GEE} 0,75
	MFH	26,66 oder 42,67 + f _{GEE} 0,75
	GWB	21,27 oder 34,05 + f _{GEE} 0,75

Bei der Wahl der Bauteilaufbauten wurde darauf geachtet, dass alle direkten Anforderungen aus der OIB Richtlinie 6 eingehalten sind. Zudem wurde zwischen gleichbleibenden und verändernden Aufbauten unterschieden. Dadurch sollen die gewählten Gebäudehüllen in Bezug auf wandbildende Baustoffe besser voneinander abgrenzbar sein und entsprechend interpretiert werden können. Dies ermöglicht zusätzlich unterschiedliche massive Baustoffe in deren Stärken zu betrachten.

2.2.1 Gleichbleibende Aufbauten

Zu den gleichbleibenden Aufbauten zählen die oberste und unterste Geschossdecke, die Zwischendecken, Innenwände sowie die Fenster. Diese sind für alle Varianten konstant gehalten und werden wie folgt aufgebaut.

2.2.1.1 Fenster

Die Fenster werden für alle Varianten gleich angenommen, lediglich die Größe und Orientierung dieser Flächen werden an die Varianten der des Gebäudetypus angepasst. Die Grundanforderung aus der OIB RL 6 liegt bei einem U-Wert kleiner als $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$. Es wird mit einem Rahmenanteil von 30% der gesamten Fensterfläche gerechnet.

Das gewählte Fenster weist folgende Kennwerte auf:

Wärmedurchgangskoeffizient – U-Wert Fenster	0,98	$\text{W/m}^2\text{K}$
Gesamtenergiedurchlassgrad – g-Wert	0,59	-
Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität (Glas)	20,0	$\text{kJ/m}^2\text{K}$
Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität (Rahmen)	36,1	$\text{kJ/m}^2\text{K}$

2.2.1.2 Oberste Geschossdecke

Dieser Bauteil begrenzt das Gebäude nach oben gegen die Außenluft. Da es sich beim Dachaufbau um ein hinterlüftetes Dach handelt, werden nur die für den Wärmestrom relevanten Schichten aufgezeigt. Laut den Mindestanforderungen der OIB RL 6 muss der U-Wert kleiner als $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ sein.

Folgender Aufbau für die oberste Geschoßdecke wird festgelegt:

Tabelle 4: Aufbau der obersten Geschoßdecke

Bezeichnung (o-u)	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m^3]	c_p [J/kgK]
Dachaufbau*	-	-	-	-
Kunststoff Abdichtung	-	-	-	-
Wärmedämmung (MW)	0,240	0,035	20	1080
Stahlbetondecke	0,250	2,500	2400	1000
Innenputz	0,015	0,670	1500	1000

Wärmedurchgangskoeffizient – U-Wert	0,14	$\text{W/m}^2\text{K}$
Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität	90,8	$\text{kJ/m}^2\text{K}$

* Der Dachaufbau wird aus Gründen der Beibehaltung der Gestaltungsfreiheit (Gründach, Kiesdach usw.) nicht genauer festgelegt

2.2.1.3 Unterste Geschossdecke

Dieser Bauteil begrenzt das Gebäude nach unten gegen das Erdreich. Ein U-Wert von $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ muss laut OIB RL 6 mindestens eingehalten werden.

Folgender Aufbau für die unterste Geschosßdecke wird festgelegt:

Tabelle 5: Aufbau der untersten Geschosßdecke

Bezeichnung (o-u)	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]
Estrich	0,070	1,100	1800	1080
Trennlage	0,001	0,500	980	1800
Trittschalldämmung	0,030	0,038	17	1450
Gebundene Schüttung	0,070	0,060	135	1250
Stahlbetondecke	0,250	2,500	2400	1000
WD (XPS-W 30)	0,060	0,040	28	1450

Wärmedurchgangskoeffizient – U-Wert **0,25** $\text{W/m}^2\text{K}$

Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität **62,3** $\text{kJ/m}^2\text{K}$

2.2.1.4 Zwischendecken

Zwischendecken begrenzen innerhalb des Gebäudes die einzelnen Geschosse. Damit bestehen keine Anforderungen an den Wärmeschutz, hinsichtlich Speicherfähigkeit haben Zwischendecken einen großen Einfluss.

Folgender Aufbau für die Zwischendecke wird festgelegt:

Tabelle 6: Aufbau der Zwischendecke

Bezeichnung (o-u)	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]
Estrich	0,070	1,100	1800	1080
Trennlage	0,001	0,500	980	1800
Trittschalldämmung	0,030	0,038	17	1450
Gebundene Schüttung	0,070	0,060	135	1250
Stahlbetondecke	0,200	2,500	2400	1000
Innenputz	0,015	0,670	1500	1000

Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität (oben) **85,8** $\text{kJ/m}^2\text{K}$

Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität (unten) **93,4** $\text{kJ/m}^2\text{K}$

2.2.1.5 Innenwände

Zur Begrenzung der einzelnen Räume innerhalb eines Gebäudes werden heutzutage größtenteils Leichtbauwände verwendet. Ähnlich wie die Zwischendecke haben sie keine Anforderungen an den Wärmeschutz, jedoch haben sie einen eher geringen Einfluss auf die Schwereklasse des Gebäudes.

Folgender Aufbau für die Innenwände wird festgelegt:

Tabelle 7: Aufbau der Innenwände

Bezeichnung (a-i)	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]
Gipskartonplatte	0,0125	0,210	1000	900
Wärmedämmung (MW)	0,075	0,040	920	30
Gipskartonplatte	0,0125	0,210	1000	900

Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität **12,2** kJ/m²K

2.2.2 Variable Aufbauten

Neben den konstanten Bauteilaufbauten gibt es die Veränderbaren, die sich zwischen den unterschiedlichen Systemkombinationen verändern. Dazu zählen lediglich die Außenwände. Deren Bauteileigenschaften werden anhand festgelegter Wärmeschutzniveaus (U-Wert) und Schwereklassen (flächenbezogene wirksame Speicherkapazität) bewertet, voneinander abgegrenzt und abgebildet.

Grundsätzlich werden 4 Wärmeschutzniveaus bei den Außenwänden festgelegt. Dabei muss grundsätzlich der U-Wert die Mindestanforderungen, welche in der OIB Richtlinie 6 (Stand 2019) enthalten sind, einhalten. Die gewählten Kombinationen liegen teilweise deutlich unter den Mindestanforderungen (0,35 W/m²K für Wände gegen Außenluft – Stand 2019). Folgende Kategorisierung wird angewandt:

Tabelle 8: Einteilung der Wärmeschutzniveaus nach dem U-Werten der Außenwände

Wärmeschutzniveau des Bauteils	U-Wert Außenwand [W/m ² K]
„mittel“	0,30
„gut“	0,20
„hoch“	0,15
„sehr hoch“	0,10

Neben dem U-Wert bildet auch die flächenbezogene wirksame Speicherkapazität der Außenwände einen wichtigen Parameter. Diese wird für die gewählten Außenwände berechnet und anschließend in Kombination mit den restlichen Bauteilen den Schwereklassen der ON B 8110-6 zugewiesen, siehe dafür die nachfolgende Tabelle.

Tabelle 9: Einteilung der Schwereklassen nach der flächenbezogenen wirksamen Speicherkapazität der Außenwände

Schwereklasse	Wirksame Speicherkapazität [Wh/m³K]
Leicht	10
Mittelschwer	20
Schwer	30

Dies bedeutet konkret, dass durch die Wahl dieses Außenwandaufbaus die besagte Schwereklasse des Gebäudes erreicht werden kann. Hierbei gilt noch zu erwähnen, dass in diese Berechnung das gesamte Bauwerk und somit eine Flächengewichtung der einzelnen Bauteile in Abhängigkeit der zuvor festgelegten Gebäudeklasse einfließt. Die Bauteile werden in deren tatsächlichen Größe, ohne Berücksichtigung von Öffnungen und Durchbrüchen berücksichtigt, die Innenwände werden pauschal angenommen.

Dieser Berechnungsalgorithmus kann dazu führen, dass die Außenwand keinen maßgeblichen Einfluss auf die Schwereklasse mehr hat.

2.2.3 Außenwandaufbauten

Die nachstehenden Aufbauten der Außenwände wurden so gewählt, dass sie die zuvor genannten Anforderungen erfüllen.

AWo1 – HLZ 38

Tabelle 10: Schichtaufbau der AWo1 mit Hohllochziegel Stärke 38cm

Bezeichnung (a-i)	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]	cp [J/kgK]
Außenputz Thermoputz	0,040	0,130	400	1000
Ziegel HLZ 38	0,380	0,136	747	1000
Innenputz Kalk-Gips	0,015	0,670	1500	1000

Wärmedurchgangskoeffizient – U-Wert	0,30	W/m²K
daher Wärmeschutzniveau		„mittel“
Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität	39,9	kJ/m²K
Global Warming Potential - GWP	73,0	kgCO ₂ äqu./m² AW

AWo2 – HLZ 44 W.i

Tabelle 11: Schichtaufbau der AWo2 mit Hohllochziegel Wärmedämmung innen Stärke 44cm

Bezeichnung (a-i)	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]
Außenputz Kalk	0,020	0,670	1500	1000
Ziegel HLZ 44 W.i	0,440	0,080	736	2000
Innenputz Kalk-Gips	0,015	0,670	1500	1000

Wärmedurchgangskoeffizient – U-Wert	0,222	W/m ² K
daher Wärmeschutzniveau	„gut“	
Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität	39,8	kJ/m ² K
Global Warming Potential - GWP	88,8	kgCO ₂ äqu./m ² AW

AWo3 – HLZ 38 W.i

Tabelle 12: Schichtaufbau der AWo3 mit Hohllochziegel Wärmedämmung innen Stärke 38cm

Bezeichnung (a-i)	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]
Außenputz Kalk	0,020	0,670	1500	1000
Ziegel HLZ 38 W.i	0,380	0,080	734	2020
Innenputz Kalk-Gips	0,015	0,670	1500	1000

Wärmedurchgangskoeffizient – U-Wert	0,201	W/m ² K
daher Wärmeschutzniveau	„gut“	
Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität	41,2	kJ/m ² K
Global Warming Potential - GWP	76,5	kgCO ₂ äqu./m ² AW

AWo4 – HLZ 50 W.i

Tabelle 13: Schichtaufbau der AWo4 mit Hochlochziegel Wärmedämmung innen Stärke 50cm

Bezeichnung (a-i)	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]
Außenputz Kalk	0,020	0,670	1500	1000
Ziegel HLZ 50 W.i	0,500	0,080	738	2020
Innenputz Kalk-Gips	0,015	0,670	1500	1000

Wärmedurchgangskoeffizient – U-Wert	0,155	W/m ² K
daher Wärmeschutzniveau	„hoch“	
Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität	41,3	kJ/m ² K
Global Warming Potential - GWP	101,1	kgCO ₂ äqu./m ² AW

AWo5 – HLZ 25 + 30 MWD

Tabelle 14: Schichtaufbau der AWo5 mit Hochlochziegel Stärke 25cm mit mineralischer WD Stärke 30cm

Bezeichnung (a-i)	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]
Außenputz Kalk	0,020	0,670	1500	1000
Mineralische Wärmedämmplatte	0,300	0,041	93	1000
Ziegel HLZ 25	0,250	0,227	925	1000
Innenputz Kalk-Gips	0,015	0,670	1500	1000

Wärmedurchgangskoeffizient – U-Wert	0,118 W/m ² K
daher Wärmeschutzniveau	„sehr hoch“
Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität	47,5 kJ/m ² K
Global Warming Potential - GWP	70,3 kgCO ₂ äqu./m ² AW

AWo6 – STB 20 + 24 MW

Tabelle 15: Schichtaufbau der AWo6 mit Stahlbeton Stärke 20cm und Mineralwolle WD Stärke 24cm

Bezeichnung (a-i)	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]
Edelputzmörtel CR Kalk	0,020	0,670	1500	1000
Steinwolle WD	0,240	0,039	120	1030
Stahlbeton	0,200	2,500	2400	1000
Edelputzmörtel CR Kalk	0,015	0,670	1500	1000

Wärmedurchgangskoeffizient – U-Wert	0,155 W/m ² K
Wärmeschutzniveau	„hoch“
Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität	77,5 kJ/m ² K
Global Warming Potential - GWP	142,7 kgCO ₂ äqu./m ² AW

AWo7 – STB 20 + 24 WFWD

Tabelle 16: Schichtaufbau der AWo7 mit Stahlbeton Stärke 20cm und Holzfaser WD Stärke 24cm

Bezeichnung (a-i)	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]
Edelputzmörtel CR Kalk	0,020	0,670	1500	1000
Holzfaser WD	0,240	0,046	130	1700
Stahlbeton	0,200	2,500	2400	1000
Edelputzmörtel CR Kalk	0,015	0,670	1500	1000

Wärmedurchgangskoeffizient – U-Wert	0,181 W/m ² K
Wärmeschutzniveau	„gut“
Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität	77,4 kJ/m ² K
Global Warming Potential - GWP	115,5 kgCO ₂ äqu./m ² AW

AWo8 – HLZ 38 W.i + Lehmziegel

Tabelle 17: Schichtaufbau der AWo8 mit Hochlochziegel Stärke 38cm Wärmedämmung innen und Lehmziegel raumseitig Stärke 12cm

Bezeichnung (a-i)	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	cp [J/kgK]
Edelputzmörtel CR Kalk	0,020	0,670	1500	1000
Ziegel HLZ 38 W.i	0,380	0,080	734	2020
Lehmziegel	0,120	1,000	2000	936
Lehmputz OP	0,005	0,810	1700	936

Wärmedurchgangskoeffizient – U-Wert

0,197 W/m²K

Wärmeschutzniveau

„gut“

Flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität

72,0 kJ/m²K

Global Warming Potential - GWP

87,2 kgCO₂ äqu./m² AW

2.3 Energiesystem

Der letzte wesentliche Bestandteil eines Gebäudes ist jener der Energietechnik. Er beschäftigt sich mit der Produktion, Bereitstellung, Verteilung und Abgabe von Energie in Form von Wärme und Strom innerhalb des Gebäudes und stellt daher einen wichtigen Teil des Gesamtsystems dar.

Hierbei wurde Maß an der derzeit gebauten Realität genommen, mit dem Ziel ein emissionsarmes Energiekonzept zu verwirklichen welche ein komfortables und gesundes Wohnumfeld ermöglichen.

Für die Wärmebereitstellung konnten 3 Hauptkonzepte ausgearbeitet. Diese unterscheiden sich in ihrem Brennstoff und werden unterteilt in Biomassekessel (Pellets, Stückholz, Hackschnitzel), Wärmepumpen (Luft, Wasser, Sole) und Nah- bzw. Fernwärmenetze (Kraft-Wärme-Kopplung). Fossile Energieträger wurden im Vorhinein ausgeschlossen, da diese den Klimazielen widersprechen und in absehbarer Zeit in keinen Neubauten mehr errichtet werden dürfen.

Biomassekessel und lokale Wärmenetze können lediglich Wärme bereitstellen, Wärmepumpen hingegen haben grundsätzlich die Chance im reversiblen Betrieb dem Gebäude auf Wärme zu entziehen und somit zu temperieren. Grundsätzlich erfordern Wärmepumpen neben elektrischer Energie immer eine Wärmequelle. Diese können entweder die Außenluft, mit schlechteren Wirkungsgraden aufgrund der niedrigen Lufttemperaturen in der Heizsaison, Grundwasser oder Sole aus Erdsonden sein. Grundwasser ist nicht überall verfügbar, daher wird diese Möglichkeit nicht weiter betrachtet. Erdsonden dienen in kleinen Gebäuden als direkte Wärmequelle. In größeren Gebäuden hingegen werden sie eher als saisonaler Wärmespeicher herangezogen, indem Wärme aus einer Kühlung, solaren Kollektoren oder Luft-Wärmetauschern im Sommer darin gespeichert wird und im Winter durch die Wärmepumpe bezogen werden kann.

Eine Kombination von zwei unterschiedlichen Wärmequellen bei Wärmepumpen kann aus Gründen der höheren Leistungszahlen sinnvoll sein. Solche sogenannten bivalenten Systeme bieten besonders bei größeren Gebäuden Vorzüge.

Um Schwankungen im Bedarf ausgleichen zu können besteht einerseits die Möglichkeit mit Hilfe von Pufferspeichern diese auszugleichen oder andererseits mit einem leistungsmodulierenden Betrieb der Wärmebereitstellungsanlage zu arbeiten. Biomassekessel werden meistens mit Pufferspeichern ausgestattet, bei Wärmepumpen finden beide Lastausgleichsmethoden Anwendung. Hierbei gilt zu beachten, dass durch einen Pufferspeicher die Verluste steigen, eine modulierende Betriebsweise jedoch die Effizienz einer Wärmepumpe reduzieren kann.

Die Wärmeabgabe erfolgt heutzutage in Wohnbauten durch klassische Radiatoren, Fußbodenheizungen oder mittels Bauteilaktivierungen. Dabei ist aus energetischer Sicht, eine möglichst geringe Vorlauftemperatur anzustreben. Während Radiatoren ungefähr 45°C benötigen kommen Fußbodenheizungen mit rund 35°C aus, in Bauteilaktivierungen reichen sogar rund 30°C Vorlauftemperatur, um die Wohnräume entsprechend warm zu halten. Fußbodenheizungen und Bauteilaktivierungen haben grundsätzlich die Möglichkeit auch direkt zur Kühlung verwendet werden zu können. Radiatoren können dies meist nicht von selbst, daher ist keine Kühlung möglich außer man rüstet diese mit kleinen Lüftern auf.

Um neben ausreichend Wärme auch eine hohe Luftqualität für die Bewohner zu ermöglichen muss ausreichend gelüftet werden. Neben einer klassischen manuellen Lüftung durch Fenster kann dies auch durch eine Abluftanlage mit Nachstromöffnungen oder durch eine kontrollierte Wohnraumlüftung erfolgen. Die zweite Variante sorgt bei niedrigen Investitionskosten für eine bessere Luftqualität, während letztere zusätzlich dazu noch die Lüftungswärmeverluste durch einen Wärmetauscher reduziert. Hierbei gilt anzumerken, dass alle nicht belüftbaren Räume, also jene ohne Fenstern, zwingend mechanisch belüftet werden müssen.

Eine lokale Gewinnung von Energie wird in Zukunft immer wichtiger werden. Das lokale Potential der Solarstrahlung kann in jedem Gebäude thermisch oder elektrisch genutzt werden. Eine thermische Nutzung sieht Solarthermie Kollektoren am Dach vor, die insbesondere für die Warmwassergewinnung genutzt werden und während der Übergangs- und Sommerzeit einen großen Teil der Wärme bereitstellen kann. Mit einer entsprechenden Dimensionierung kann im Sommer die gesamte benötigte Wärme für das Warmwasser bereitgestellt werden, ohne den Betrieb des Heizungssystems zu erfordern. Mit Hilfe von PV-Paneelen kann vor Ort direkt Strom erzeugt werden, der bestmöglich sofort im Gebäude genutzt werden sollte, bevor er in das örtliche Stromnetz einspeist wird. Eine Erhöhung des Eigenverbrauchs und damit eine verbesserte Wirtschaftlichkeit können durch sinnvolle Steuerungsmaßnahmen von Abnehmern (Demand-Side-Management) oder durch Batteriespeicher erzielt werden. Sowohl thermische und elektrische Produktionen tragen direkt dazu bei die CO₂ Emissionen zu reduzieren, indem sie elektrische Energie beziehungsweise Brennstoff des Heizungssystems einsparen.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass ein Haustechnisches System aus jeweils einem fixen Bestandteil der folgenden Kategorien aufweisen muss:

- **Wärmebereitstellung:**
 - Biomassekessel Pellets, Hackschnitzel oder Scheitholz
 - Luft-Wärmepumpe
 - Sole-Wärmepumpe ohne Regeneration
 - Sole-Wärmepumpe mit solarer oder Regeneration
 - Bivalente Systeme Sole- und Luft- Wärmepumpen

- **Leistungsregulierung:**
 - Lastausgleichsspeicher
 - modulierend
 - keine Speicherung

- **Wärmeabgabe:**
 - Radiatoren – 45°C
 - Fußbodenheizung – 35°C
 - Bauteilaktivierung – 30°C

- **Lüftungsart:**
 - manuelle Fensterlüftung
 - Abluftanlage mit Nachstromöffnungen
 - kontrollierte Wohnraumlüftung

Neben diesen zwingend erforderlichen Bestandteilen, können die Energiekonzepte noch durch andere Aspekte erweitert werden. Darunter fallen die Bereiche der Kostenreduktion und die lokale Gewinnung von Energie

- **Lokale Gewinnung:**
 - Photovoltaik Anlage
 - Röhrenkollektoren
- **Kostenreduktion:**
 - Wind-Peak Shaving
 - Demand-Side Management
 - Batteriespeicherung zur Erhöhung Eigenverbrauchs (bei PV)

Die Maßnahmen der Kostenreduktion stellen interessante und zukunftsfähige Systeme dar, sind jedoch noch stark von Energieversorgern und zukünftigen Entwicklungen abhängig. Daher finden diese nur untergeordnet Anwendung in den betrachteten Energiekonzepten.

2.4 Varianten

Aus den drei grundlegenden oben genannten Komponenten für Gebäude (Gebäudetyp, Baukonstruktion und Energiekonzept) wurden 8 verschiedene Kombinationen gewählt. Diese Varianten wurden genauer betrachtet und deren Kennzahlen in den Gebäudebeschreibungen hinsichtlich der im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Qualitäten analysiert und bewertet.

Bei der ersten Variante, VAR 01, wurden die Parameter folglich gewählt:

- Einfamilienhaus, $l_c = 1,30$ m
- mittlerer U-Wert $0,35$ W/m²K [AW $0,31$ W/m²K] – „mittel“
wirksame Speicherkapazität $22,3$ Wh/m³K - „mittelschwer“
- Pelletskessel für Heizung + WW, modulierend, 4 m² Röhrenkollektor, Fensterlüftung, Niedertemperaturradiatoren

Bei der zweiten Variante, VAR 02, wurden die Parameter folglich gewählt:

- Einfamilienhaus, $l_c = 1,30$ m
- mittlerer U-Wert $0,31$ W/m²K [AW $0,22$ W/m²K] – „gut“
Speicherfähigkeit $22,5$ Wh/m³K - „mittelschwer“
- Pelletskessel für Heizung + WW, inkl. Pufferspeicher, 25 m² Röhrenkollektor, Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung, Fußbodenheizung

Bei der dritten Variante, VAR 03, wurden die Parameter folglich gewählt:

- Einfamilienhaus, $l_c = 1,30$ m
- mittlerer U-Wert $0,30$ W/m²K [AW $0,20$ W/m²K] – „gut“
Speicherfähigkeit $22,5$ Wh/m³K - „mittelschwer“
- Erd-Wärmepumpe mit Tiefensonden für Heizung + WW, 5 kWp PV Anlage
Fensterlüftung, Fußbodenheizung

Bei der vierten Variante, VAR 04, wurden die Parameter folglich gewählt:

- Einfamilienhaus, $l_c = 1,30$ m
- mittlerer U-Wert $0,27$ W/m²K [AW $0,15$ W/m²K] – „hoch“
Speicherfähigkeit $22,5$ Wh/m³K - „mittelschwer“
- Luft-Wärmepumpe für Heizung + WW, 5 kWp PV Anlage
Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung, Fußbodenheizung

Bei der fünften Variante, VAR 05, wurden die Parameter folglich gewählt:

- Geschosswohnungsbau, $l_c = 2,66$ m
- mittlerer U-Wert $0,28$ W/m²K [AW $0,12$ W/m²K] – „sehr hoch“
Speicherfähigkeit $22,9$ Wh/m³K - „mittelschwer“
- Erd-Wärmepumpe mit Tiefensonden und Regeneration für Heizung + WW
Fensterlüftung, Fußbodenheizung

Bei der sechsten Variante, VAR 06, wurden die Parameter folglich gewählt:

- Geschosswohnungsbau, $l_c = 2,66$ m
- mittlerer U-Wert $0,30$ W/m²K [AW $0,15$ W/m²K] – „hoch“
Speicherfähigkeit $24,0$ Wh/m³K - „mittelschwer“
- Erd-Wärmepumpe mit Tiefensonden für Heizung, 50 m² Solarthermie für WW
Fensterlüftung, Fußbodenheizung

Bei der siebten Variante, VAR 07, wurden die Parameter folglich gewählt:

- Geschosswohnungsbau, $l_c = 2,66$ m
- mittlerer U-Wert $0,32$ W/m²K [AW $0,18$ W/m²K] – „gut“
Speicherfähigkeit 24 Wh/m³K - „mittelschwer“
- Luft-Wärmepumpe für Heizung + WW, Wind-Peak Shaving zur Kostenreduktion
kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung, Bauteilaktivierung

Bei der achten Variante, VAR 08, wurden die Parameter folglich gewählt:

- Mehrfamilienhaus, $l_c = 1,43$ m
- mittlerer U-Wert $0,30$ W/m²K [AW $0,19$ W/m²K] – „gut“
Speicherfähigkeit $25,2$ Wh/m³K - „mittelschwer“
- Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung Heizung + WW
Fensterlüftung, Bauteilaktivierung

Bei der Wahl der Kombinationen wurde darauf geachtet, möglichst unterschiedliche Systeme zu betrachten, die jedoch auch in der Realität Anwendung finden.

3 Zielqualitäten

Die Pariser Klimaziele und die Österreichische Umsetzung im Nationalen Klima- und Energieplan fordern die Senkung der Emissionen von Gebäuden bis 2050 um 80-90 %. Das Energieeffizienzgesetz wird daher für den Gebäudebestand sowie für den Neubau optimiert, die Energieversorgung wird ausschließlich mit erneuerbaren Energieträgern erfolgen². Vor diesem Hintergrund gilt es festzulegen welche Zielqualitäten Gebäude in Zukunft aufweisen müssen, um einerseits diesen ambitionierten Zielen zu entsprechen und andererseits wirtschaftlich und sozial darstellbar zu bleiben.

Die folgenden Zielqualitäten für Gebäude stellen die inhaltliche Grundlage für die Erstellung der Modellgebäude und deren Analyse dar. Teilweise sind die Qualitäten über unterschiedliche Parameter technisch quantitativ bewertbar, wie beispielsweise der Klimaschutz über die THG-Emissionen. Teilweise stellen die Zielqualitäten jedoch auch qualitative Ziele dar, wie z.B. Gesundheit und Komfort. Insgesamt zielen die Kriterien auf eine möglichst gesamtheitliche Bewertung des Systems durch qualitative Merkmale, nach dem Schulnotenprinzip (sehr gut bis genügend), als auch quantitative Merkmale, über die technischen Kennzahlen, ab.

Zur Übersicht sind in Abbildung 1 die Nachhaltigkeitsziele in den Säulen der Ökologie, Ökonomie und Soziales, inklusive zugehöriger Zielqualitäten, dargestellt. Die jeweiligen Zielqualitäten werden in den nachfolgenden Unterpunkten genauer erläutert.

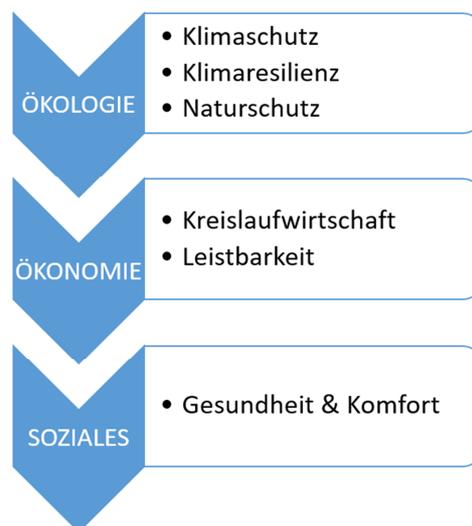


Abbildung 1: Gliederung der Zielqualitäten bezüglich der Nachhaltigkeitsziele

Zusätzlich werden noch rechtliche Mindestanforderungen an die Gebäude definiert, welche zwingend eingehalten werden müssen, um der Rechtslage entsprechend in Österreich realisiert werden zu können.

² Kirchengast, G., Kromp-Kolb, H., Steininger, K., Stagl, S., Kirchner, M., Ambach, Ch., Grohs, J., Gut-sohn, A., Peisker, J., Strunk, B. (2019): Referenzplan als Grundlage für einen wissenschaftlich fundierten und mit den Pariser Klimazielen in Einklang stehenden Nationalen Energie- und Klimaplan für Österreich (Ref-NEKP) — Gesamtband, November 2019, 204 S., CCCA Wien-Graz. – Verlag der ÖAW, Wien, Österreich.

3.1 Ökologie

3.1.1 Klimaschutz

Klimaschutz ist eine der zentralen Herausforderungen der Menschheit. Die unterschiedlichen Gebäudekombinationen haben durch Berechnung der jeweiligen Energiekennzahlen quantitative Aussagekraft und können somit bewertet und voneinander abgegrenzt werden. Unter die bewerteten Energiekennzahlen fallen der Heizwärmebedarf HWB, der Faktor Gesamtenergieeffizienz f_{GEE} , der Heizenergiebedarf HEB, der Primärenergiebedarf in Form der nicht erneuerbaren Energiequellen $PEB_{n,ern}$ und der gesamtheitliche Betrachtung PEB_{ges} , der Endenergiebedarf EEB sowie die Kohlenstoffdioxidemissionen CO_2 .

Bei der Betrachtung des Klimaschutzes werden die Treibhausgasemissionen aus dem Gebäudebetrieb in Form von CO_2 Emissionen sowie das Global Warming Potential GWP aus der Errichtung des Gebäudes bezogen auf die unterschiedlichen Außenwandaufbauten bewertet.

Vereinfacht gesagt spielen folgende drei Qualitäten aus dem Gebäudebetrieb die wesentlichste Rolle hinsichtlich der Erreichung der Pariser Klimaschutzziele:

- $CO_{2eq} \leq 8 \text{ kg/m}^2\text{a}$ für A++ laut OIB RL6
- $PEB_{SK} \leq 60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ für A++ laut OIB RL6

Diese Zielsetzungen orientieren sich an den Effizienzklasse der OIB RL 6 und streben eine Bewertung A++ an. Dabei sollte beachtet werden, dass in begründeten Fällen eine niedrigere Einstufung (A+, A, B) ebenfalls sinnvoll sein kann und nicht per se negativ einzustufen ist.

Klasse	HWB _{Ref,SK} [kWh/m ² a]	PEB _{SK} [kWh/m ² a]	CO _{2eq,SK} [kg/m ² a]	f _{GEE,SK} [-]
A++	10	60	8	0,55
A+	15	70	10	0,70
A	25	80	15	0,85
B	50	160	30	1,00
C	100	220	40	1,75
D	150	280	50	2,50
E	200	340	60	3,25
F	250	400	70	4,00
G	> 250	> 400	> 70	> 4,00

Abbildung 2: Effizienzklassen nach OIB RL 6 -2019

3.1.2 Klimaresilienz

Zukünftig ist davon auszugehen, dass die Häufigkeit sowie die Schwere von Extremwittersituationen im Zuge des Klimawandels zunehmen werden. Daher sind Maßnahmen zur Anpassung und eine Erhöhung der Resilienz gegenüber solchen Ereignissen jetzt und in Zukunft unabdingbar.³ Der größte Anpassungsbedarf besteht demnach in der Vermeidung von sommerlicher Überhitzung von Gebäuden.⁴

Zur Bewertung, der Klimaresilienz der Gebäude können die wirksame Wärmekapazität (nach ISO 13786) und die Sommertauglichkeitsgüteklasse (nach ON B 8110-3) herangezogen werden.

Die wirksame Wärmekapazität ist jene Wärmemenge, die innerhalb einer festgelegten Periode innerhalb eines Bauteiles gespeichert werden kann. Sie errechnet sich aus den einzelnen wärmetechnischen Eigenschaften der Bauteilschichten und dient als Basis zur Festlegung einer Schwereklasse nach ON B 8110-6. Die Schwereklasse und die Wärmekapazität geben Aufschluss darüber, wie sehr die Raumtemperatur auf schwankende Bedingungen (z.B.: Außentemperatur, Wärmeeinträge) reagiert und sollte entsprechend der zu erwartenden Nutzung gewählt werden. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass eine hohe wirksame Speicherkapazität ein Gebäude träge werden lässt und somit resilienter auf schwankende Außentemperaturen reagiert.

Nach ON B 8110-3 wird die Sommertauglichkeit in 3 Güteklassen eingeteilt: sommertauglich, gut sommertauglich und sehr gut sommertauglich. Dabei wird jeweils der Verlauf der operativen Temperatur im Innenraum mit jenem der Außentemperatur verglichen und anhand von gesetzlichen Vorgaben bewertet. Liegt die operative Temperatur deutlich unter dem gesetzlichen Grenzwert, so spricht man von einer guten (1,5 K Unterschreitung) oder gar sehr guten Sommertauglichkeit (3 K Unterschreitung). Ziel sollte auf jeden Fall eine gute Sommertauglichkeit sein, um auch zukünftige Hitzeereignisse problemlos durchstehen zu können.

Die Mindestanforderung errechnet sich aus der NAT_{13} Temperatur des Standortes durch die Formel $1/3 * NAT_{13} + 21,8 \text{ °C}$ errechnet und ergibt für den gewählten Standort folgende Grenzwerte:

Tabelle 18: Sommertauglichkeit Güteklassen

Güteklasse	Grenzen operativen Raumtemperatur
Sommertauglich	29,1 °C
gut Sommertauglich (- 1,5 K)	27,6 °C
sehr gut Sommertauglich (- 3,0 K)	26,1 °C

³ Vgl.: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (Hrsg.); Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel; Teil 1 – Kontext; Aktualisierte Fassung; 2017; https://services.bka.gv.at/mrd-xxv/48/48_40_bei_n_kontext_NB.pdf [11.10.2020]

⁴ Vgl.: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (Hrsg.); Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel; Teil 1 – Kontext; Aktualisierte Fassung; 2017; S. 126 https://services.bka.gv.at/mrd-xxv/48/48_40_bei_n_kontext_NB.pdf [11.10.2020]

3.1.3 Naturschutz

Mit dem Voranschreiten des Klimawandels gerät auch die Stabilität unseres Ökosystems in Gefahr. Dies bedeutet nichts Geringes als die unumkehrbare Zerstörung der Lebensgrundlage des Menschen. Insbesondere bei der Artenvielfalt ist die Belastbarkeit schon weit überschritten und wird weiter belastet. Um unser Ökosystem zu stabilisieren müssen die verbliebenen Lebensräume bestmöglich geschützt werden und diese schrittweise wieder zu vergrößern.

Naturschutz im Bereich der Gebäude bedeutet demnach neben der Förderung von Biodiversität vor allem auch Flächenschutz, Ressourcenschonung und Reduktion von Umweltbelastungen durch Verschmutzungen. Für die Gestaltung von Gebäuden ergeben sich daraus die folgend angeführten Gestaltungsprinzipien.

- Standort und Einfluss auf die Umgebung
- Stoffliche- und energetische Ressourcenschonung
- Versiegelung reduzieren und Regenwassernutzung und –versickerung forcieren
- Schadstoffemissionen und Umweltverschmutzung
- Thermal Waste

Anhand dieser Gestaltungsprinzipien werden die Gebäudevariationen qualitativ bewertet und können anhand der Steckbriefe voneinander abgegrenzt werden.

Aspekte die positiv auf dieses Kriterium einwirken ist beispielsweise ein kompakter Baukörper, mit hohen Geschossflächenzahlen (Verhältnis von Grundstücksfläche zu Bruttogrundfläche), eine Reduktion von versiegelten Flächen in der Außenraumgestaltung, bei der Baustoffwahl auf schadstoffarme und naturnahe Materialien setzen, eine Versickerung bzw. Nutzung von Regenwasser am eigenen Grundstück oder Dächer zu begrünen.

Zusätzlich sollte der Einfluss der haustechnischen Anlagen (Lüftung und Heizung) in die direkte Umgebung reduziert werden. Dies bedeutet konkret, dass eine Abgabe von Abwärme aus einer möglichen Kühlung in die Umgebungsluft verhindert werden muss. Auch die Situierung von Ansaugung- und Fortluft einer Lüftungsanlage sollte mit Bedacht gewählt werden.

3.2 Ökonomie

3.2.1 Kreislaufwirtschaft

In Bezug auf Gebäude umfasst der Begriff Kreislaufwirtschaft die verwendeten Materialien und wiederverwendbaren Bauteile sowie des Einsatzes erneuerbarer Energieträger. Aus den Entsorgungseigenschaften der eingesetzten Baustoffe und der daraus zusammengesetzten Baukonstruktionen lässt sich der Entsorgungsindikator El_{KON} ⁵ ableiten. Wie schon bei anderen Kriterien angewandt, erfolgt auch hier eine Bewertung lediglich anhand des Entsorgungsindikator der Außenwandaufbauten in $Pkt./m^2_{AW-Fläche}$. Dadurch ist es möglich die Gebäudevariationen hinsichtlich ihrer Entsorgungs- und Recyclingeigenschaften beurteilt.

Der Aspekt des Einsatzes erneuerbarer Energieträger wird über den nicht erneuerbaren Anteil des Primärenergiebedarf am Standort $PEB_{SK,n.em.}$ bewertet.

3.2.2 Leistbarkeit und Wirtschaftlichkeit

Die Leistbarkeit eines Gebäudes und somit des Wohnraumes steht im direkten Zusammenhang mit dem durchschnittlichen Einkommen pro Person, welches bei 2200 Euro/Monat, 14-mal pro Jahr ausgezahlt, liegt. Betrachtet wird ein Haushalt mit zwei erwerbstätigen Personen. Dem gegenüber stehen die gesamten monatlichen Kosten und ergeben sich aus Betriebskosten plus Annuität der Investitionskosten basierend den betrachteten Zeitraum von 20 Jahren und einer Finanzierung von 2 %. Die Leistbarkeit von Wohnraum ist laut Armutskonferenz gegeben, wenn die Wohnkostenbelastung maximal 25% des Einkommens beträgt. Folgende Tabelle 19 wird zur Bewertung der Leistbarkeit von Wohnraum herangezogen.

Tabelle 19: Einteilung der Leistbarkeit

Leistbarkeit	Wohnkostenbelastung
Sehr gut	< 25 %
Gut	25-45 %
Schlecht	>45 %

Da eine genaue Betrachtung der Kosten mit allen Einflussparametern zu umfangreich ist und die Essenz der Aussage verloren ginge, wird hierbei eine Teilbetrachtung der Lebenszykluskosten angewandt. Ausgehend von einer Basisvariante der Investitionskosten für jede Variante mit ihren Spezifika wie Größe und Heizlast, kommen jeweils Auf- und Abschläge für die Parameter Wandbildner und Haustechnik zur Anwendung. Dies ermöglicht eine leichte und übersichtliche Betrachtung der Unterschiede.

⁵ IBO-Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH; Berechnungsleitfaden Entsorgungsindikator El_{10} ; V 2.0 (2018); S. 10; https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/materialoekologie/El10_Berechnungsleitfaden_V2.01_2018.pdf

Bei den Baukosten werden in Abhängigkeit des Gebäudetyps (EFH, MFH, GWB) Kosten für die Errichtung geschätzt, abzüglich jenen, die in den Bereich der unten angeführten Haustechnik fallen, und entsprechend des gewählten Wandaufbaus gemäß den erwarteten Mehr- oder Minderkosten adaptiert. Als Basis wird hierbei eine Außenwand mit Stahlbeton und Wärmedämmung herangezogen.

Die Ausgangsvariante der Haustechnik ist eine Luft-Wärmepumpe mit Radiatoren und sofern bereits in den Energiebedarf eingerechnet eine kontrollierte Wohnraumlüftungsanlage. Dazu kommen Auf- und Abschläge für eine Änderung der Wärmebereitstellung, der Wärmeabgabe oder Nutzung lokaler Solarpotentiale.

Die Berechnung der Betriebskosten erfolgt aufgeteilt auf die Parameter Energiekosten, Wartung und Instandhaltung sowie die Betriebsführung. Letztere findet nur bei Mehrfamilien- und Geschosswohnungsbauten Anwendung, die anderen beiden Teilkosten berechnen sich aus dem Energiebedarf und dem Wärmebereitstellungssystem abzüglich möglichen PV-Erträgen.

Ausgewiesen werden Errichtungskosten für Konstruktion und Haustechnik, die zu erwartenden Betriebskosten sowie die Leistbarkeit, klassifiziert nach Tabelle 19.

3.3 Soziales

3.3.1 Gesundheit und Komfort

Rund 60 Prozent der Lebenszeit, und damit anteilmäßig am längsten, beträgt die Aufenthaltsdauer in der eigenen Wohnung.⁶ Gesundheit und Komfort zuhause wird hier qualitativ bewertet. Bewertungskriterien für den Gesundheitsaspekt sind Umwelteinflüsse, chemische, -physikalische - biologische Faktoren der Baustoffe, Ästhetik und Behaglichkeitsfaktoren wie zum Beispiel Schallschutz, sommerlicher Hitzeschutz und Wärmeschutz.

Aus der Sicht des Komforts werden thermische und hygrische Behaglichkeitseinflüsse und die Raumluftqualität betrachtet. Neben der regulären Einhaltung von Standardkomfortparameter als Ausgangslage können sich unter anderem das Wärmeabgabesystem, die Lüftungsart oder die Materialwahl positiv auswirken. So kann beispielsweise eine mechanische Lüftungsanlage den Feuchtegehalt, die CO₂ Konzentration und die Schadstoffkonzentration im Raum reduzieren und somit zu einer Gesundheit fördernden Wohnumgebung beitragen.

Der Aspekt des sommerlichen Hitzeschutzes wird in Kombination mit der im Kapitel der Klimaresilienz bewerteten Sommertauglichkeitsgüteklasse (ohne Kühlung) und der Möglichkeit einer Temperierung der Wohnflächen im Sommer bewertet.

⁶ Vgl.: Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie; Ärztinnen und Ärzte für eine gesunde Umwelt (Hrsg.); Tappler P.; Innenluftqualität und Gesundheit; Innenraumluft-Info; 2015
http://raumluft.org/fileadmin/dokumente/raumluft.org_-_Info_Luftqualitaet_V_2.1.pdf [16.10.2020]

3.4 Besondere Qualitäten

Nicht alle Vor- und Nachteile eines Systems lassen sich zwangshalber in eine der zuvor genannten Kategorien einordnen. Sollte sich ein Gebäude durch eine besondere Qualität hervorheben, so kann dies in diesem Aspekt beschrieben werden.

Dazu könnten beispielsweise die Thematiken der Energieflexibilität, der Netzdienlichkeit in Form von Lastverteilung oder Demand-Side Management oder die Steuer und Regelbarkeit in Hinsicht der Autonomie der Haustechnischen Anlage zählen.

Nebensächlich hierbei sind Kriterien der architektonischen Ausgestaltung, alle Aspekte die standortspezifisch sind und daher in einem Modellgebäude nicht abgebildet werden können.

3.5 Baurechtliche Anforderungen

Grundsätzlich ist es erforderlich, dass die Kombination aus Gebäudetyp, Baukonstruktion und Energiekonzept gewissen Grundanforderungen einhält, um rechtskonforme und gesellschaftlich akzeptable Gebäude darzustellen. Zu den rechtlichen Erfolgskriterien zählt hauptsächlich die Genehmigungsfähigkeit über das Jahr 2021 hinaus. Dazu zählt:

- $HWB_{Ref,RK} \leq 16 * (1 + 3/lc)$
- $f_{GEE} \leq 0,75$

Neben diesen Anforderungen aus der OIB- Richtlinie ist anzumerken, dass auch alle anderen rechtlichen Aspekte des Bauens in Form von Gesetzen und darin verwiesenen Normen und Richtlinien zwingend eingehalten werden müssen. Dazu zählen beispielsweise die Bauordnung, Flächenwidmungs- und Bebauungsplänen, die österreichischen Normen (beispielsweise ON B 8110). Zusätzlich ist anzumerken, dass bei genauerer Betrachtung in den bewerteten Gebäudekonstellationen die Notwendigkeit von geringfügigen Adaptierungen aufgrund von rechtlichen, aber auch technischen Erfordernissen nicht auszuschließen ist. Zur Erlangung von Rechtssicherheit und Baubarkeit ist immer eine ausführliche Analyse des Individualfalls mit allen Details erforderlich.

4 Gebäudeprofile

Für die oben genannten 8 Varianten wurden zunächst die relevanten Kennzahlen ermittelt und anhand der Zielqualitäten bewertet. Zur übersichtlichen Darstellung werden diese in Form von zweiseitigen Gebäudebeschreibungen im Anhang beigefügt. Nachfolgend findet sich eine kurze Leseanleitung sowie detailliertere Informationen zu den einzelnen Varianten.

4.1 Ergebnisdarstellung

Bei der Ergebnisdarstellung in Form der zweiseitigen Gebäudebeschreibung finden auf der Vorderseite zunächst eine Kurzbeschreibung der betrachteten Variante und folglich Informationen zum gewählten Gebäudetypus (EFH, MFH, GWB), inklusive maßgebender Kennzahlen wie der Nutzfläche, zur Baukonstruktion und auch zur Haustechnischen Konzeption.

Konkret findet sich im Unterpunkt des Gebäudetypus der Aufbau der Außenwand mit deren Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) in W/m^2K und speicherwirksamen Masse in kJ/m^2K .

Die Zusammensetzung aus Wärmebereitstellung, Wärmeabgabe, Lüftung und Besonderheit wird in verbaler Form bei der Haustechnischen Konzeption dargestellt. Darin findet sich zusätzlich die zu erwartenden Heizlast für das gesamte Gebäude.

Zusätzlich findet sich auf der Vorderseite eine Zuordnung nach den essenziellen Anforderungen des Dualen Wegs, dem Heizwärmebedarf HWB_{RK} und dem Faktor Gesamtenergieeffizienz und ein Fazit über das Gesamtsystem inklusive eine Bewertung nach dem Schulnotenprinzip (sehr gut bis genügen).

Auf der Rückseite der Gebäudebeschreibung findet sich die konkrete Bewertung des gewählten Systems nach den Zielqualitäten der drei Nachhaltigkeitssäulen Ökologie, Ökonomie und Soziales.

Auch hier finden sich neben einer verbalen Beschreibung auch die quantitativen Kennzahlen für jedes Kriterium. Sofern es sich um ein nicht in Kennzahlen fassbares Kriterium handelt, wie es der Naturschutz sowie Gesundheit und Komfort sind, findet primär qualitative Beschreibung und Klassifizierung nach Schulnoten statt.

Zur erleichterten Einschätzung von Laien werden neben den tatsächlichen Kennwerten auch Vergleichsbalken bereitgestellt, welche die Spannweite der jeweiligen Kategorie und die Bewertung des Systems angeben.

Die gewählten Grenzen werden in der untenstehenden Tabelle dargestellt. Sofern möglich wurde auf vorhandene Modelle zurückgegriffen, siehe beispielsweise OIB Richtlinie 6 bei Energiekennzahlen oder die Bewertung des Ziegelhauses 2050 für Leistbarkeit.

Tabelle 20: Einteilung der Grenzwerte - Energieanforderungen

Energieanforderungen	Untergrenze (Ziel)	Obergrenze
HWB_{RK}	10 kWh/m ² a	150 kWh/m ² a
f_{GEE}	0,55	2,00

Tabelle 21: Einteilung der Grenzwerte - Ökologie

ÖKOLOGIE		Untergrenze (Ziel)	Obergrenze
Klimaschutz	PEB	60 kWh/m ² a	400 kWh/m ² a
	CO ₂	8 kg/m ² a	70 kg/m ² a
	GWP	40 kgCO _{2,eq} /m ² _{AW}	400 kgCO _{2,eq} /m ² _{AW}
Klimaresilienz	Wirksame Wärmekapazität	0	50
	Sommertauglichkeit	Sehr gute Sommertauglichkeit	Sommertauglich
Naturschutz		Sehr gut	genügend

Tabelle 22: Einteilung der Grenzwerte - Ökonomie

ÖKONOMIE		Untergrenze (Ziel)	Obergrenze
Kreislaufwirtschaft	E_{KON} Aussenwand	0,10	5,00
	$PEB_{SK,n.ern.}$	10 kWh/m ² a	300 kWh/m ² a
Leistbarkeit und Wirtschaftlichkeit	Betriebskosten je Wohneinheit	1.000 €/Whg a	3.000 €/Whg a
	Errichtungskosten	1.500 €/m ² _{BGF}	3.000 €/m ² _{BGF}
	Leistbarkeit	10 % des Haushaltseinkommens	50 % des Haushaltseinkommens

Tabelle 23: Einteilung der Grenzwerte - Soziales

SOZIALES	Untergrenze (Ziel)	Obergrenze
Gesundheit und Komfort	Sehr gut	genügend

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gliederung der Zielqualitäten bezüglich der Nachhaltigkeitsziele	21
Abbildung 2: Effizienzklassen nach OIB RL 6 -2019	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nachweis der Einhaltung der Anforderungen für Wohngebäude über den Endenergiebedarf	8
Tabelle 2: Nachweis der Einhaltung der Anforderungen für Wohngebäude über den Gesamtenergiebedarf	8
Tabelle 3: Grenzen des HWB und f_{GEE} für die gewählten Referenzgebäude	8
Tabelle 4: Aufbau der obersten Geschoßdecke	9
Tabelle 5: Aufbau der untersten Geschoßdecke	10
Tabelle 6: Aufbau der Zwischendecke	10
Tabelle 7: Aufbau der Innenwände	11
Tabelle 8: Einteilung der Wärmeschutzniveaus nach dem U-Werten der Außenwände.....	11
Tabelle 9: Einteilung der Schwereklassen nach der flächenbezogenen wirksamen Speicherkapazität der Außenwände.....	12
Tabelle 10: Schichtaufbau der AWo1 mit Hohllochziegel Stärke 38cm	12
Tabelle 11: Schichtaufbau der AWo2 mit Hohllochziegel Wärmedämmung innen Stärke 44cm.....	13
Tabelle 12: Schichtaufbau der AWo3 mit Hohllochziegel Wärmedämmung innen Stärke 38cm	13
Tabelle 13: Schichtaufbau der AWo4 mit Hochlochziegel Wärmedämmung innen Stärke 50cm	13
Tabelle 14: Schichtaufbau der AWo5 mit Hochlochziegel Stärke 25cm mit mineralischer WD Stärke 30cm	14
Tabelle 15: Schichtaufbau der AWo6 mit Stahlbeton Stärke 20cm und Mineralwolle WD Stärke 24cm	14
Tabelle 16: Schichtaufbau der AWo7 mit Stahlbeton Stärke 20cm und Holzfaser WD Stärke 24cm ..	14
Tabelle 17: Schichtaufbau der AWo8 mit Hochlochziegel Stärke 38cm Wärmedämmung innen und Lehmziegel raumseitig Stärke 12cm.....	15
Tabelle 18: Sommertauglichkeit Güteklassen.....	23
Tabelle 19: Einteilung der Leistbarkeit	25
Tabelle 20: Einteilung der Grenzwerte - Energieanforderungen	29
Tabelle 21: Einteilung der Grenzwerte - Ökologie.....	29
Tabelle 22: Einteilung der Grenzwerte - Ökonomie	29
Tabelle 23: Einteilung der Grenzwerte - Soziales	29

Anhang

Im Anhang finden sich die 8 Gebäudebeschreibungen sowie deren Energieausweise.