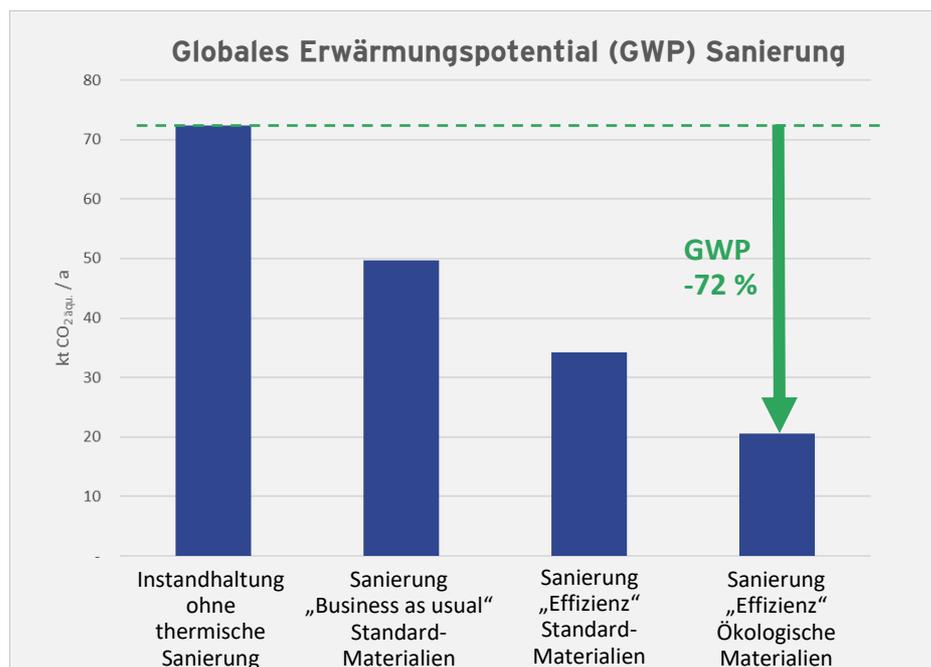


Energieinstitut Vorarlberg

# Klimarelevanz der Materialwahl bei Wohnbauten in Vorarlberg

## Projektbericht



Energieinstitut Vorarlberg  
Bereich Ökologisch Bauen

Dornbirn, 30. Juli 2020

Projektleitung: Bmst. Harald Gmeiner und Mag. Christoph Sutter

Projektteam: Dipl.-Ing. Katharina Bäuerle, Ing. Patrick Denz, Verena Engstler B.Sc.,  
Magdalena Fink BAS, Mag. Annabelle Garcia Wisser, Dr. Tobias Hatt,  
Dipl.-Ing. Martin Ploss, Ing. Angelika Rettenbacher

Mit finanzieller Unterstützung des Fachbereichs Energie und Klimaschutz  
im Amt der Vorarlberger Landesregierung



# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Zusammenfassung und Empfehlungen	5
Ausgangslage	9
Projektziele	10
Arbeitspakete	11
1. Erhebung und Auswahl der Mustergebäude	11
2. Materialtechnische Definition der Baukonstruktionen	14
3. Definition und Entwicklung des Berechnungs- und Auswertungstools	25
4. Energie- und Klimabeitrag der Materialwahl im Wohnbau	27
5. Bericht und Transfer	47
Anhang	48
Glossar	48
Abbildungsverzeichnis	50
Tabellenverzeichnis	53
Literaturverzeichnis	53
Impressum	55



# Zusammenfassung und Empfehlungen

Das Bauwesen in Österreich verursacht mehr als 50 % des Abfallaufkommens, 30 % des stofflichen Verbrauchs und zirka 40 % des Energieverbrauchs. Die Studie dient daher der Erhebung und Abschätzung der Potentiale typischer Wohnbauten bezüglich Klimaschutz und Materialeffizienz.

Aufbauend auf der Studie „*Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070: Szenarien zum künftigen Energiebedarf des Wohngebäudeparks*“ (Ploss et al., 2017) sollte ergänzend zum Energiebedarf für den Gebäudebetrieb auch der Energiebedarf für die Herstellung der für Sanierung bzw. Neubau erforderlichen Baustoffe bewertet werden. Zudem sollte untersucht werden, ob unter Berücksichtigung der Herstellungsphase eine Anpassung der Szenarien der oben genannten Studie erforderlich wird. Die Beantwortung dieser Fragen sollte anhand der Indikatoren „Globales Erwärmungspotential“ und „nicht erneuerbare Primärenergie“ erfolgen.

## Datengrundlage

Für die Analyse im Bereich der **Sanierung** wurden Wohngebäude, die zwischen 1971 und 1980 in Vorarlberg errichtet wurden, ausgewählt. Diese Gebäudekategorie hat mit 2,5 Mio. Quadratmeter einen großen Anteil an der Wohnnutzfläche in Vorarlberg und aufgrund ihres Alters ein hohes Potential, in den kommenden Jahren saniert zu werden. Es wurden fünf Gebäudetypen, vom Einfamilienhaus bis zum großen Geschosswohnungsbau, erfasst und bewertet. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern wurde zudem zwischen Holz- und Massivbauweise unterschieden. Insgesamt wurden für die Sanierung 7 Fallvarianten untersucht. Für die Analyse im Bereich **Neubau** wurden für die prognostizierten Neubauten der Baujahre 2011 bis 2035 die beiden Gebäudetypen Einfamilienhaus und Wohnhausanlage mit 10 bis 19 Wohneinheiten untersucht.

Untersuchte Fallvarianten (Gebäudetyp + Konstruktionsart):

Sanierung							Neubau	
1. EFH Holz	2. EFH Massiv	3. ZFH Holz	4. ZFH Massiv	5. MFH Massiv	6. WHA Massiv	7. GWB Massiv	8. EFH	9. GWB

Die vier betrachteten Szenarien zu Energieeffizienz und Materialwahl:

Gebäudebetrieb		Materialwahl		Szenario
1. Status Quo	+	Standard	=	
2. Business as usual	+	Standard	=	
3. Effizienz	+	Standard	=	
4. Effizienz	+	Ökologisch	=	

In der Summe wurden für 9 Fallvarianten je 4 Szenarien untersucht und berechnet. Ergänzend dazu wurden zudem die Themen „Ersatzneubau“ und „Gebäudebestand als Rohstofflager“ anhand der zur Verfügung stehenden Gebäudetypen abgeschätzt.

## Adaptierung der Forschungsfrage

Im Projektverlauf wurde die anfängliche Forschungsfrage „*Wie hoch ist der Beitrag der klimatechnisch optimalen Baustoffwahl zur Erreichung der Energieautonomie Vorarlberg Zielsetzung?*“ adaptiert.

Die Energieautonomie stellt methodisch auf die Energieverbräuche der in Vorarlberg hergestellten Güter und Dienstleistungen ab. Wo diese konsumiert werden, bleibt dabei unberücksichtigt. Güter und Dienstleistungen, die in Vorarlberg hergestellt werden, werden in der Energieautonomie auch bei ihrem Export immer dem Energieverbrauch in Vorarlberg zugerechnet. Umgekehrt bleiben importierte Güter und Dienstleistungen in der Bilanz der Energieautonomie unberücksichtigt. Das ist durchaus zu begrüßen, denn der Vorarlberger Landtag, der die Energieautonomie 2007 einstimmig beschlossen hat, hat auf in Vorarlberg produzierte Güter und Dienstleistungen einen wesentlich größeren Einfluss als auf Güter und Dienstleistungen die außerhalb Vorarlbergs produziert werden.

Im Bereich der in besonderem Maß überregional gehandelten Baustoffe führt diese Betrachtung aber zu Ergebnissen, die den Zielen der Energieautonomie zuwiderlaufen würden. Ein mit hohem Energieaufwand außerhalb von Vorarlberg produzierter Baustoff wird in der Energieautonomie-Bilanz nicht erfasst und damit besser bewertet als ein Baustoff, der mit geringem Energieaufwand in Vorarlberg hergestellt wird. Daher wird im Rahmen dieser Studie, abweichend von der Bilanzierungsmethode der Energieautonomie, der Energieaufwand und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen der in Vorarlberg eingesetzten Baustoffe unabhängig davon, wo diese produziert werden, betrachtet.

Da damit für diese Untersuchung eine von der Energieautonomie abweichende Bilanzgrenze gewählt wurde, konnte die ursprüngliche Forschungsfrage („*Wie hoch ist der Beitrag der klimatechnisch optimalen Baustoffwahl zur Erreichung der Energieautonomie Vorarlberg Zielsetzung?*“) nur eingeschränkt beantwortet werden.

Die adaptierte Forschungsfrage lautet daher:

**Wie hoch ist der klimarelevante Beitrag der Baustoffwahl**, wenn neben dem Gebäudebetrieb auch die Herstellungenergie berücksichtigt wird?

## Ergebnisse

Zusammenfassend zeigt die Studie:

- Die ökologische Baustoffwahl reduziert den Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie und die Emission von Treibhausgasen.
- Die ökologische Baustoffwahl unterstützt derzeit indirekt die Erreichung der Ziele der Energieautonomie Vorarlberg.

Die Ergebnisse sind nachfolgend im Detail für die Sanierung, den Neubau, den Ersatzneubau und für das Rohstofflager beschrieben.

## Sanierung

Die Forschungsfrage, ob unter Berücksichtigung der Herstellung der Materialien die Szenarien der Studie „*Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070: Szenarien zum künftigen Energiebedarf des Wohngebäudeparks*“ (Ploss et al., 2017) angepasst werden müssen, kann verneint werden. Auch unter Berücksichtigung der Herstellung der Materialien ist das „Effizienz“-Szenario deutlich besser als das „Status Quo“- und das „Business as usual“-Szenario.

Aus den Ergebnissen im Bereich Sanierung wird deutlich, dass die Berücksichtigung der Herstellung von Materialien in Bezug auf die globale Erwärmung sinnvoll ist und entsprechend berücksichtigt werden sollte. In der Sanierung wäre eine klimatisch optimale Baustoffwahl damit auch relevant für die Erreichung der Ziele der Energieautonomie.

**Globales Erwärmungspotential (GWP):** In der Gebäudekategorie der Baujahre 1971-1980 beträgt die Reduktion des Globalen Erwärmungspotentials gegenüber dem Status Quo für das Szenario „Effizienz“ mit Standard-Materialien 53 Prozent bzw. 38 kt CO<sub>2</sub> äqu. je Jahr. Bei einer ökologischen Materialwahl sind es sogar 72 Prozent bzw. 52 kt CO<sub>2</sub> äqu. je Jahr. Das Einsparpotential durch die ökologische Materialwahl beträgt also 14 kt CO<sub>2</sub> äqu. je Jahr.

Zur Verdeutlichung: Die 72 Prozent Einsparung (52 kt CO<sub>2</sub> äqu. je Jahr) entsprechen in etwa der Menge an CO<sub>2</sub>, die 4,15 Millionen Buchen jährlich binden (bei 12,5 Kilogramm CO<sub>2</sub> je Baum pro Jahr).

**Nicht erneuerbare Primärenergie (PERNT):** Für den Indikator „Nicht erneuerbare Primärenergie“ sind die Ergebnisse gegenüber dem Status Quo für das Szenario „Effizienz“ mit Standard-Materialien 43 Prozent (141 GWh je Jahr) und mit ökologischen Materialien 48 Prozent (159 GWh je Jahr). Das Einsparpotential durch die ökologische Materialwahl beträgt also 18 GWh je Jahr.

Die besseren U-Werte im Szenario „Effizienz“ werden dank der ökologischen Materialwahl mit geringeren Emissionen und Primärenergieaufwand erreicht als die schlechteren U-Werte des „Business as usual“-Szenarios mit Standard-Materialien.

## Neubau

Die Berücksichtigung der Herstellung der Materialien bietet insbesondere im Neubau ein relevantes Optimierungspotential.

**Globales Erwärmungspotential (GWP):** Die Einsparung beim Szenario „Effizienz“ mit Standard-Materialien gegenüber dem Szenario „Status Quo“ beträgt 13 Prozent (4 ktCO<sub>2</sub> äqu. je Jahr) und mit ökologischen Materialien sogar 74 Prozent (26 ktCO<sub>2</sub> äqu. je Jahr).

**Nicht erneuerbare Primärenergie (PERNT):** Für den Indikator „Nicht erneuerbare Primärenergie“ beträgt die Einsparung gegenüber dem Status Quo für das Szenario „Effizienz“ mit Standard-Materialien 14 Prozent (20 GWh je Jahr) und mit ökologischen Materialien 28 Prozent (42 GWh je Jahr). Das Einsparpotential durch eine ökologische Materialwahl beträgt also 22 GWh je Jahr.

## Ersatzneubau

Der ökologische Ersatzneubau kann in der gesamthafter Erfassung von Betriebs- und Herstellungsphase sowohl hinsichtlich des globalen Erwärmungspotentials (GWP) als auch hinsichtlich nicht erneuerbarer Primärenergie (PERNT) gleich gut oder besser sein als eine Sanierung. Dies gilt vor allem, wenn beste Energiestandards (besser als im „Effizienz“- Szenario) mit besten ökologischen Materialien kombiniert werden. Die ökologische Sinnhaftigkeit ist jedoch im Einzelfall zu prüfen.

## Rohstofflager

Die Bestandsgebäude stellen ein beträchtliches Rohstofflager dar. Bei einer angenommenen Beton-Recyclingquote von 90% beträgt das Betonrohstofflager der Gebäude der Baujahre 1971-1980 zirka 1,9 Millionen Tonnen. Zum Vergleich: 1,28 Millionen Tonnen Kies werden in Vorarlberg jährlich für die Herstellung von Beton verwendet.

## Empfehlungen

Aus den Erkenntnissen der Studie werden zur Erreichung der Ziele der Energieautonomie folgende Mindestvorgaben für den Wohnbau sowie generelle strategische Ausrichtung empfohlen:

1. **Best Practice für Sanierung und Erweiterung:**  
Mindeststandard Szenario „Effizienz“ mit ökologischer Materialwahl
2. **Best Practice für Neubau:**  
Mindeststandard Szenario „Effizienz“ mit ökologischer Materialwahl
3. **Best Practice für Ersatzneubau:**  
Mindeststandard Szenario „Effizienz“ mit ökologischer Materialwahl.  
Ein Ersatzneubau kann ökologisch gleich gut oder besser sein als eine Sanierung. Daher ist die Prüfung im Einzelfall sinnvoll.
4. **Nachwachsende Rohstoffe** wie z.B. Holz, Hanf, Holzfaser, Stroh und Zellulose verstärkt einsetzen und fördern
5. **Den Oekoindex** als materialtechnisches Planungs-, Optimierungs- und Lenkungsinstrument verstärkt anwenden und auf die Betrachtung aller Gebäudeteile (Bilanzgrenze BG3) erweitern.
6. **Recycling verstärken** und damit eine aktive Bewirtschaftung des Rohstofflagers Gebäudebestand voranbringen.

# Ausgangslage

## Bauwesen in Österreich

Das Bauwesen verursacht in Österreich mehr als 50% des Abfallaufkommens und 30% des stofflichen Verbrauchs. Der Wärmeverbrauch von Gebäuden ist in Vorarlberg für knapp 40% des Energieverbrauchs verantwortlich. Die Reduktion des Ressourceneinsatzes durch energie- und umweltschonende Baumaterialien kann daher die Erreichung der Ziele der Energieautonomie maßgeblich unterstützen.

## Energieautonomie Vorarlberg

Die Energieautonomie Vorarlberg gibt vor, den Verbrauch nicht erneuerbarer Energie und die damit verbundenen Umweltauswirkungen im Zeitraum 2005 bis 2050 um 60% zu reduzieren. Ein maßgeblicher Beitrag dazu ist die Reduktion des Energieverbrauchs der Gebäude in Vorarlberg.

Allerdings verursachen die dafür erforderlichen Maßnahmen wie die Gebäudesanierung, der Austausch von ineffizienten technischen Anlagen und Geräten oder der Aus- und Umbau der Infrastruktur (Tiefgaragen, Abstellplätze etc.) zusätzlichen Material- und Primärenergieaufwand (graue Energie) sowie Treibhausmissionen.

Die klimarelevanten Auswirkungen dieser zusätzlich erforderlichen Ressourcenströme auf die Erreichung der Ziele der Energieautonomie sind ausreichend bekannt. Rund 25 der 101 enkeltauglichen Maßnahmen induzieren maßgebliche Ressourcenströme und sollten deshalb auf die Unterstützung der Ziele der Energieautonomie ausgerichtet werden. Speziell die Materialeffizienz im Bauwesen kann einen wichtigen Beitrag zu den Klimazielen leisten.

## Oekoindex

Das Instrument zur Optimierung der Materialeffizienz in Österreich ist der Oekoindex (OI). Er wird aus den drei Ökoindikatoren PENRT (Primärenergie nicht erneuerbar total), GWP (Treibhauspotential) und AP (Versauerungspotential) berechnet und beurteilt die ökologische Qualität der Baumaterialien, Baukonstruktionen und Gebäude.

In der Vorarlberger Wohnbauförderung wird aus Vereinfachungsgründen der Oekoindex anhand der Bilanzgrenze 0 (BG0 - thermische Gebäudehülle) bewertet. Die Berechnung erfolgt automatisch im Zuge der Energieausweisberechnung. Ökologisch wesentliche Gebäudeteile wie Keller, Tiefgaragen, etc. werden derzeit nicht berücksichtigt.

Öffentliche Gebäude werden im Vorarlberger Kommunalgebäudeausweis bereits vollständig mittels Bilanzgrenze 3 erfasst und bewertet. Um den Bearbeitungsaufwand zu reduzieren, wurde im Zuge des Forschungsprojektes HEROES eine vereinfachte Berechnung der Bilanzgrenze 3 entwickelt.

Im Bauwesen in Vorarlberg sind momentan zwei Bilanzgrenzen in Verwendung.

## Projektziele

Die Studie soll der Erhebung der Materialeffizienz-Potentiale von Wohnbauten in Vorarlberg sowie einer einfachen Abschätzung des möglichen Beitrages zur Erreichung der Ziele der Energieautonomie dienen.

Die Fragestellung lautet: **Wie hoch ist der klimarelevante Beitrag der Baustoffwahl**, wenn neben dem Gebäudebetrieb auch die Herstellungsenergie berücksichtigt wird?

Die Ziele der Untersuchung sind:

- Die Potentiale der Materialwahl im Wohnbau zu erheben und deren Auswirkungen auf die globale Erwärmung und den Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie abzuschätzen
- Empfehlungen für die Materialeffizienz in Sanierung und Neubau abzuleiten
- Klimarelevante materialtechnische Einsparungspotentiale, aufbauend auf die Studie „*Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070: Szenarien zum künftigen Energiebedarf des Wohngebäudeparks*“ (Ploss et al., 2017), abzuschätzen
- Grundlagen und Argumente für die Diskussion, Meinungsbildung und Entscheidungshilfe bei der Planung und Sanierung von Wohnbauten zu erhalten
- Grundlagen und Daten als Basis für strategische Entscheidungen über Vorgaben für Sanierung und Neubau von Wohnbauten in Vorarlberg zu erhalten
- Eine erste Einschätzung für das Thema „Ersatzneubau“ zu erhalten: Wann ist Abriss die ökologisch bessere Lösung, wann die Sanierung?

## Grundlagen

Das Projekt basiert auf den Ergebnissen der folgenden Studien bzw. komplettiert die energetische Betrachtung mit einer materialtechnischen Betrachtung:

- „*Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070: Szenarien zum künftigen Energiebedarf des Wohngebäudeparks*“ (Ploss u. a. 2017)
- „*Klimagerechter Nachhaltiger Wohnbau (KliNaWo)*“ (Ploss u. a. 2019)
- „*Vorstudie zur Relevanz des Ressourcenverbrauchs für die Energieautonomie Vorarlbergs 2050 – Mit Fokus auf das Bauwesen*“
- „*Information für Ressourceneffizienz*“ (Gmeiner 2018) (Wiedenhofer, Haas, und Wieland 2013)

Weiters wird bei Neubauten auf die Daten des Projektes „*Oekoindex Bilanzgrenze 3 - Projekt zur Erweiterung der Oekoindex-Bilanzgrenze und deren Anwendung in der Bauplanungsphase*“ (Sutter und Gmeiner 2019) zurückgegriffen.

# Arbeitspakete

Die Forschungsarbeit wurde in folgende fünf Arbeitspakete aufgeteilt:

1. Erhebung und Auswahl der Mustergebäude
2. Materialtechnische Definition der Baukonstruktionen
3. Definition und Entwicklung des Berechnungs- und Auswertungstools
4. Energie- und Klimabeitrag der Materialwahl im Wohnbau
5. Bericht und Transfer

Folgende Ausarbeitungen wurden in den einzelnen Arbeitspaketen durchgeführt:

## 1. Erhebung und Auswahl der Mustergebäude

Die Gebäudekategorien und Flächen wurden aus der Szenarien-Studie (Ploss u. a. 2017) übernommen.

### Sanierung

Für die Untersuchung wurde die Gebäudekategorie E (Baujahre 1971 bis 1980) betrachtet. Aufgrund ihres Alters werden diese Gebäude mit hoher Wahrscheinlichkeit in den kommenden Jahren saniert. Diese Gebäudekategorie stellt zudem den drittgrößten Flächenanteil der Bestandsgebäude nach jenen aus den Jahren 1991 bis 2000 (Kategorie G) und aus den Jahren 2001 bis 2010 (Kategorie H) dar.

Diese Gebäude wurden in den Betriebsszenarien „Status Quo“, „Business as usual“ und „Effizienz“ untersucht. Die Betriebsenergie wurde aus den Berechnungen der Szenarien-Studie übernommen. Dabei werden folgende U-Werte und Verteilung der Energieträger angenommen.

		Bestandsgebäude je Gebäudekategorie und -typ in m <sup>2</sup> Wohnnutzfläche							
Typ	Kategorie	A	B	C	D	E	F	G	H
		vor 1919	1919-1945	1946-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
<b>Einfamilienhaus (EFH)</b>		714.466	263.099	731.735	945.753	1.046.552	1.348.915	1.347.493	1.313.469
<b>Zweifamilienhaus (ZFH)</b>		503.724	189.005	348.702	473.567	437.936	148.591	258.570	221.030
<b>Mehrfamilienhaus (MFH)</b> 3 - 9 Wohneinheiten		338.516	235.663	279.588	338.987	452.771	491.847	787.142	646.013
<b>Wohnhausanlage (WHA)</b> 10 – 19 Wohneinheiten		11.956	9.247	42.758	114.385	302.365	132.924	326.328	276.511
<b>Geschosswohnbau (GWB)</b> > 20 Wohneinheiten		8.203	6.862	23.791	92.898	245.846	36.226	39.926	66.756
<b>Gesamt</b>		<b>1.576.866</b>	<b>703.876</b>	<b>1.426.575</b>	<b>1.965.590</b>	<b>2.485.469</b>	<b>2.158.503</b>	<b>2.759.459</b>	<b>2.523.780</b>
<b>%</b>		<b>10%</b>	<b>5%</b>	<b>9%</b>	<b>13%</b>	<b>16%</b>	<b>14%</b>	<b>18%</b>	<b>16%</b>

Tabelle 1 - Flächenverteilung Bestandsgebäude im Jahr 2035 nach Gebäudekategorie und -typ entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Ploss u. a. 2017)

U-Werte und Wärmebrückenzuschlag: Bestand (saniert) in W/(m <sup>2</sup> K)				
Szenario	Außenwand	Dach	Kellerdecke	Wärmebrücken-zuschlag
Status Quo	0,37	0,27	0,45	0,05
Business as usual	0,35	0,25	0,375	0,05
Effizienz	0,18	0,14	0,265	0,05

Tabelle 2 - U-Werte für Bestandsgebäude der Gebäudekategorie E im Jahr 2035 in den Szenarien „Status Quo“, „Business as usual“ und „Effizienz“ der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Ploss u. a. 2017)

Verteilung Energieträger Bestandsgebäude Szenario „Status Quo“ im Jahr 2035							
Gebäudetyp	Heizöl	Gas	Biomasse zentral	Biomasse dezentral	Fernwärme	Strom direkt-elektrisch	Strom Wärme-pumpe
EFH / ZFH	37%	21%	17%	7%	6%	9%	3%
MFH / WHA / GWB	22%	35%	12%	3%	14%	11%	3%

Tabelle 3 - Verteilung Energieträger Bestandsgebäude für Heizung und Warmwasser in der Gebäudekategorie E im Szenario „Status Quo“ im Jahr 2035 entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Ploss u. a. 2017)

Verteilung Energieträger Bestandsgebäude Szenario „Business as usual“ im Jahr 2035							
Gebäudetyp	Heizöl	Gas	Biomasse zentral	Biomasse dezentral	Fernwärme	Strom direkt-elektrisch	Strom Wärme-pumpe
EFH / ZFH	22%	29%	15%	7%	9%	10%	7%
MFH / WHA / GWB	14%	39%	14%	1%	15%	12%	5%

Tabelle 4 - Verteilung Energieträger für Heizung und Warmwasser Bestandsgebäude in der Gebäudekategorie E im Szenario „Business as usual“ im Jahr 2035 entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Ploss u. a. 2017)

Verteilung Energieträger Bestandsgebäude „Szenario Effizienz“ im Jahr 2035							
Gebäudetyp	Heizöl	Gas	Biomasse zentral	Biomasse dezentral	Fernwärme	Strom direkt-elektrisch	Strom Wärme-pumpe
EFH / ZFH	18%	26%	20%	7%	10%	11%	8%
MFH / WHA / GWB	12%	37%	15%	1%	16%	13%	6%

Tabelle 5 - Verteilung Energieträger Bestandsgebäude für Heizung und Warmwasser in der Gebäudekategorie E im „Szenario Effizienz“ im Jahr 2035 entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010- 2070“ (Ploss u. a. 2017)

## Neubau

Für die Untersuchung im Bereich Neubau konnte auf die Daten des Projektes „Oekoindex Bilanzgrenze 3 - Projekt zur Erweiterung der Oekoindex-Bilanzgrenze und deren Anwendung in der Bauplanungsphase“ (Sutter und Gmeiner, 2019) zurückgegriffen werden. Im Zentrum dieser Studie standen ein Einfamilienhaus und eine Wohnhausanlage mit 16 Wohneinheiten.

		Neubau je Gebäudekategorie und -typ in m <sup>2</sup> Wohnnutzfläche			
		I	J	K	Gesamt
Typ	Kategorie	2011 - 2020	2021 - 2030	2031 - 2035	
		<b>Einfamilienhaus (EFH)</b>	933.511	666.131	237.019
	Zweifamilienhaus (ZFH)	157.979	112.730	40.111	310.820
	Mehrfamilienhaus (MFH) 3 - 9 Wohneinheiten	884.515	762.966	308.160	1.955.641
	<b>Wohnhausanlage (WHA) 10 – 19 Wohneinheiten</b>	380.065	327.837	132.413	840.314
	Geschosswohnbau (GWB) > 20 Wohneinheiten	89.834	77.489	31.298	198.620
		<b>2.445.903</b>	<b>1.947.153</b>	<b>749.001</b>	<b>5.142.056</b>

Tabelle 6 - Flächenverteilung Neubau im Jahr 2035 nach Gebäudekategorie und -typ entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Martin Ploss u. a. 2017)

Szenario	U-Werte und Wärmebrückenzuschlag: Neubau in W/(m <sup>2</sup> K)			
	Außenwand	Dach	Kellerdecke	Wärmebrückenzuschlag
Status Quo	0,17	0,14	0,25	0,03
Business as usual	0,145	0,12	0,195	0,03
Effizienz	0,115	0,08	0,15	0,03

Tabelle 7 - U-Werte Neubau (Gebäudekategorie I, J und K) im Jahr 2035 in den Szenarien „Status Quo“, „Business as usual“ und „Effizienz“ entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Ploss u. a. 2017)

Gebäude-typ	Verteilung Energieträger Neubau Szenario „Status Quo“						
	Heizöl	Gas	Biomasse zentral	Biomasse dezentral	Fernwärme	Strom direkt-elektrisch	Strom Wärmepumpe
EFH	0%	41%	15%	0%	21%	0%	23%
WHA	1%	33%	31%	0%	6%	0%	29%

Tabelle 8 - Verteilung Energieträger Neubau (Gebäudekategorie I, J und K) Szenario „Status Quo“ im Jahr 2035 entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Martin Ploss u. a. 2017)

Verteilung Energieträger Neubau-Szenario „Business as usual“							
Gebäudetyp	Heizöl	Gas	Biomasse zentral	Biomasse dezentral	Fernwärme	Strom direkt-elektrisch	Strom Wärmepumpe
EFH	0%	38%	12%	0%	26%	0%	25%
WHA	0%	29%	30%	0%	7%	0%	35%

Tabelle 9 - Verteilung Energieträger Neubau (Gebäudekategorie I, J und K) Szenario „Business as usual“ im Jahr 2035 entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Martin Ploss u. a. 2017)

Verteilung Energieträger Neubau-Szenario "Effizienz"							
Gebäudetyp	Heizöl	Gas	Biomasse zentral	Biomasse dezentral	Fernwärme	Strom direkt-elektrisch	Strom Wärmepumpe
EFH	0%	30%	13%	0%	29%	0%	28%
WHA	0%	26%	32%	0%	11%	0%	31%

Tabelle 10 - Verteilung Energieträger Neubau Szenario „Effizienz“ im Jahr 2035 entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Martin Ploss u. a. 2017)

## 2. Materialtechnische Definition der Baukonstruktionen

Die Ökobilanz für die Herstellung der Baustoffe (Lebensphase A1-A3 entsprechend Önorm EN 15804 (Austrian Standards 2018)) wurde mit „baubook eco2soft – ökobilanz für gebäude“ ([www.baubook.info/eco2soft](http://www.baubook.info/eco2soft)) berechnet. Die Berechnung erfolgte mit produktneutralen Richtwerten für Baumaterialien aus dem Richtwerte - Katalog des Österreichischen Institut für Bauen und Ökologie (IBO 2017). Unabhängig vom Sanierungszeitpunkt werden damit konstante Produktionsbedingungen und ein konstanter Energiemix angenommen.

Das Einsparpotential in der Verbesserung der Herstellungsprozesse (beispielsweise durch Wärmerückgewinnung in der Produktion, Umstieg auf erneuerbare Energieträger in der Herstellung, Reduktion der Transportwege etc.) wird in dieser Studie nicht untersucht. Für alle verwendeten Baustoffe und Materialien wird von Standard-Produktionsbedingungen, entsprechend dem heutigen Stand der Technik, ausgegangen.

Die Gebäude wurden mit U-Werten entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 - 2070“ (Ploss u. a. 2017) für die Szenarien „Status Quo“, „Business as usual“ und „Effizienz“ (siehe „1. Erhebung und Auswahl der Mustergebäude“) mit Standard-Materialien in eco2soft erfasst. Zusätzlich wurde das Szenario „Effizienz“ mit ökologischen Materialien untersucht.

Bestandsschichten wurden bei der Berechnung der Ökobilanz als vollständig abgeschrieben betrachtet, d.h. die Herstellung dieser Schichten wurde nicht berücksichtigt. Der Neubau bzw. die im Zuge der Sanierung erneuerten Schichten wurden unabhängig vom Zeitpunkt der Sanierung vollständig berücksichtigt, d.h. nicht abgeschrieben. Da der Betrachtungszeitraum mit 30 Jahren angenommen wurde, wurden Nutzungsdauern und damit verbundene Austauschzyklen der Materialien nicht berücksichtigt.

## Sanierung

Die Erhebung und Definition der materialtechnisch typischen Ausführung (Baustandards) erfolgte unter Einbeziehung von Fachexperten auf Basis der Gebäudekategorie E (Baujahre 1971 - 1980) der Studie „*Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070*“ (Ploss u. a. 2017).

Bei Ein- und Zweifamilienhäusern (Gebäudetypen EFH und ZFH) wurde auf Basis einer Internetrecherche ein Holzbauanteil von 20% angenommen. Bei Mehrwohnhäusern (Gebäudetypen MFH, WHA, GWB) wurde ausschließlich von Gebäuden in Massivbauweise ausgegangen.

Aus den 5 Gebäudetypen der Gebäudekategorie E und der Unterscheidung in Holzbau und Massivbau bei Ein- und Zweifamilienhäusern ergeben sich 7 Fallvarianten.

Sanierung							
Fallvariante	1. EFH Holz	2. EFH Massiv	3. ZFH Holz	4. ZFH Massiv	5. MFH Massiv	6. WHA Massiv	7. GWB Massiv
Szenarien							

Diese wurden jeweils in einer Standardvariante mit konventionellen Baustoffen und zwei ökologischen Varianten mit den U-Werten entsprechend der drei untersuchten Szenarien für den Gebäudebetrieb („Status Quo“, „Business as usual“, „Effizienz“) erfasst. In der Auswertung und Aufbereitung der Ergebnisse wurde dann auf eine der ökologischen Varianten fokussiert.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Bauteile beispielhaft für das Einfamilienhaus in Holzbauweise und die Wohnhausanlage in Massivbauweise, jeweils mit konventionellen Materialien und mit ökologischen Materialien. Die Abbildungen zeigen jeweils die Bauteile mit ihren U-Werten entsprechend dem Szenario „Effizienz“.

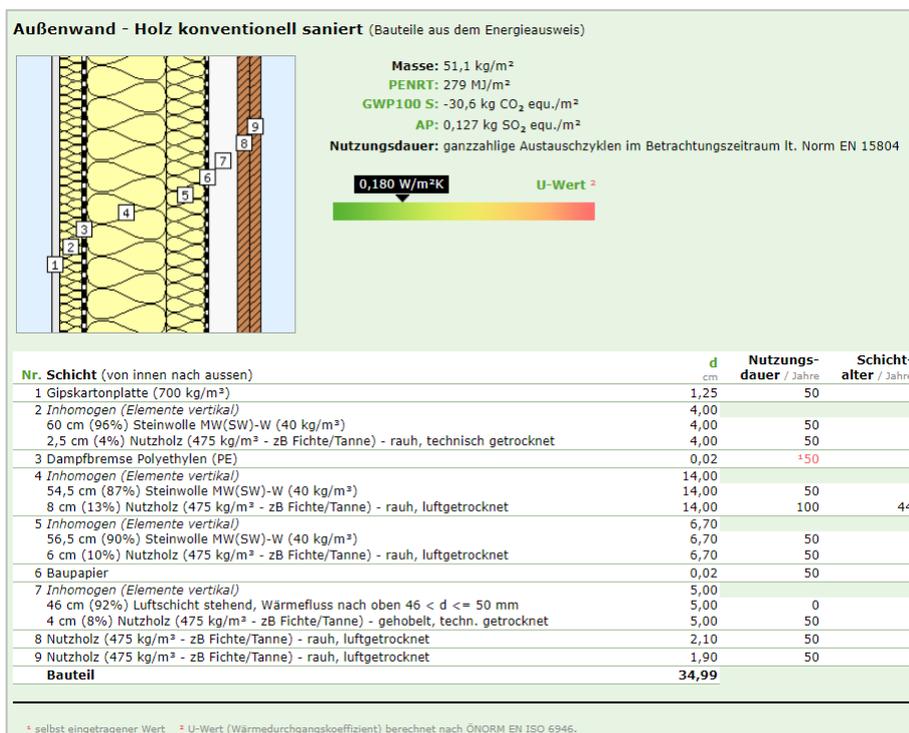


Abbildung 1 - Außenwand Einfamilienhaus, Holzbauweise, konventionell saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

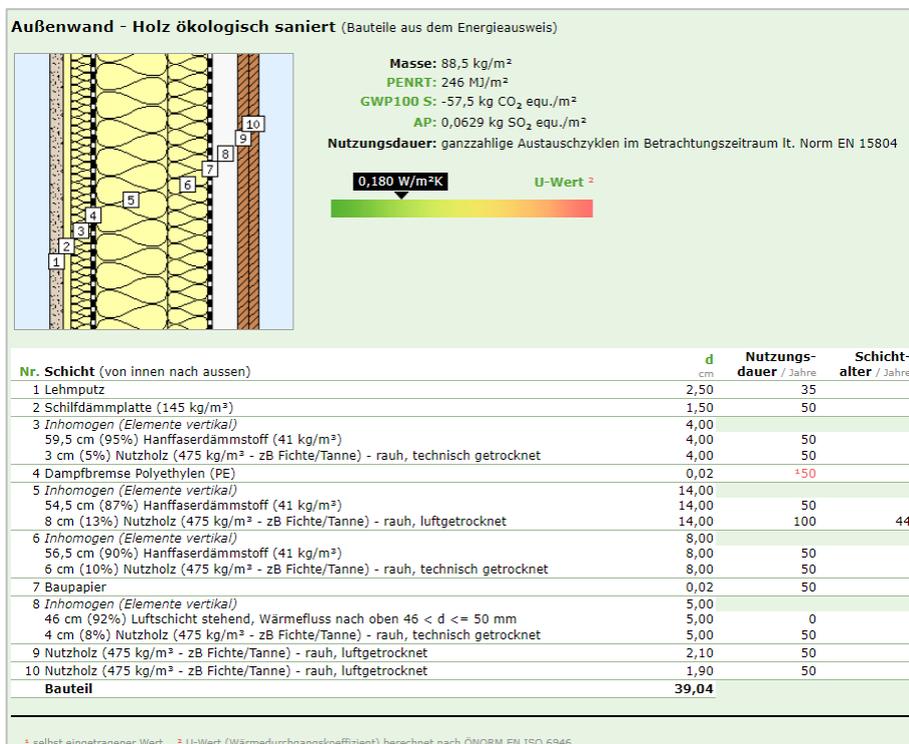


Abbildung 2 - Außenwand Einfamilienhaus, Holzbauweise, ökologisch saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

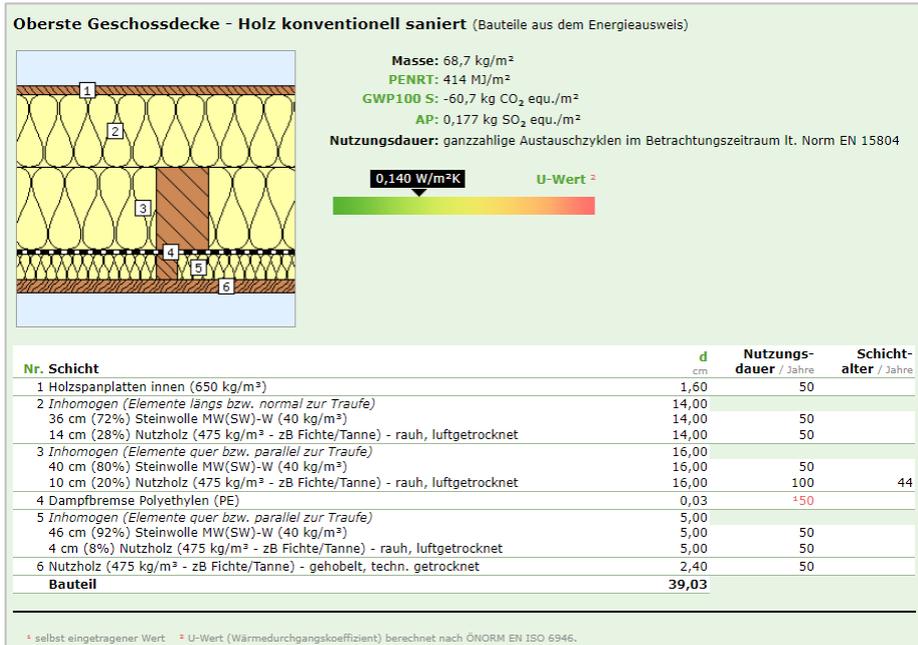


Abbildung 3 - Oberste Geschoßdecke Einfamilienhaus, Holzbauweise, konventionell saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

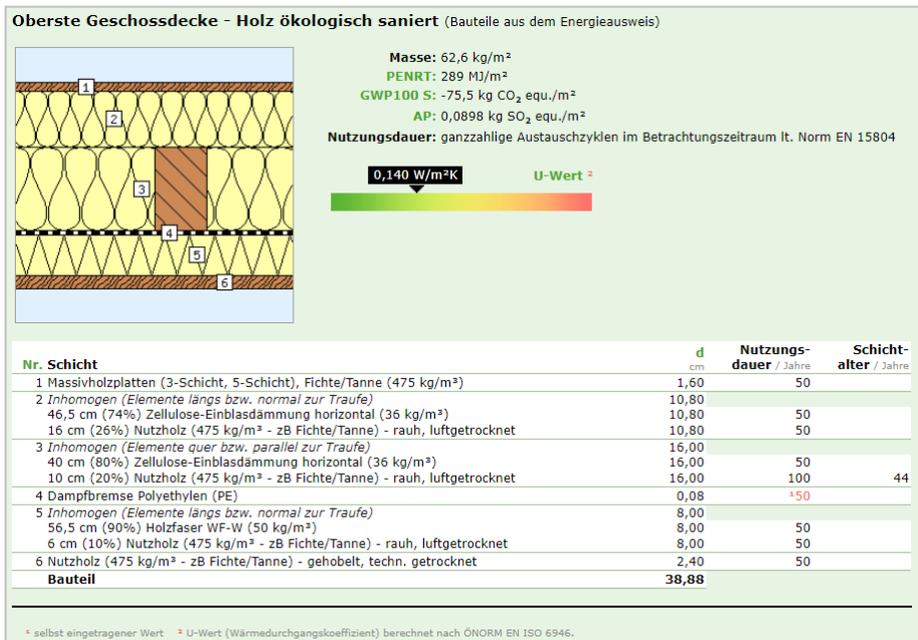


Abbildung 4 - Oberste Geschoßdecke Einfamilienhaus, Holzbauweise, ökologisch saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

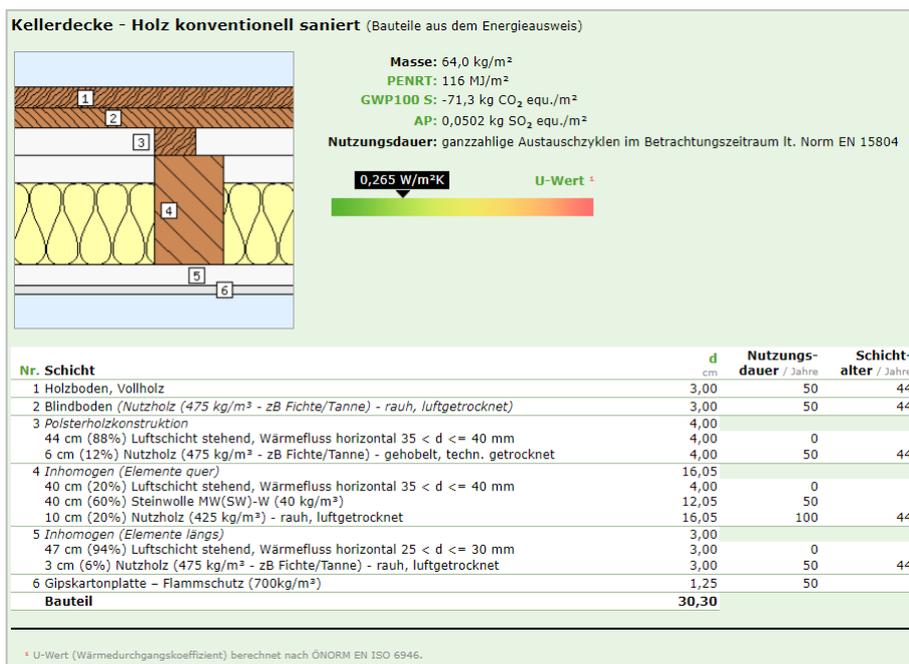


Abbildung 5 - Kellerdecke Einfamilienhaus, Holzbauweise, konventionell saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

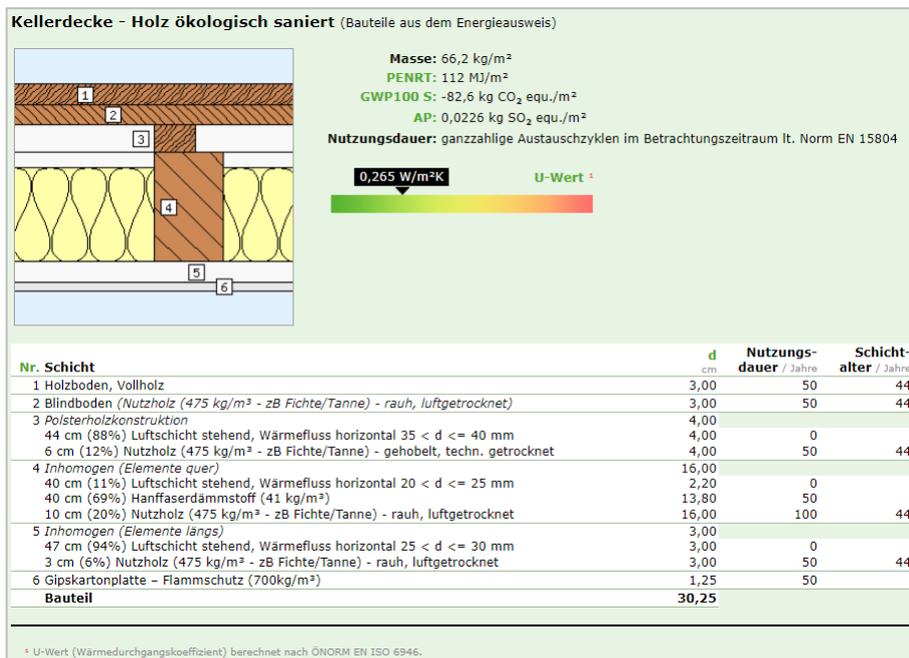


Abbildung 6 - Kellerdecke Einfamilienhaus, Holzbauweise, ökologisch saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

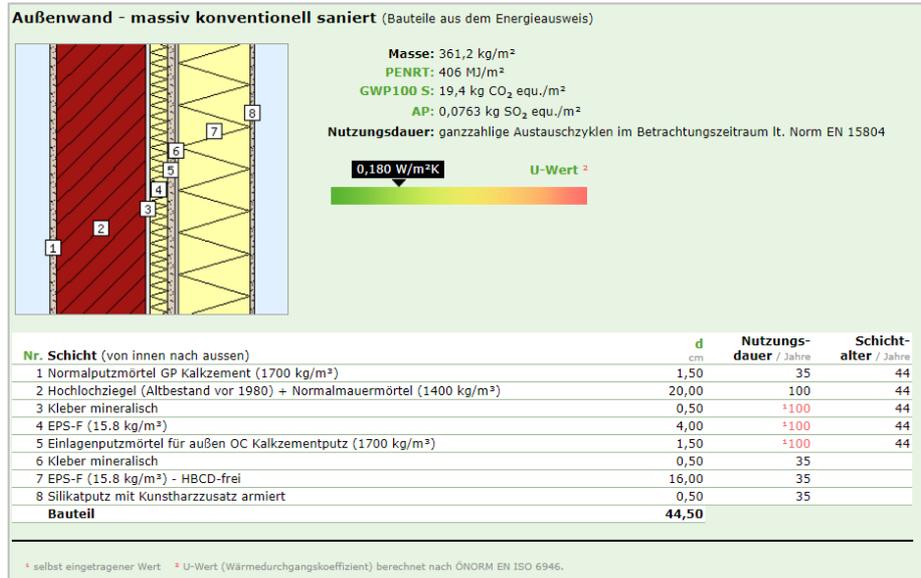


Abbildung 7 - Außenwand Wohnhausanlage, konventionell saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

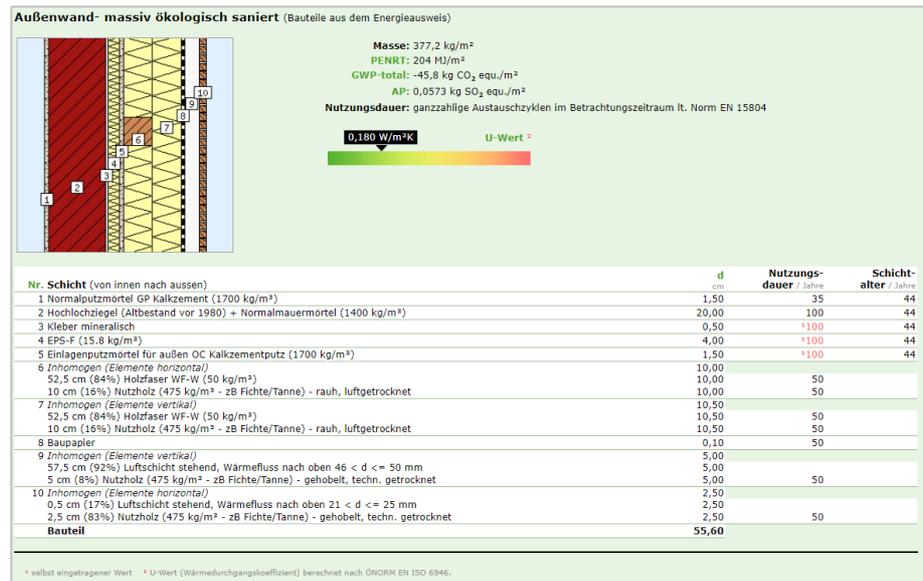


Abbildung 8 - Außenwand Wohnhausanlage ökologisch saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

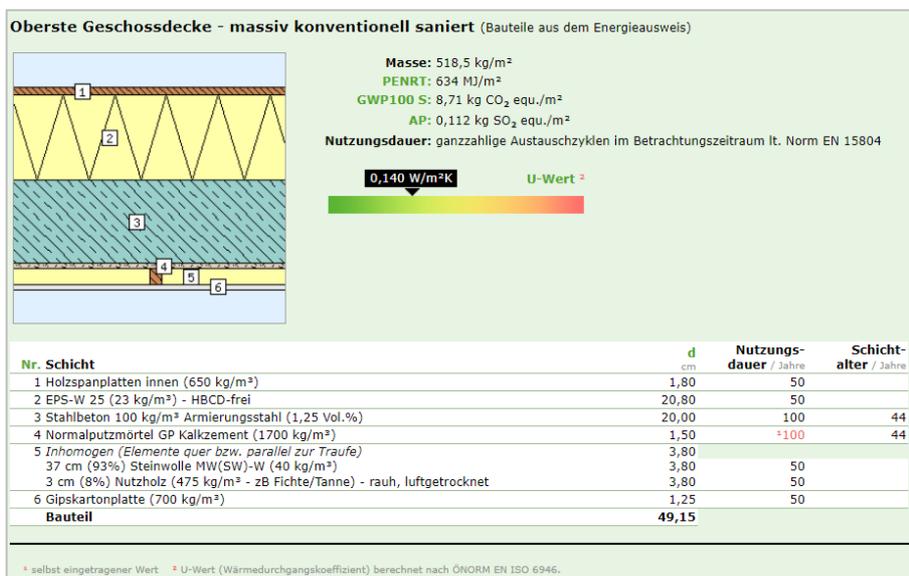


Abbildung 9 - Oberste Geschoßdecke Wohnhausanlage, konventionell saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

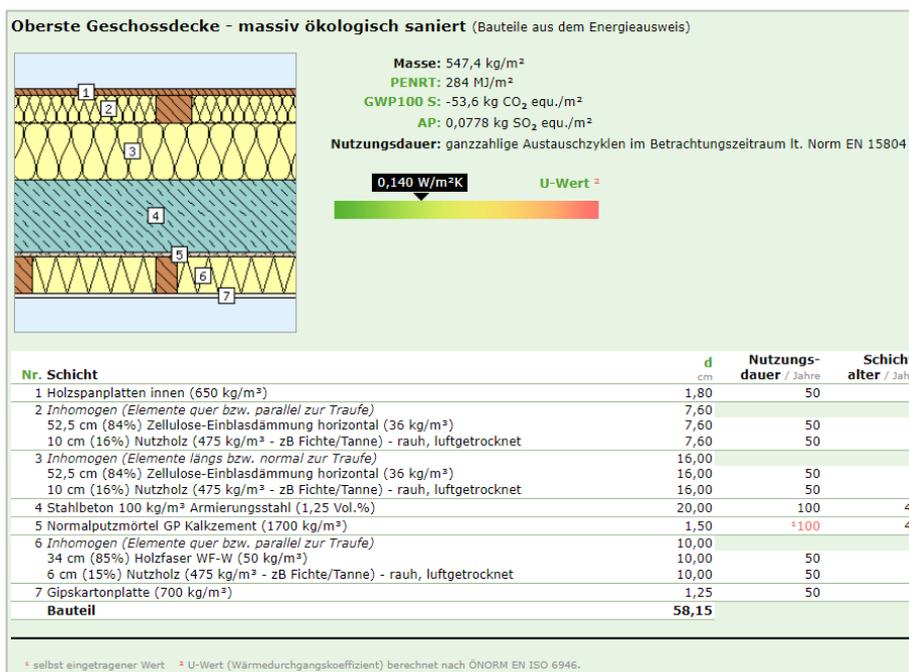


Abbildung 10 - Oberste Geschoßdecke Wohnhausanlage, ökologisch saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

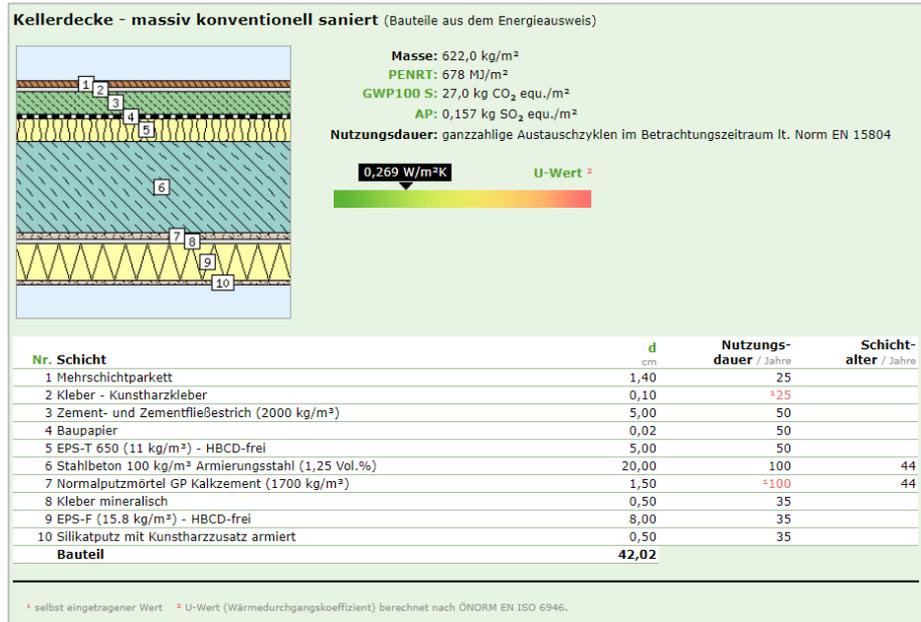


Abbildung 11 - Kellerdecke Wohnhausanlage, konventionell saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

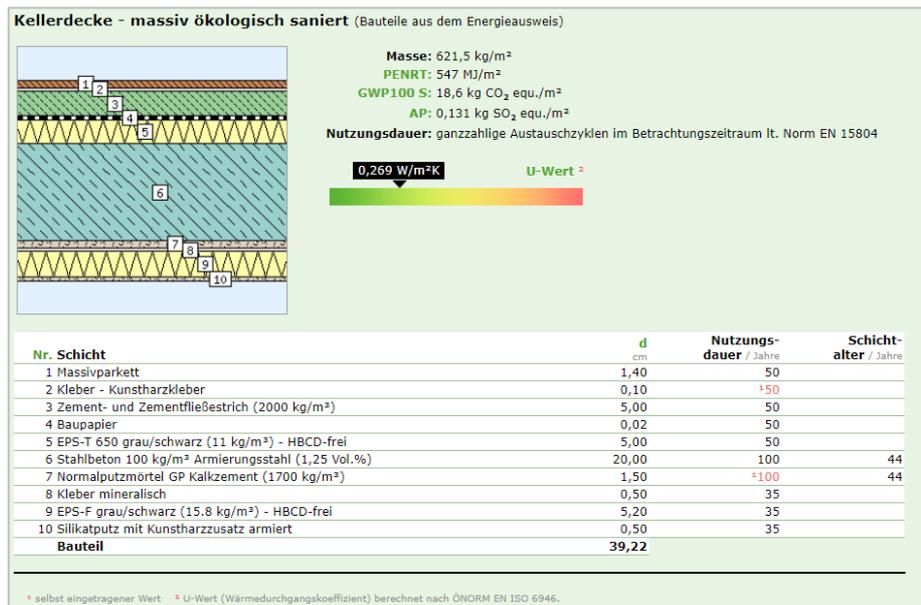


Abbildung 12 - Kellerdecke Wohnhausanlage, ökologisch saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

**Fenster - konventionell saniert** (Fenster (transparentes Bauteil))



**Breite x Höhe:** 1,23 x 1,48 m (entspricht Normfenster)  
**PENRT:** 1.820 MJ/m<sup>2</sup>  
**GWP100 S:** 103 kg CO<sub>2</sub> equ./m<sup>2</sup>  
**AP:** 0,506 kg SO<sub>2</sub> equ./m<sup>2</sup>  
**Nutzungsdauer:** ganzzahlige Austauschzyklen im Betrachtungszeitraum lt. Norm EN 15804

Komponente	Bezeichnung	Nutzungs- dauer / Jahre	Schicht- alter / Jahre
Verglasung	Dreifach-Wärmeschutzglas, Argon, 40 < Scheibenstärke	35	
Rahmen	Kunststoff-Alu-Rahmen <= 88 Stockrahmentiefe	35	
ψ (lin. Wärmebrückenkoef.)	Richtwert (Kunststoff/Butyl (3-IV; Ug < 0,9; Uf < 1,4))		

Abbildung 13 - Fenster Einfamilienhaus und Wohnhausanlage, konventionell saniert

**Fenster - ökologisch saniert** (Fenster (transparentes Bauteil))



**Breite x Höhe:** 1,23 x 1,48 m (entspricht Normfenster)  
**PENRT:** 733 MJ/m<sup>2</sup>  
**GWP100 S:** 17,5 kg CO<sub>2</sub> equ./m<sup>2</sup>  
**AP:** 0,314 kg SO<sub>2</sub> equ./m<sup>2</sup>  
**Nutzungsdauer:** ganzzahlige Austauschzyklen im Betrachtungszeitraum lt. Norm EN 15804

Komponente	Bezeichnung	Nutzungs- dauer / Jahre	Schicht- alter / Jahre
Verglasung	Dreifach-Wärmeschutzglas, Argon, 40 < Scheibenstärke	35	
Rahmen	Holz-Rahmen Fichte <= 74 Stockrahmentiefe < 91	35	
ψ (lin. Wärmebrückenkoef.)	Richtwert (Kunststoff/Butyl (3-IV; Ug < 0,9; Uf < 1,4))		

Abbildung 14 - Fenster Einfamilienhaus und Wohnhausanlage, ökologisch saniert

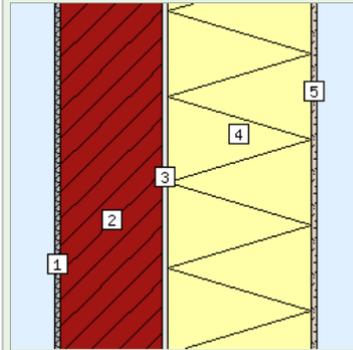
## Neubau

Die Baukonstruktionen für den Neubau wurden aus dem Projekt „Oekoindex Bilanzgrenze 3 - Projekt zur Erweiterung der Oekoindex-Bilanzgrenze und deren Anwendung in der Bauplanungsphase“ (Sutter und Gmeiner, 2019) übernommen. Im Zentrum dieser Studie standen als Gebäudetypen ein Einfamilienhaus und einer Wohnhausanlage mit 16 Wohneinheiten.

Das Einfamilienhaus wurde in 8 Materialvarianten, das Mehrwohnungshaus in 10 Materialvarianten erfasst. Aus diesen Varianten wurde für die beiden Gebäudetypen jeweils ein Gebäude mit konventionellen Materialien und eines mit ökologischen Materialien definiert. Diese vier Gebäudevarianten wurden jeweils mit den U-Werten der Betriebsszenarien „Status Quo“, „Business as usual“ und „Effizienz“ in eco2soft erfasst.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Bauteilaufbauten der Wohnhausanlage mit den U-Werten entsprechend dem Szenario „Effizienz“.

### Außenwand - konventionell (Bauteile aus dem Energieausweis)



**Masse:** 229,9 kg/m<sup>2</sup>  
**PENRT:** 1.263 MJ/m<sup>2</sup>  
**GWP100 (kurz):** 79,3 kg CO<sub>2</sub> equ./m<sup>2</sup>  
**AP:** 0,312 kg SO<sub>2</sub> equ./m<sup>2</sup>  
**Nutzungsdauer:** nein

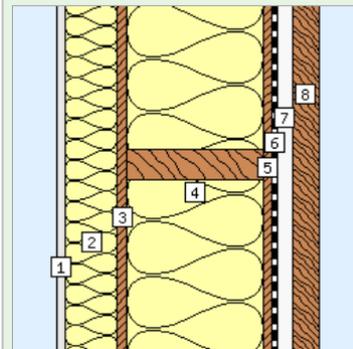
**0,115 W/m<sup>2</sup>K** U-Wert <sup>1</sup>

Nr. Schicht (von innen nach aussen)	d cm
1 Flächenspachtel Gips (Knauf Gelbband Flächenspachtel / Spachtelgips Q2 0-4mm)	0,50
2 Hochlochziegel 17-38cm Normalmauerm. 1050 kg/m <sup>3</sup> (Hochlochziegel 17 cm bis 38 cm + Normalmauermörtel (1050 kg/m <sup>3</sup> ))	18,00
3 Kleber mineralisch (Kleber mineralisch)	0,50
4 EPS F PLUS (EPS-F grau/schwarz (15.8 kg/m <sup>3</sup> ) - HBCD-frei)	25,50
5 Silikat-/Silikonharzputz (RÖFIX Silikonharzputz PREMIUM)	0,80
<b>Bauteil</b>	<b>45,30</b>

<sup>1</sup> U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

Abbildung 15 – Außenwand, Wohnhausanlage mit Standard-Materialien mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

### Außenwand - ökologisch (Bauteile aus dem Energieausweis)



**Masse:** 97,5 kg/m<sup>2</sup>  
**PENRT:** 566 MJ/m<sup>2</sup>  
**GWP100 (kurz):** -65,2 kg CO<sub>2</sub> equ./m<sup>2</sup>  
**AP:** 0,175 kg SO<sub>2</sub> equ./m<sup>2</sup>  
**Nutzungsdauer:** nein

**0,115 W/m<sup>2</sup>K** U-Wert <sup>1</sup>

Nr. Schicht (von innen nach aussen)	d cm
1 Gipskartonplatte (700 kg/m <sup>3</sup> ) (Gipskartonplatte (700 kg/m <sup>3</sup> ))	1,50
2 Holzlattung freistehend dazw. Glaswolle 035	10,00
54 cm (90%) ISOVER MULTI KOMBI HOLZRAHMENFILZ	10,00
6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m <sup>3</sup> - zB Fichte/Tanne) - gehobelt, techn. getrocknet	10,00
3 OSB III - Stöße luftdicht (EGGER EUROSTRAND® OSB 3 E0 CE)	1,80
4 Holzsteher Fi/Ta dazw. Zellulosedämmung	26,30
54 cm (90%) Zellulose-Einblasdämmung vertikal (54 kg/m <sup>3</sup> )	26,30
6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m <sup>3</sup> - zB Fichte/Tanne) - gehobelt, techn. getrocknet	26,30
5 Holzspanplatte (zementgebunden) (Holzspanplatte (zementgebunden) (1200 kg/m <sup>3</sup> ))	1,60
6 Winddichtung (ISOCELL OMEGA Winddichtung)	0,06
7 Lattung vertikal dazw. Hinterlüftung	3,00
55 cm (92%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 25 < d <= 30 mm	3,00
5 cm (8%) Nutzholz (475 kg/m <sup>3</sup> - zB Fichte/Tanne) - gehobelt, techn. getrocknet	3,00
8 Nutzholz (475 kg/m <sup>3</sup> - zB Fichte/Tanne) - gehobelt, techn. getrocknet	5,00
<b>Bauteil</b>	<b>49,26</b>

<sup>1</sup> U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

Abbildung 16 – Außenwand, Wohnhausanlage mit ökologischen Materialien mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

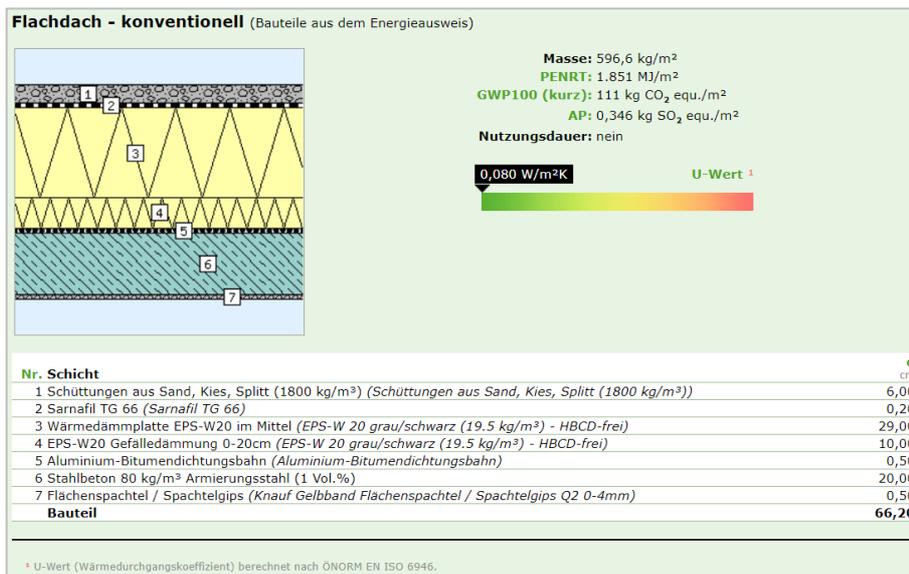


Abbildung 17 – Flachdach, Wohnhausanlage mit Standard-Materialien mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

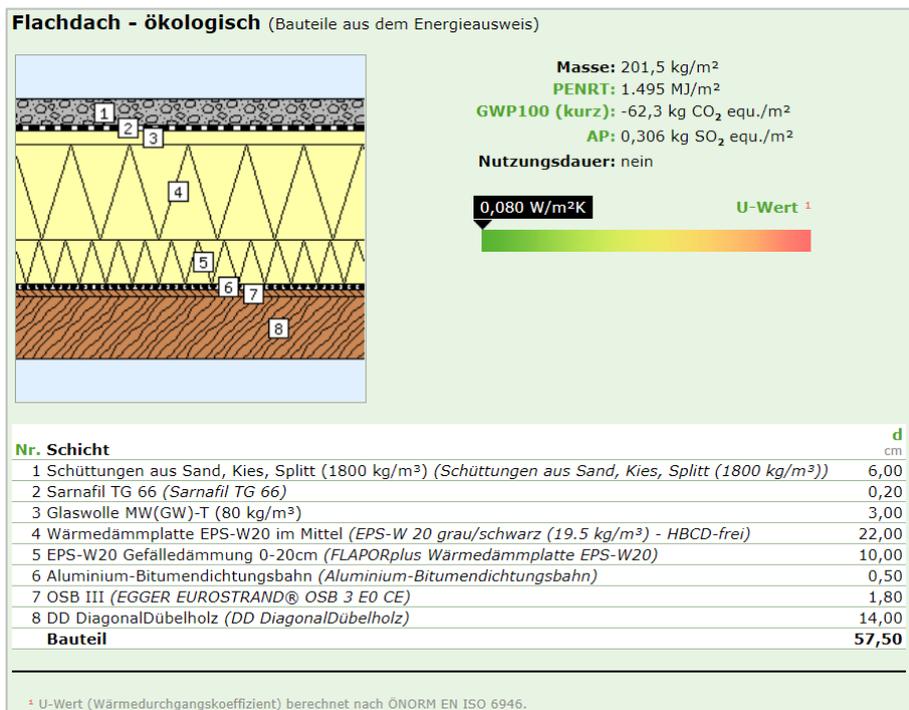


Abbildung 18 – Flachdach, Wohnhausanlage mit ökologischen Materialien und U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“

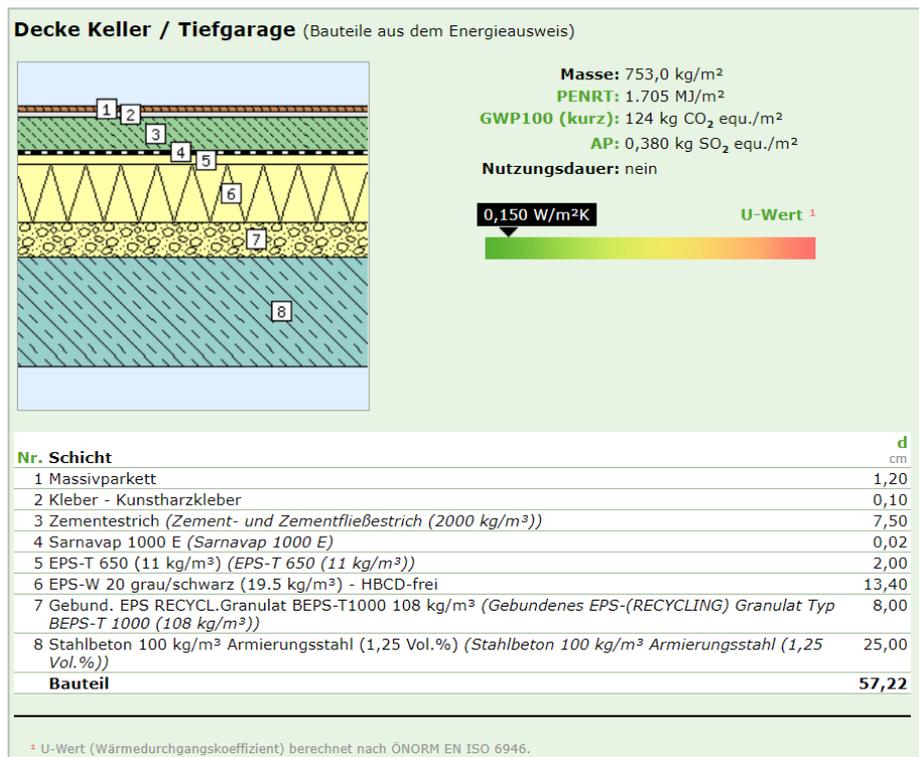


Abbildung 19 - Decke Keller / Tiefgarage, Wohnhausanlage mit U-Wert entsprechend Szenario „Effizienz“

### 3. Definition und Entwicklung des Berechnungs- und Auswertungstools

#### Bewertungsindikatoren

In Abstimmung mit dem Auftraggeber (Amt der Vorarlberger Landesregierung, Fachbereich Energie und Klimaschutz) erfolgte die Aufbereitung der Ergebnisse anhand der Indikatoren „Globales Erwärmungspotential“ und „nicht erneuerbare Primärenergie“.

#### Beitrag zur Globalen Erwärmung bzw. Treibhauspotential

Das Globale Erwärmungspotential GWP („Global Warming Potential“) beschreibt den Beitrag eines Stoffes zur globalen Erwärmung. Für die Bewertung werden die GWP100-Werte, d.h. der Beitrag eines Stoffes zur Globalen Erwärmung, gemittelt über einen Zeithorizont von 100 Jahren, herangezogen. Das Globale Erwärmungspotential wird daher auf äquivalente Kohlendioxid Emissionen (CO<sub>2</sub>) umgerechnet. Die Einheit lautet kg CO<sub>2</sub> äqu..

Bei der Herstellung werden im Rahmen dieser Studie sowohl die Treibhausgasemissionen aus den Herstellungsprozessen (GWP-Prozess) als auch die CO<sub>2</sub>-Speicherung (GWP-C-Gehalt) berücksichtigt. Das heißt, dass sowohl die während des Wachstums von Biomasse aus der Atmosphäre aufgenommene als auch die über die Lebensdauer eines Materials gespeicherte Menge an Kohlendioxid betrachtet wird.

## Nicht erneuerbare Primärenergie

Primärenergie ist die in natürlich vorkommenden Energiequellen zur Verfügung stehende Energie. Im Bereich der nicht erneuerbaren Energie zählen dazu u. a. Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas und Uran. Dabei wird zwischen der als Energiequelle genutzten Primärenergie und der stofflich genutzten Primärenergie unterschieden.

Die energetisch genutzte Primärenergie umfasst dabei den Primärenergieverbrauch aller Herstellungsprozesse. Sie wird mit PENRE (Primary energy non-renewable, energy resources) abgekürzt.

Die stofflich genutzte Primärenergie umfasst den als Rohstoff verwendeten Primärenergieinhalt (also beispielsweise das Erdöl, das als Rohstoff für die Kunststoffproduktion genutzt wird). Sie wird mit PENRM (Primary energy non-renewable, material) abgekürzt.

Die Summe dieser Indikatoren ergibt den gesamten Primärenergieverbrauch. Dieser wird mit PENRT (Primary energy non-renewable, total) abgekürzt.

## Datengrundlagen

### Baustoffherstellung

Die ökologischen Kennzahlen für die Herstellung der für die Errichtung bzw. Sanierung erforderlichen Baustoffe wurden mit dem IBO Richtwerte Katalog 2017 (IBO 2017) berechnet. Unabhängig vom Sanierungszeitpunkt werden konstante Produktionsbedingungen und ein konstanter Energiemix angenommen. Die Herstellungsenergie für die Sanierung bzw. den Tausch von Haustechnikanlagen wurde nicht berücksichtigt. Der Betrachtungszeitraum wurde mit 30 Jahren angenommen. Dieser Betrachtungszeitraum entspricht dem Zeithorizont der Energieautonomie Vorarlberg.

### Gebäudebetrieb

Für den Energiebedarf im Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) werden die Konversionsfaktoren der OIB- Richtlinie 6 aus 2015 (Österreichisches Institut für Bautechnik 2015) verwendet. Der Endenergiebedarf wird aus der Studie „*Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070*“ (Ploss u. a. 2017) entnommen. Bezugsjahr ist das Jahr 2035.

## Berechnungsprogramme

Die Berechnung der Herstellungsenergie und des Globalen Erwärmungspotentials (GWP) der für die Sanierung bzw. den Neubau erforderlichen Materialien erfolgte mit dem Softwareprogramm eco2soft – ökobilanz für gebäude (baubook GmbH 2020).

Abbildung 20 – „baubook eco2soft - ökobilanz für gebäude“ (baubook GmbH 2020, 2)

Die Erstellung der Materiallisten für die untersuchten Gebäude erfolgte anhand des baubook Richtwertekataloges.

Material	Masse kg	Masse- anteil	Kumulierter Anteil	Baustoff-ID	Dichte kg/m³	A-Wert W/m²K	PENRT MJ/FE	GWP-T kg CO <sub>2</sub> equ./FE	AP kg SO <sub>2</sub> equ./FE	FE
WU-Beton mit 120 kg/m³ Armierungsstahl (1,5 Vol.%)	874.743	27,2%	27,2%	2142717847	2.350	2,400	1,75	0,166	0,000417	kg
Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m³)	793.226	24,7%	51,9%	2142715135	1.800	0,700	0,104	0,00708	4,83·10 <sup>-9</sup>	kg
Stahlbeton 100 kg/m³ Armierungsstahl (1,25 Vol.%)	686.534	21,4%	73,3%	2142717541	2.325	2,300	1,52	0,149	0,000378	kg
Sand, Kies lufttrocken, Pflanzensubstrat	240.391	7,5%	80,7%	2142720802	1.700	2,000	0,308	0,0216	6,80·10 <sup>-9</sup>	kg
Zement- und Zementfließestrich (2000 kg/m³)	230.220	7,2%	87,9%	2142714883	2.000	1,330	1,34	0,151	0,000315	kg
DD DiagonalDübelholz	120.323	3,7%	91,6%	2142694586	475	0,120	3,59	-1,44	0,00128	kg
Normalbeton C8/10 ohne Bewehrung (2400 kg/m³)	89.988	2,8%	94,4%	2142732001	2.400	2,000	0,426	0,0529	0,000109	kg
Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - gehobelt, techn. getrocknet	33.650	1,0%	95,5%	2142715107	475	0,120	3,59	-1,44	0,00128	kg
Gipskartonplatte (700 kg/m³)	33.350	1,0%	96,5%	2142714819	700	0,210	3,58	0,181	0,000472	kg
EGGER EUROSTRAND® OSB 3 E0 CE	23.702	0,7%	97,3%	2142704058	600	0,130	8,56	-1,15	0,00210	kg
Holzspanplatte (zementgebunden) (1200 kg/m³)	14.223	0,4%	97,7%	2142715123	1.200	0,230	5,04	0,367	0,00114	kg
Massivparkett	13.629	0,4%	98,1%	2142684313	740	0,160	8,49	-1,19	0,00333	kg
Zellulose-Einblasdämmung vertikal (54 kg/m³)	9.469	0,3%	98,4%	2142715082	54	0,041	6,87	-0,457	0,00335	kg
Gipskartonplatte - imprägniert (700kg/m³)	8.003	0,2%	98,7%	2142715610	700	0,210	3,68	0,190	0,000494	kg

Abbildung 21 - Auszug Materialliste aus baubook eco2soft – „ökobilanz für gebäude“

## 4. Energie- und Klimabeitrag der Materialwahl im Wohnbau

Nachstehend sind die Ergebnisse der Studie beschrieben und grafisch dargestellt. Die Grafiken zeigen das optimale Szenario, d.h. das Szenario mit dem geringsten Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie bzw. mit dem geringsten globalen Erwärmungspotential. Dabei wird zusätzlich zum Gebäudebetrieb die Herstellung der für Neubau bzw. Sanierung erforderlichen Baustoffe berücksichtigt. Die Relevanz der Herstellung der Baustoffe im Vergleich zum Gebäudebetrieb wird dargestellt.

Die Ergebnisse sind unterteilt in Sanierung und Neubau und umfassen jeweils die Indikatoren „Globales Erwärmungspotential“ und „Nicht erneuerbare Primärenergie“. Die Indikatoren wurden im Abschnitt „3. Definition und Entwicklung des Berechnungs- und Auswertungstools“ erläutert.

## Sanierung

Der Betrachtung der Sanierung werden folgende Szenarien der Studie „*Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070: Szenarien zum künftigen Energiebedarf des Wohngebäudeparks*“ (Ploss et al., 2017), S. 14 zugrunde gelegt:

1. Im Szenario „**Status Quo**“ wird angenommen, dass nur Instandhaltungsmaßnahmen und keine thermischen Sanierungen vorgenommen werden. Die Herstellung umfasst nur die für die Instandhaltung erforderlichen Baustoffe und Materialien wie beispielsweise den Ersatz von Bodenbelägen, den Austausch von Putzen etc.
2. Das Szenario „**Business as usual**“ mit **Standard-Materialien** geht davon aus, dass Gebäude entsprechend der üblicherweise praktizierten Vorgehensweise der vergangenen Jahre saniert werden. Die Sanierung umfasst dabei eine thermische Sanierung mit konventionellen Materialien sowie die Sanierung der Heizungsanlagen.
3. Das Szenario „**Effizienz**“ mit **Standard-Materialien** geht von kostenoptimalen U-Werten bei energetischen Sanierungen (EnerPhit-Standard) aus. Der „EnerPhit-Standard“ entspricht einer Sanierung mit passivhaustypischen U-Werten der Gebäudehülle, jedoch einigen sanierungstypisch verbleibenden Wärmebrücken und einer gegenüber einem Passivhaus etwas schlechteren Luftdichtigkeit. (Ploss u. a. 2017, S. 38). Im Bereich Energieträger wird von einem Ausstieg aus Öl im Jahr 2060 ausgegangen. Bei der thermischen Sanierung wird von einer Sanierung mit konventionellen Materialien ausgegangen.
4. Das Szenario „**Effizienz**“ mit **ökologischen Materialien** entspricht dem Szenario „Effizienz“ mit Standard-Materialien, allerdings wird bei der thermischen Sanierung von ökologischen Materialien ausgegangen.

Die hinterlegten U-Werte und Energieträger dieser Szenarien sind in „1. Erhebung und Auswahl der Mustergebäude“ beschrieben. Der Abschnitt „2. Materialtechnische Definition der Baukonstruktionen“ enthält die zugrunde gelegten Konstruktionen und Materialien.

## Globales Erwärmungspotential

In den folgenden Abbildungen ist das Globale Erwärmungspotential für die Sanierung der Gebäudekategorie E (Baujahre 1971 bis 1980, 2,5 Mio. m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche, 16% der gesamten Wohnnutzfläche im Bestand in Vorarlberg) für die Szenarien „Status Quo“, „Business as usual“ mit Standard-Materialien, „Effizienz“ mit Standard-Materialien“ und „Effizienz“ mit ökologische Materialien abgebildet. Die Grafiken umfassen sowohl den Energiebedarf für den Gebäudebetrieb (unterteilt in Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) als auch für die Herstellung der in der Sanierung eingesetzten Baustoffe (unterteilt in Emissionen aus den Herstellungsprozessen und CO<sub>2</sub>-Speicherung).

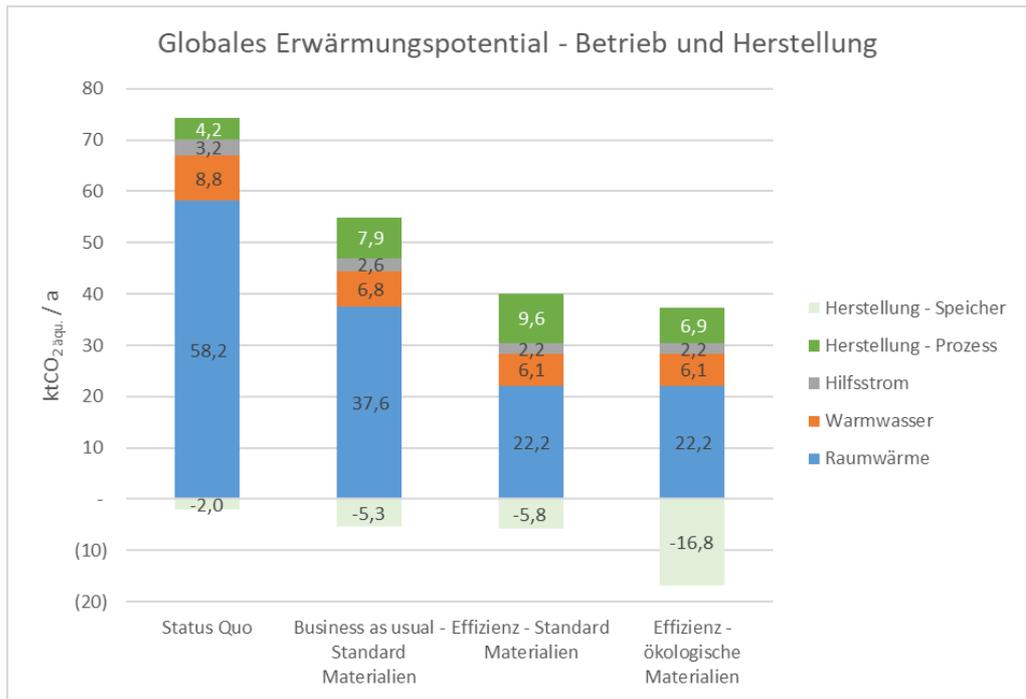


Abbildung 22 - Globales Erwärmungspotential pro Jahr für die Gebäudekategorie E (1971-1981) in 4 Szenarien; unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung (Herstellungsprozesse und gespeichertes CO<sub>2</sub>)

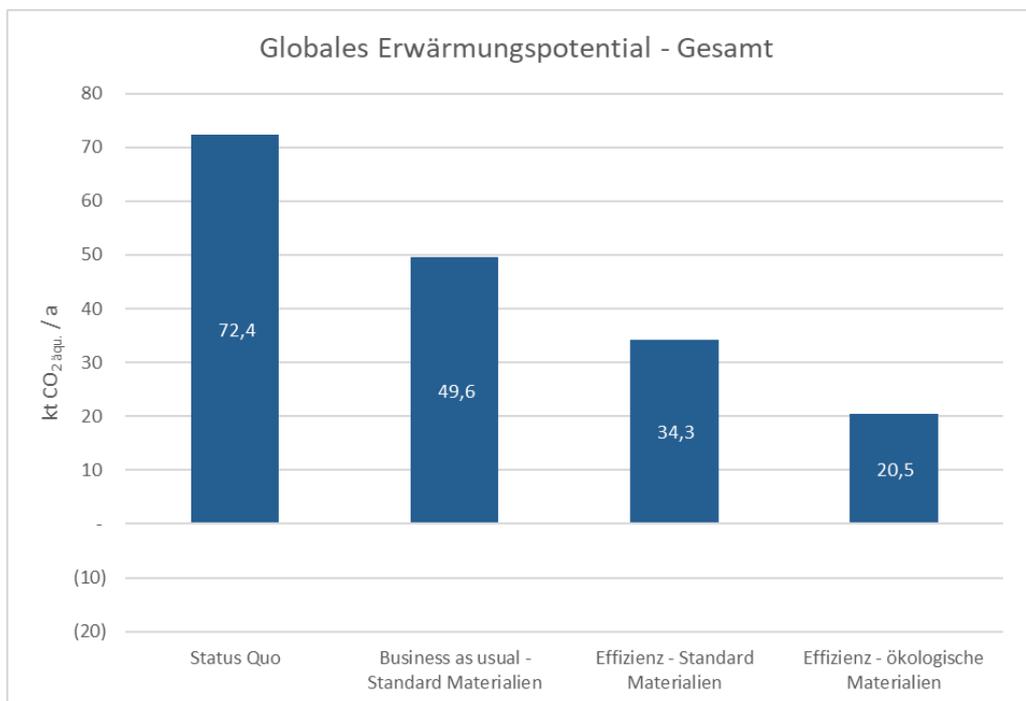


Abbildung 23 - Globales Erwärmungspotential pro Jahr für die Gebäudekategorie E (1971-1981) in 4 Szenarien; Gesamtbetrachtung von Gebäudebetrieb und Herstellung.

Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen die äquivalenten CO<sub>2</sub>-Emissionen für den Gebäudebetrieb und die Herstellung der Baustoffe. Bei der Herstellung werden sowohl die klimarelevanten Emissionen aus den Herstellungsprozessen (in der Abbildung als „Herstellung – Prozess“ bezeichnet) als auch die während des Wachstums von Biomasse aus der Atmosphäre aufgenommene und über die Lebensdauer der Materialien gespeicherte Menge an Kohlendioxid (in der Abbildung als „Herstellung – Speicher“ bezeichnet) berücksichtigt. Während in Abbildung 22 die Herstellung (unterteilt in Prozess und Speicher) und der Betrieb (unterteilt in Räumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) getrennt ausgewiesen werden, stellt Abbildung 23 die gesamten äquivalenten CO<sub>2</sub>-Emissionen über beide Bereiche dar.

Die Abbildungen zeigen, dass das Szenario „Effizienz“ mit ökologischen Materialien mit jährlich 20,5 ktoCO<sub>2</sub> äqu. die geringsten klimarelevanten Emissionen verursacht. Die Einsparung gegenüber dem Szenario „Status Quo“ beträgt 52 ktoCO<sub>2</sub> äqu., das sind 72%. Die Einsparungen im Gebäudebetrieb überwiegen die zusätzlichen Emissionen in der Herstellung deutlich.

Sanierungen sind also auch unter Betrachtung der Herstellung der Baustoffe gesamtökologisch sinnvoll, selbst wenn die Sanierungsmaßnahmen mit Standard-Materialien durchgeführt werden. Erfolgt die Sanierung wie im Szenario „Effizienz“ mit ökologischen Materialien, reduzieren sich die Emissionen aus Herstellungsprozessen um 29% (9,6 ktoCO<sub>2</sub> äqu. vs. 6,9 ktoCO<sub>2</sub> äqu.). Da sowohl bei Standard-Materialien als auch bei ökologischen Materialien mit produktneutralen Richtwerten gerechnet wurde, sind Verbesserungen der Produktionsmethoden dabei noch gar nicht berücksichtigt (vgl. „2. Materialtechnische Definition der Baukonstruktionen“).

Zusätzlich zu den Herstellungsprozessen bieten ökologische Materialien insbesondere auch ein Potential im Bereich der CO<sub>2</sub>-Speicherung. Diese ist im Szenario „Effizienz“ mit ökologischen Materialien um 188% höher als im Szenario „Effizienz“ mit Standard-Materialien (5,8 ktoCO<sub>2</sub> äqu. vs. 16,8 ktoCO<sub>2</sub> äqu.).

Interessant ist auch der Vergleich der Herstellung im Szenario „Business as usual“ mit Standard-Materialien zum Szenario „Effizienz“ mit ökologische Materialien. Die Emissionen aus den Herstellungsprozessen sind in letzterem mit 6,9 ktoCO<sub>2</sub> äqu. geringer als jene im Szenario „Business as usual“ mit Standard-Materialien (7,9 ktoCO<sub>2</sub> äqu.).

Die besseren U-Werte im Szenario „Effizienz“ werden also dank der ökologischen Materialwahl mit geringeren Emissionen erreicht als die schlechteren U-Werte des „Business as usual“-Szenarios mit Standard-Materialien.

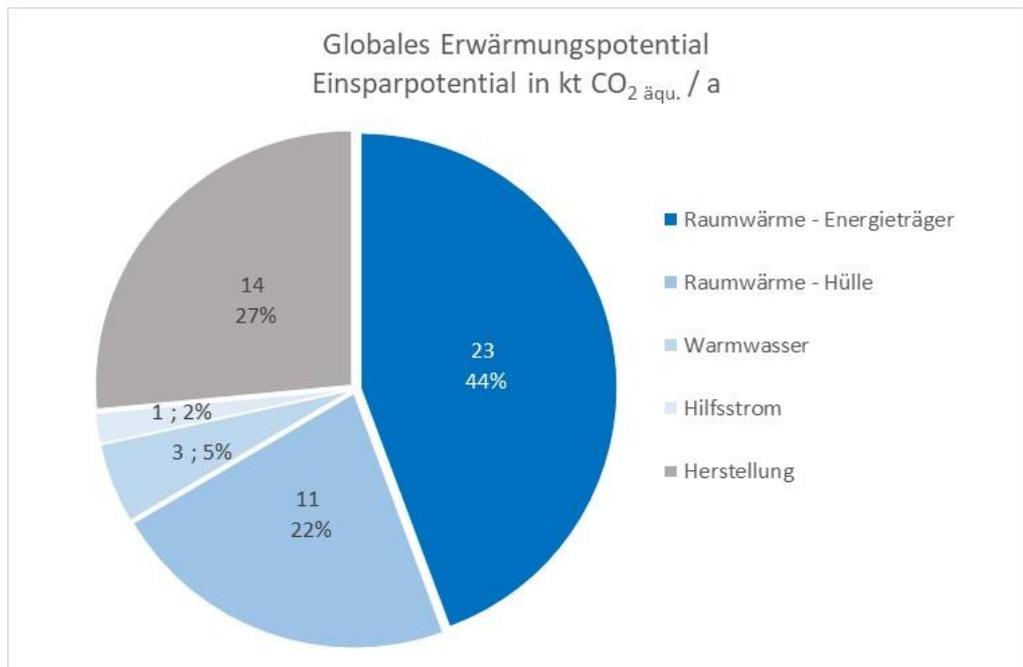


Abbildung 24 - Gesamtes Einsparpotential (Herstellungsprozesse und CO<sub>2</sub>-Speicherung) für die Gebäudekategorie E (1971-1981) des Globalen Erwärmungspotentials, unterteilt in Gebäudebetrieb (blau) und Herstellung (grau).

Um die Relevanz der Herstellung im Vergleich zum Gebäudebetrieb sichtbar zu machen, stellt Abbildung 24 die Einsparung des Szenarios „Effizienz“ mit ökologischen Materialien gegenüber dem Status Quo (Gesamteinsparung: 52 ktCO<sub>2</sub>äqu./a), unterteilt auf den Gebäudebetrieb und die Herstellung der Baustoffe, dar.

Im Vergleich zu Abbildung 22 wird im Bereich des Gebäudebetriebes die Räumwärme nochmals unterteilt in den Anteil der Einsparung aus der Änderung der Energieträger und aus der Verbesserung der Qualität der Gebäudehülle, d.h. aufgrund von besseren U-Werten durch die vorgenommenen Sanierungsmaßnahmen (vgl. dazu „1. Erhebung und Auswahl der Mustergebäude“). Bei der Einsparung aufgrund verbesserter U-Werte (in der Grafik als „Raumwärme – Hülle“ bezeichnet) sind die Aufwände für die Herstellung der Dämmstoffe bereits berücksichtigt. Es handelt sich dabei also um die Nettoeinsparung, d.h. die Einsparung aufgrund der geringeren Wärmeverluste durch die Bauteile abzüglich der Aufwände für die Herstellung der für die Sanierung erforderlichen Baustoffe. Dabei wurde von Standard-Materialien ausgegangen. Im Bereich der Herstellung ergibt sich die Einsparung aus dem Vergleich des Szenarios „Effizienz“ mit Standard-Materialien mit dem Szenario „Effizienz“ mit ökologische Materialien.

Wie Abbildung 24 zeigt, bietet die Herstellung ein relevantes, zusätzliches Einsparungspotential. Dieses liegt in der gleichen Größe wie die (Netto-)Einsparung im Bereich der Gebäudehülle und deutlich über dem Einsparpotential bei Warmwasser.

## Primärenergie nicht erneuerbar

In den folgenden Abbildungen ist der Verbrauch an Nicht erneuerbarer Primärenergie für die Gebäudekategorie E (Baujahre 1971 - 1980, 2,5 Mio. m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche, 16% der gesamten Wohnnutzfläche im Bestand in Vorarlberg) dargestellt. Es werden die 4 Szenarien „Status Quo“, „Business as usual“ mit Standard-Materialien, „Effizienz“ mit Standard-Materialien und „Effizienz“ mit ökologische Materialien gegenübergestellt, unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser, Hilfsstrom) und Herstellung.

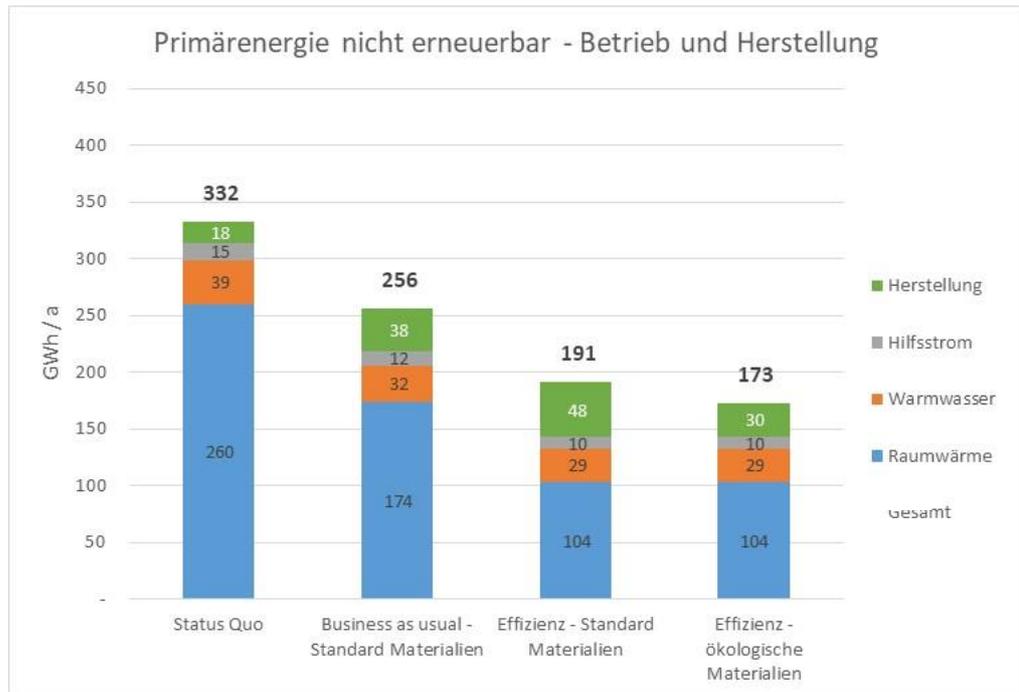


Abbildung 25 - Primärenergie nicht erneuerbar pro Jahr für die Gebäudekategorie E (1971-1981) in 4 Szenarien; unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung.

Die Ergebnisse für die nicht erneuerbare Primärenergie decken sich dabei mit jenen für das Globale Erwärmungspotential. Das Szenario „Effizienz“ mit ökologischen Materialien weist den geringsten Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie aus. Die Einsparung gegenüber dem Status Quo betragen hier 48% (173 GWh/a vs. 332 GWh/a). Die Einsparungen im Betrieb überwiegen auch bei der nicht erneuerbaren Primärenergie den zusätzlichen Energieverbrauch für die Herstellung der Baustoffe.

Die Berücksichtigung der Herstellung bietet aber auch hier ein relevantes Optimierungspotential. Im Szenario „Effizienz - ökologischen Materialien“ ist der Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie um 37% geringer als im Szenario „Effizienz“ mit Standard-Materialien (48 GWh/a vs. 30 GWh/a). Da sowohl bei Standard-Materialien als auch bei ökologischen Materialien mit produktneutralen Richtwerten gerechnet wurde, sind Verbesserungen der Produktionsmethoden dabei noch gar nicht berücksichtigt (vgl. „2. Materialtechnische Definition der Baukonstruktionen“).

Die Herstellung der Baustoffe im Szenario „Effizienz“ mit ökologischer Materialwahl verbraucht weniger nicht erneuerbare Primärenergie als die deutliche höheren U-Werte des „Business as usual“- Szenarios mit Standard-Materialien (38 GWh/a vs. 30 GWh/a).

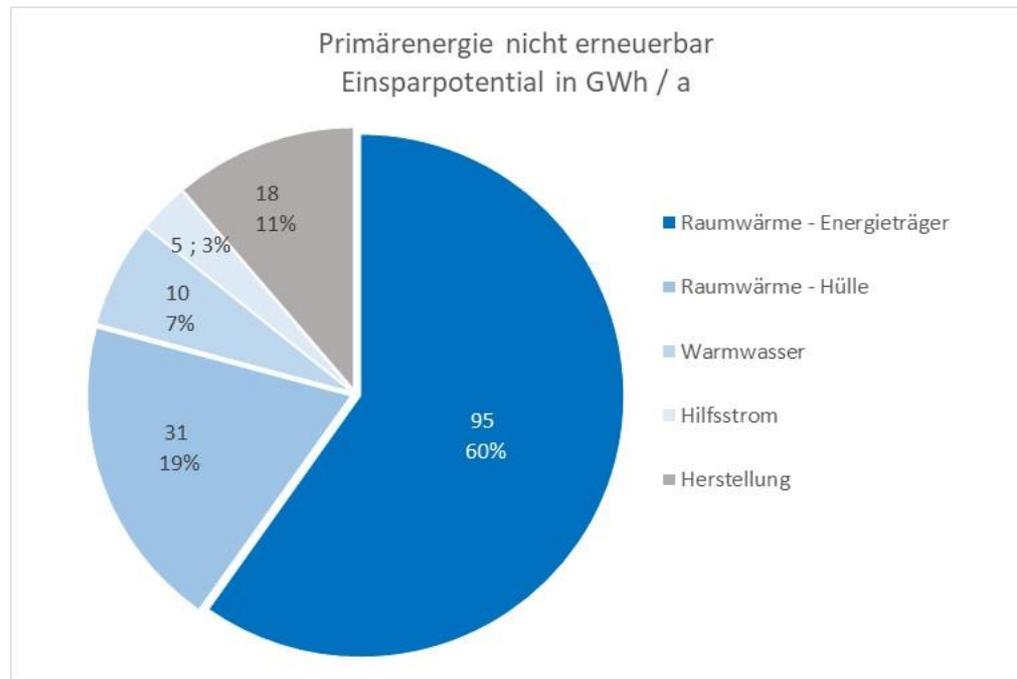


Abbildung 26 - Gesamtes Einsparpotential für die Gebäudekategorie E (1971-1981) der nicht erneuerbaren Primärenergie, unterteilt in Gebäudebetrieb (blau) und Herstellung (grau).

Um die Relevanz der Herstellung im Vergleich zum Gebäudebetrieb sichtbar zu machen wird auch für den Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie die Einsparung des Szenarios „Effizienz“ mit ökologischen Materialien im Vergleich zum „Status Quo“, unterteilt in Gebäudebetrieb und Errichtung betrachtet. Dies ist in Abbildung 26 dargestellt.

Die gesamte Einsparung beträgt 159 GWh/a. Der überwiegende Anteil (95 GWh/a) resultieren aus dem Umstieg von nichterneuerbaren Energieträgern auf erneuerbare Energieträger (in der Grafik als „Raumwärme – Energieträger bezeichnet). Auf die Einsparung aufgrund besserer Wärmedämmung entfallen 31 GWh/a (in der Abbildung mit „Raumwärme Hülle“ bezeichnet). Dabei wurde die Netto-Einsparung berücksichtigt, d.h. der zusätzliche Energieverbrauch für die Herstellung der Baustoffe mit Standard-Materialien wurde von den Einsparungen im Betrieb abgezogen.

Die Einsparung durch die Verwendung von ökologischen Materialien im Vergleich zu Standard-Materialien betragen 18 GWh/a und übersteigen damit das Einsparpotential im Bereich Warmwasser und Hilfsstrom.

## Relevanz der Gebäudetypologien

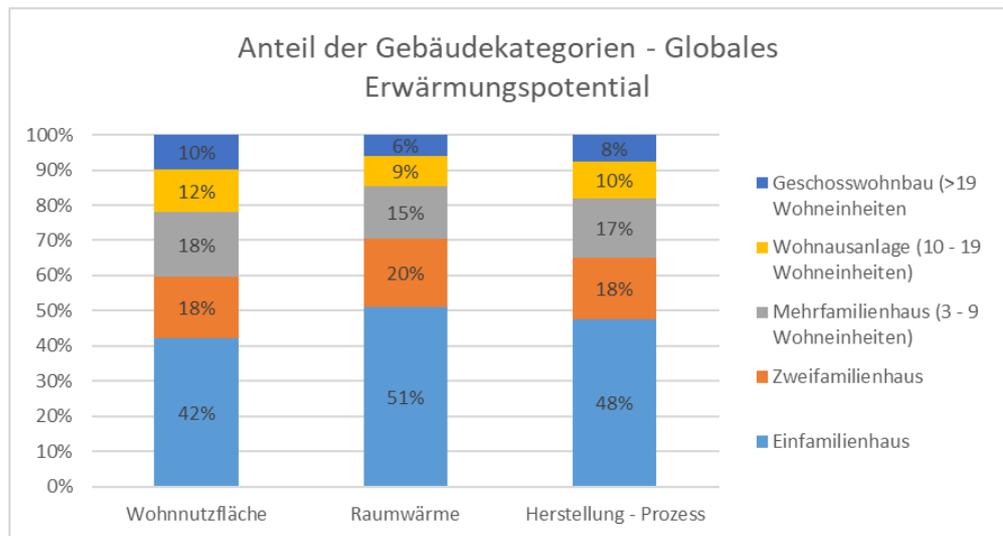


Abbildung 27 - Anteil der Nutzfläche, Raumwärme und Materialität in Prozent je Gebäudetyp für den Indikator „Globales Erwärmungspotential“ im Szenario „Effizienz“ mit Standard-Materialien.

In den bisherigen Grafiken wurden die Ergebnisse jeweils als Summe über sämtliche Gebäudetypen der Gebäudekategorie E (1971-1980) dargestellt. Um den Einfluss der unterschiedlichen Gebäudetypen darzustellen, zeigt Abbildung 27 den Anteil der Gebäudetypen an der Wohnnutzfläche, den äquivalenten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Raumwärme und der Herstellungsprozesse. Auf die Ein- und Zweifamilienhäuser entfallen dabei 60% der Wohnnutzfläche in Vorarlberg. Im Bereich Raumwärme und Herstellung ist der Anteil dieser beiden Gebäudekategorien aufgrund der ungünstigeren Kubatur (Oberflächen-Volumenverhältnis) mit 51% im Bereich der Raumwärme und 66% bei den Emissionen aus den Herstellungsprozessen sogar noch deutlicher.

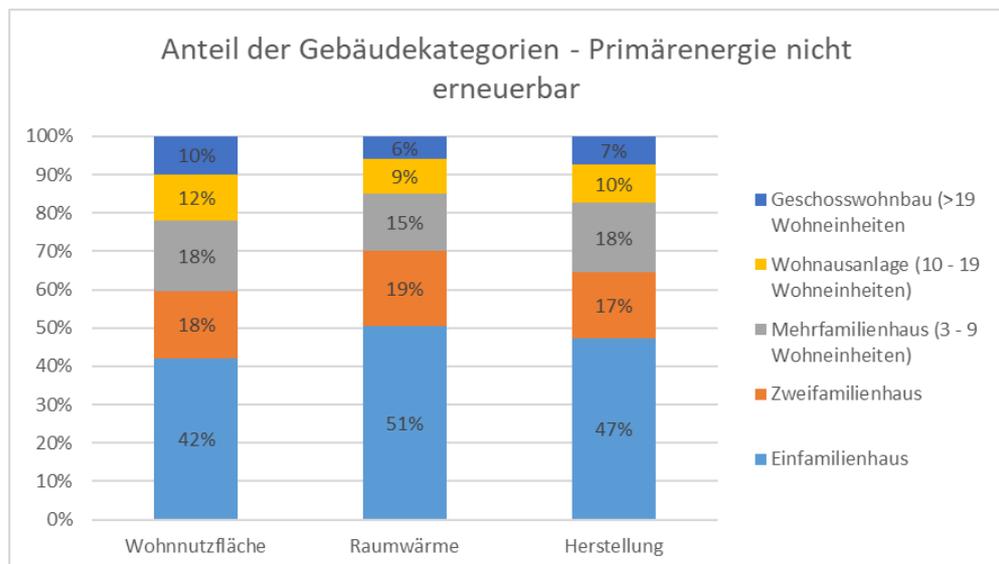


Abbildung 28 - Anteil der Nutzfläche, Raumwärme und Materialität in Prozent je Gebäudetypologie für den Indikator nicht erneuerbare Primärenergie im Szenario „Effizienz“ mit Standard-Materialien.

Abbildung 28 zeigt den Anteil der untersuchten Gebäudetypen an der Wohnnutzfläche, dem nicht erneuerbaren Primärenergie Verbrauch der Raumwärme und aus der Herstellung der Baustoffe. Die Ergebnisse entsprechen jenen für den Indikator Globales Erwärmungspotential.

## Neubau

Im Neubau werden folgende Szenarien (Ploss u. a. 2017, S. 14) zugrunde gelegt:

1. Im Szenario „**Status Quo**“ wird von einem Energieträgermix sowie einer energetischen Qualität der Gebäudehülle auf dem Stand von 2010 ausgegangen.
2. Das Szenario „**Business as usual**“ mit **Standard-Materialien** geht von einer energetischen Verbesserung vergleichbar mit den vergangenen Jahren aus. Im Bereich Materialität wird von Standard-Bauweisen und -Materialien ausgegangen.
3. Das Szenario „**Effizienz**“ mit **Standard-Materialien** orientiert sich an der energetischen Qualität des Kostenoptimum im Neubau entsprechend dem KliNaWo-Projekt (Ploss u. a. 2019). Im Bereich Materialität wird von Standard Bauweisen und Materialien ausgegangen.
4. Das Szenario „**Effizienz**“ mit **ökologische Materialien** entspricht dem „Effizienz“ mit Standard-Materialien, allerdings mit ökologischen Materialien.

Die Analyse umfasst die beiden Gebäudetypen Einfamilienhaus sowie Wohnhausanlage mit 10 bis 19 Wohneinheiten, die zwischen 2011 und 2035 errichtet wurden bzw. werden. Das entspricht der Gebäudekategorie I, J und K aus der Szenarien-Studie (Ploss u. a. 2017). Diese Gebäude umfassen gemeinsam 2,6 Mio. m<sup>2</sup> Wohnfläche und damit 52% der gesamten Wohnfläche, die zwischen 2011 und 2035 gebaut wurde bzw. werden wird.

Weitere Informationen und die hinterlegten U-Werte und Energieträger dieser Szenarien sind im Abschnitt „1. Erhebung und Auswahl der Mustergebäude“ beschrieben. Der Abschnitt „2. Materialtechnische Definition der Baukonstruktionen“ enthält die zugrunde gelegten Konstruktionen und Materialien.

### Globales Erwärmungspotential

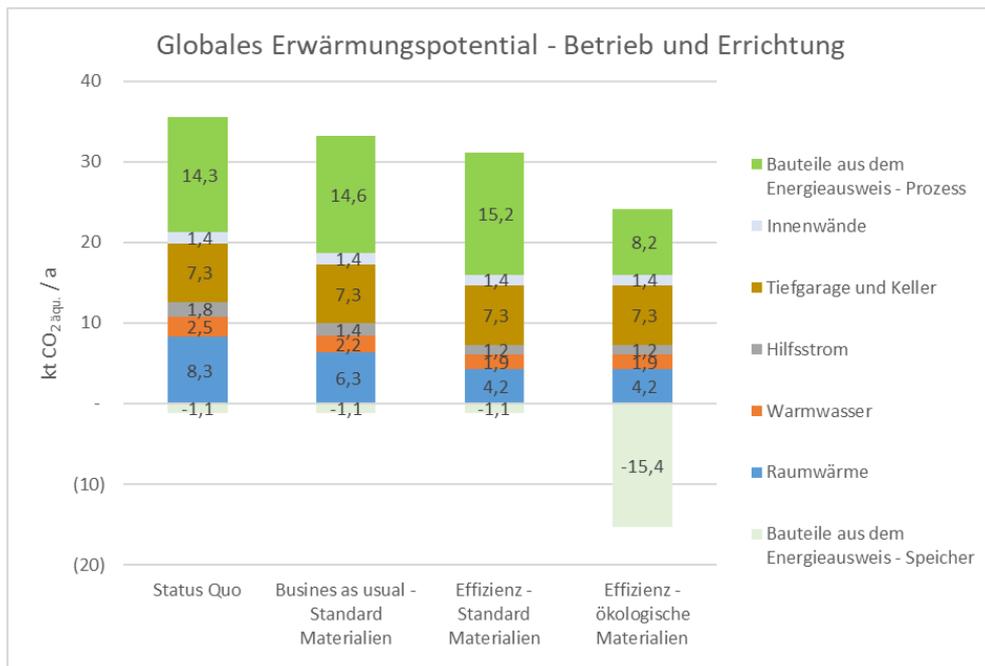


Abbildung 29 - Globales Erwärmungspotential pro Jahr für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA für 4 Szenarien, unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung (Herstellungsprozesse und gespeichertes CO<sub>2</sub>) inkl. Innenwände, Tiefgaragen und Keller

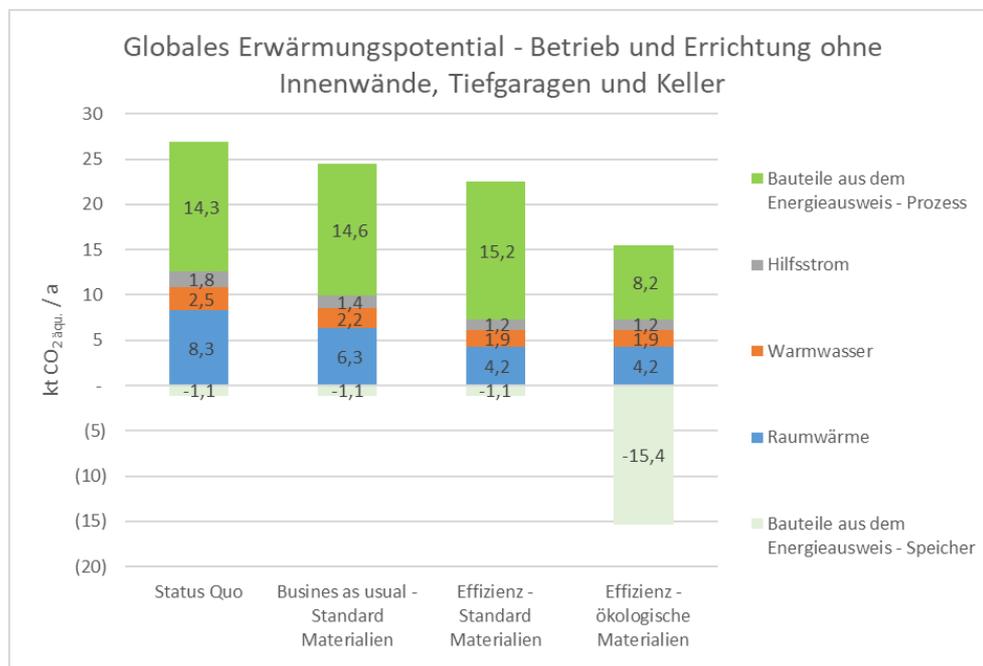


Abbildung 30 - Globales Erwärmungspotential pro Jahr für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA für 4 Szenarien; unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung (Herstellungsprozesse und gespeichertes CO<sub>2</sub>) ohne Innenwände, Tiefgaragen und Keller

Abbildung 29 und Abbildung 30 zeigen die äquivalenten CO<sub>2</sub>-Emissionen für den Gebäudebetrieb und die Herstellung der Baustoffe. Bei der Herstellung werden sowohl die klimarelevanten Emissionen aus den Herstellungsprozessen (in der Abbildung als „Herstellung – Prozess“ bezeichnet) als auch die während des Wachstums von Biomasse aus der Atmosphäre aufgenommene und über die Lebensdauer der Material ein gespeicherte Menge an Kohlendioxid (in der Abbildung als „Herstellung – Speicher“ bezeichnet) berücksichtigt. In Abbildung 29 ist die Herstellung unterteilt in Bauteile aus dem Energieausweis, Innenwände und Tiefgaragen und Keller unterteilt dargestellt. Im Rahmen dieser Studie wurden für die Gebäudeteile Innenwänden, Tiefgarage und Keller aus Vereinfachungsgründen die gleichen Annahmen für alle Szenarien getroffen. Diese haben daher über alle Szenarien die gleichen Kennwerte. Sie stellen im Rahmen dieser Studie daher kein Optimierungspotential dar. In Abbildung 29 sind sie aber enthalten, um einen Eindruck von der ökologischen Relevanz der Herstellung auch für diese Gebäudeteile bekommen zu können. Abbildung 30 enthält nur jene Gebäudeteile, für die in den verschiedenen Szenarien unterschiedliche Annahmen getroffen wurden.

Wie in der Sanierung wird auch im Neubau deutlich, dass das Szenario „Effizienz“ mit ökologischen Materialien die geringsten äquivalenten CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht. Zudem zeigt sich, dass die Einsparungen im Gebäudebetrieb die zusätzlichen Emissionen in der Herstellung überwiegen. Die zusätzlichen äquivalenten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Herstellungsprozessen betragen zwischen dem „Business as usual“-Szenario und dem „Effizienz“-Szenario, jeweils mit Standard-Materialien 0,6 ktCO<sub>2</sub> äqu./a. Dem steht eine Einsparung im Bereich der Raumwärme von 2,1 ktCO<sub>2</sub> äqu./a gegenüber.

Energieeffizientes Bauen ist also auch im Neubau unter Berücksichtigung der Herstellung der Baustoffe gesamt ökologisch sinnvoll, auch bei der Verwendung von Standard-Materialien.

Die Materialität bietet insbesondere im Neubau ein deutliches zusätzliches Optimierungspotential. Die Emissionen aus den Herstellungsprozessen lassen sich durch die Optimierung der Konstruktionen und Baustoffe (ökologische Materialwahl) um 46% reduzieren (15,2 ktCO<sub>2</sub> äqu./a vs. 8,2 ktCO<sub>2</sub> äqu./a). Dazu kämen noch Optimierungen in den im Rahmen der Studie nicht untersuchten Produktionsprozessen (vgl. „2. Materialtechnische Definition der Baukonstruktionen“) und den in den Szenarien dieser Studie nicht berücksichtigten Gebäudeteilen (Tiefgaragen, Keller und Innenwände).

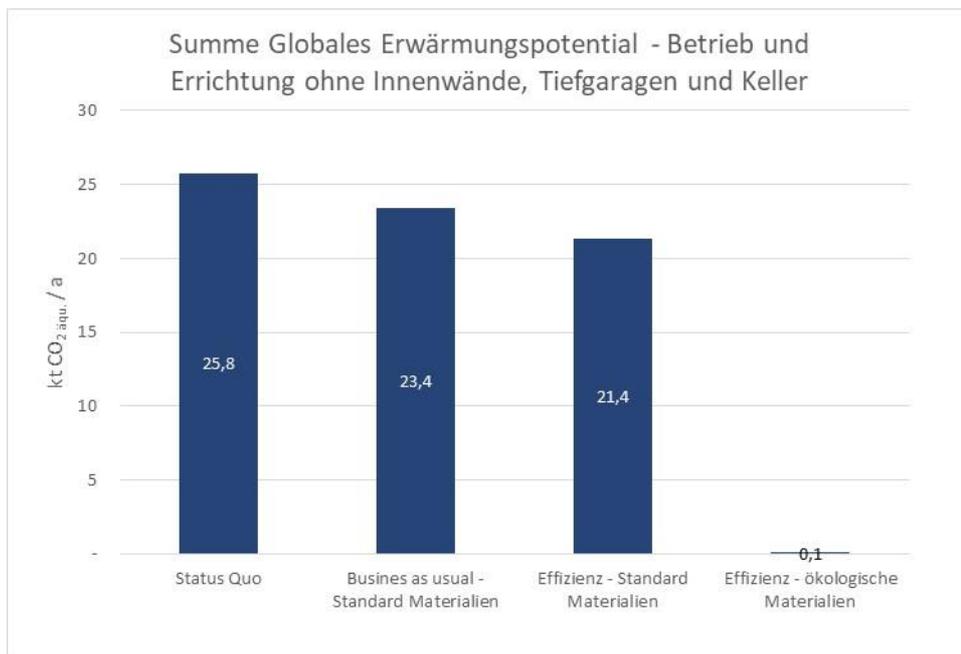


Abbildung 31 – Summe Globales Erwärmungspotential pro Jahr für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA für 4 Szenarien; unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung (Summe aus Herstellungsprozessen und gespeichertem CO<sub>2</sub>) ohne Innenwände, Tiefgaragen und Keller

Besonders deutlich wird das Potential der Herstellung, wenn neben den Emissionen aus den Herstellungsprozessen auch die während des Wachstums von Biomasse aus der Atmosphäre aufgenommene und über die Lebensdauer der Materialien gespeicherte Menge an Kohlendioxid (sprich die CO<sub>2</sub>-Speicherung) berücksichtigt wird.

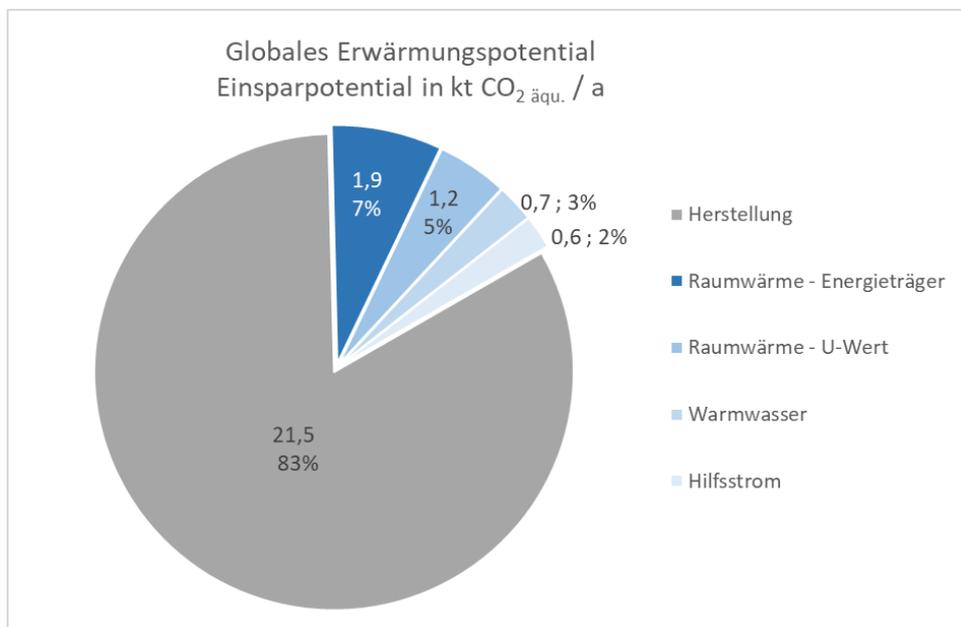


Abbildung 32 – Gesamtes Einsparpotential (Herstellungsprozesse und CO<sub>2</sub>-Speicherung) für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA des Globalen Erwärmungspotentials unterteilt in Gebäudebetrieb (blau) und Herstellung (grau)

Abbildung 32 bildet die gesamte CO<sub>2</sub>-Einsparung zwischen dem Szenario „Status Quo“ und dem Szenario „Effizienz – ökologische Materialien“ (25,9 kt CO<sub>2</sub> äqu. pro Jahr) ab.

Der Großteil der CO<sub>2</sub>-Einsparung (83%) entfällt auf die Einsparung in der Herstellung der Baustoffe.

### Primärenergie nicht erneuerbar

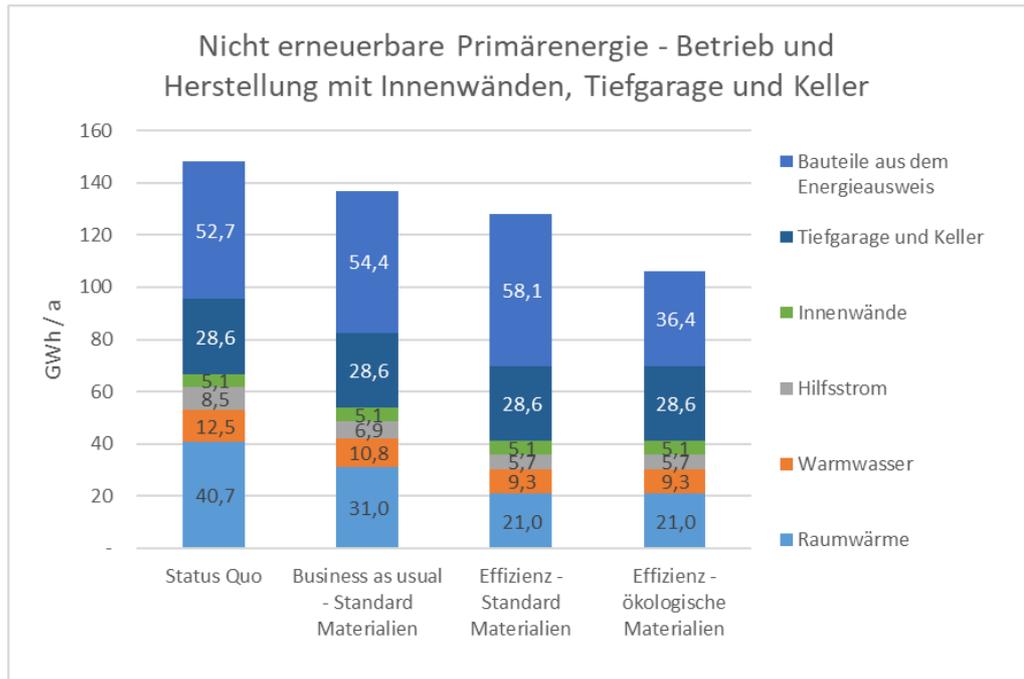


Abbildung 33 – Nicht erneuerbare Primärenergie pro Jahr für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA für 4 Szenarien; unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung inkl. Innenwände, Tiefgaragen und Keller

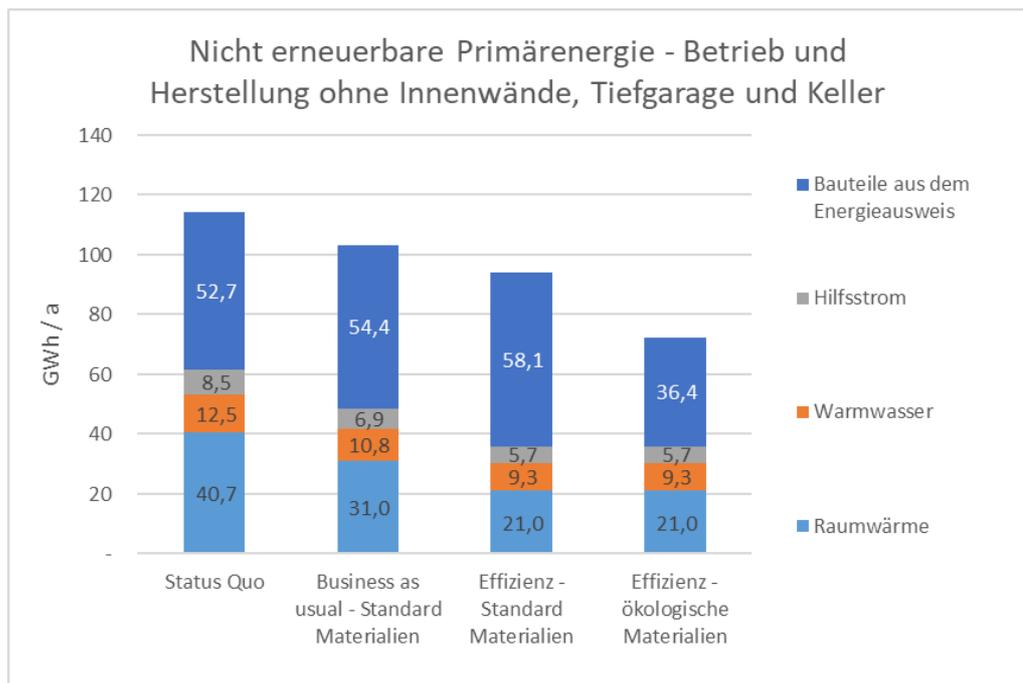


Abbildung 34 - Nicht erneuerbare Primärenergie pro Jahr für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA für 4 Szenarien; unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung ohne Innenwände, Tiefgaragen und Keller

Abbildung 33 und Abbildung 34 zeigen den Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie für den Gebäudebetrieb und die Herstellung der Baustoffe. In Abbildung 33 ist die Herstellung in Bauteile aus dem Energieausweis, Innenwände, Tiefgaragen und Keller unterteilt dargestellt. In Rahmen dieser Studie wurden für die Gebäudeteile Innenwände, Tiefgarage und Keller die gleichen Annahmen für alle Szenarien getroffen. Diese haben daher über alle Szenarien die gleichen Kennwerte. Sie stellen im Rahmen dieser Studie daher kein Optimierungspotential dar. In Abbildung 33 sind sie aber enthalten, um einen Eindruck von der ökologischen Relevanz der Herstellung dieser Gebäudeteile bekommen zu können.

Über alle Szenarien haben die konditionierten Gebäudeteile (also jene Bauteile, die im Energieausweis zu erfassen sind) die größte Relevanz (zwischen 52,7 und 36,4 GWh/a, je nach Szenario). In diesem Bereich liegt dabei auch das größte Optimierungspotential im Bereich der ökologischen Materialwahl.

Der zweitgrößte Anteil an Nicht erneuerbarer Primärenergie in der Herstellung entfällt auf Tiefgaragen und Keller. Mit 28,6 GWh/a sind diese Gebäudeteile beim Szenario „Effizienz“ mit ökologischer Materialwahl in einer ähnlichen Größenordnung wie die konditionierten Gebäudeteile. Hier liegt das Optimierungspotential allerdings in erste Linie in einer Reduktion der jeweiligen Flächen und weniger in der Verwendung anderen Materialien.

Abbildung 34 enthält nur jene Gebäudeteile, für die in den verschiedenen Szenarien unterschiedliche Annahmen getroffen wurden.

Auch im **Neubau** wird deutlich, dass das Szenario „Effizienz“ mit ökologischen Materialien den geringsten Verbrauch an nicht erneuerbare Primärenergie verursacht. Zudem zeigt sich, dass die Einsparungen im Gebäudebetrieb den zusätzlichen Energieverbrauch in der Herstellung überwiegen.

Der zusätzliche Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie des Szenarios „Effizienz“ mit Standard-Materialien im Vergleich zum Szenario „Business as usual“, ebenfalls mit Standard-Materialien, beträgt in der Herstellung 3,7 GWh/a. Dem steht eine Einsparung im Bereich der Raumwärme von 10 GWh/a gegenüber.

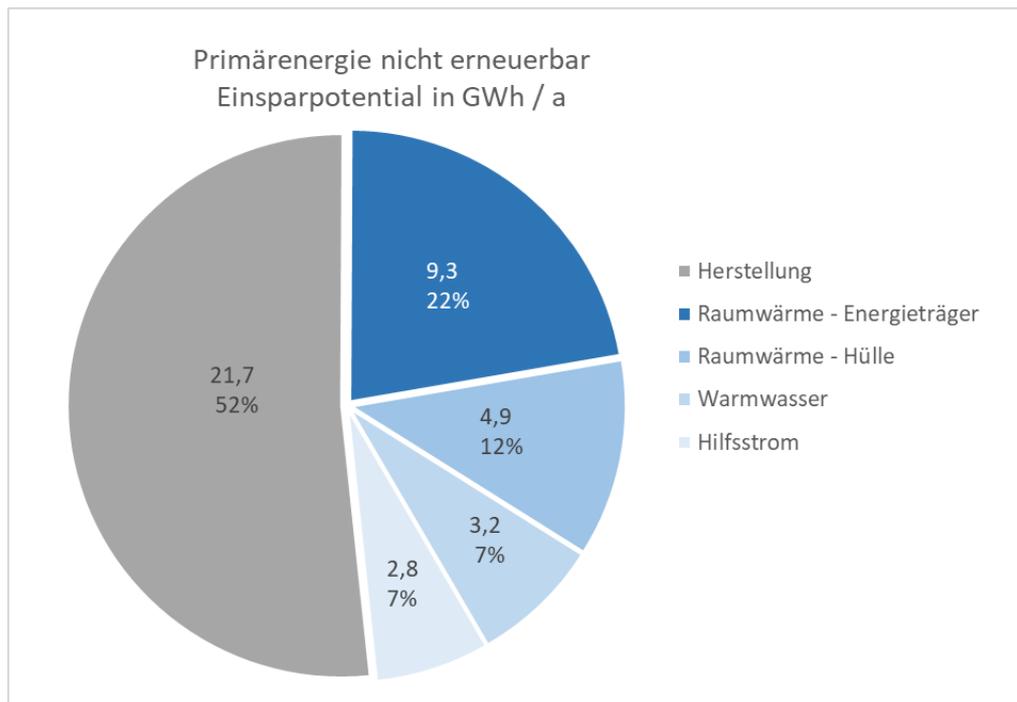


Abbildung 35 – Gesamtes Einsarpotential für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA der nicht erneuerbaren Primärenergie unterteilt in Gebäudebetrieb (blau) und Herstellung (grau)

Energieeffizientes Bauen ist also auch im Neubau unter Berücksichtigung der Herstellung der Baustoffe in einer energetischen Gesamtbilanz (Betrieb und Herstellung) sinnvoll. Die Materialität bietet aber insbesondere im Neubau ein deutliches zusätzliches Optimierungspotential. Alleine im Bereich der Gebäudeteile, die im Energieausweis erfasst werden, beträgt das Einsarpotential 21,7 GWh/a. Dazu kämen noch Optimierungen in den Herstellungsprozessen (vgl. „2. Materialtechnische Definition der Baukonstruktionen“) und den in den Szenarien dieser Studie nicht berücksichtigten Gebäudeteilen (Tiefgarage, Keller und Innenwände).

## Ersatzneubau

Da im Rahmen der Studie sowohl Neubau als Sanierungen untersucht wurden, konnte auch eine Einschätzung für das Thema „Ersatzneu“ erstellt werden. Der Ersatzneubau beschreibt unterschiedliche Formen des Bestandsersatzes. Abriss und Neubau eines

Objektes stehen dabei lokal und temporär in einem engen Zusammenhang, wobei angenommen wird, dass der grundsätzliche Nutzungscharakter des Objektes nicht geändert wird. Das wiederum bedeutet, dass im Rahmen eines Gesamtvorhabens mehrere Objekte in Form einer Wohnanlage oder eines Ensembles als Ersatz-Neubauprojekt betrachtet werden können (TU-Graz 2020).

Die folgenden Grafiken sollen eine Einschätzung für den Vergleich von Ersatzneubauten zu Sanierungen ermöglichen. Die Grafiken vergleichen jeweils einen (Ersatz-) Neubau und eine Sanierung eines Einfamilienhauses in Massiv-Bauweise und einer Wohnhausanlage. Die bewerteten Indikatoren sind wiederum „Globales Erwärmungspotential“ und „Nicht erneuerbarer Primärenergie“.

### Globales Erwärmungspotential

Beim Globalen Erwärmungspotential werden sowohl die Emissionen aus den Herstellungsprozessen (GWP-Prozess) als auch die CO<sub>2</sub>-Speicherung (GWP-C-Gehalt), das heißt, die während des Wachstums von Biomasse aus der Atmosphäre aufgenommene und über die Lebensdauer des Materials gespeicherte Menge an Kohlendioxid, berücksichtigt (siehe „3. Definition und Entwicklung des Berechnungs- und Auswertungstools“). Da eine gemeinsame Darstellung des GWP-Prozess und des GWP-C-Gehalts in einer Grafik nicht mehr zielführend schien, werden GWP-Prozess und die GWP-Summe (d.h. die Emissionen aus den Herstellungsprozessen abzüglich der CO<sub>2</sub>-Speicherung) in getrennten Grafiken dargestellt.

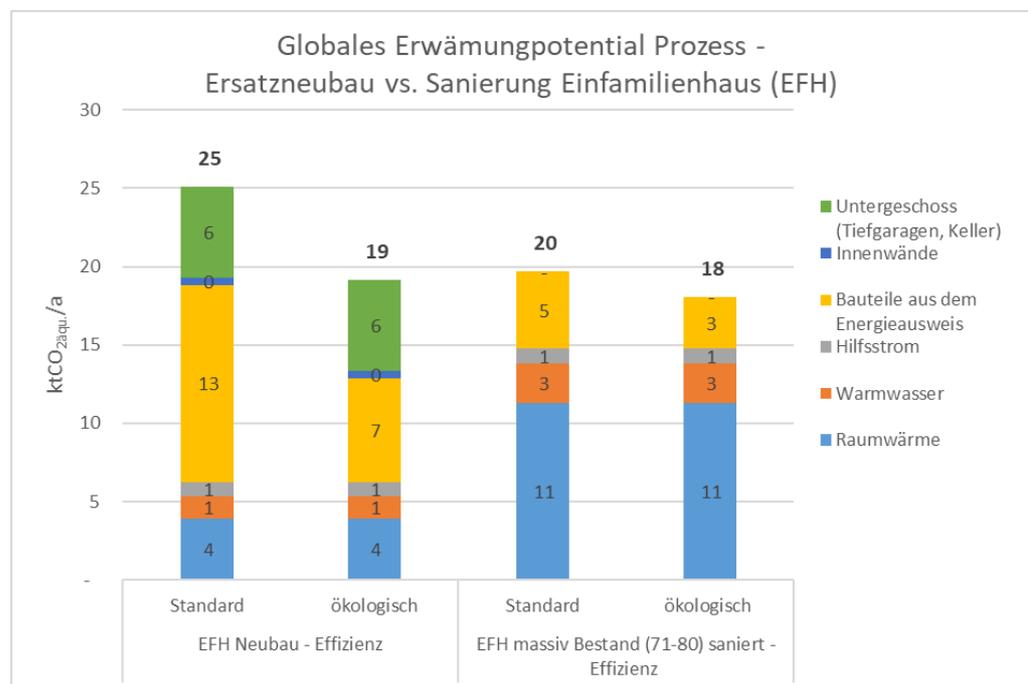


Abbildung 36 - Globales Erwärmungspotential Prozess pro Jahr für Neubau und Sanierung des Gebäudetyps EFH in den Szenarien „Effizienz“ mit Standard-Materialien und mit ökologischen Materialien.

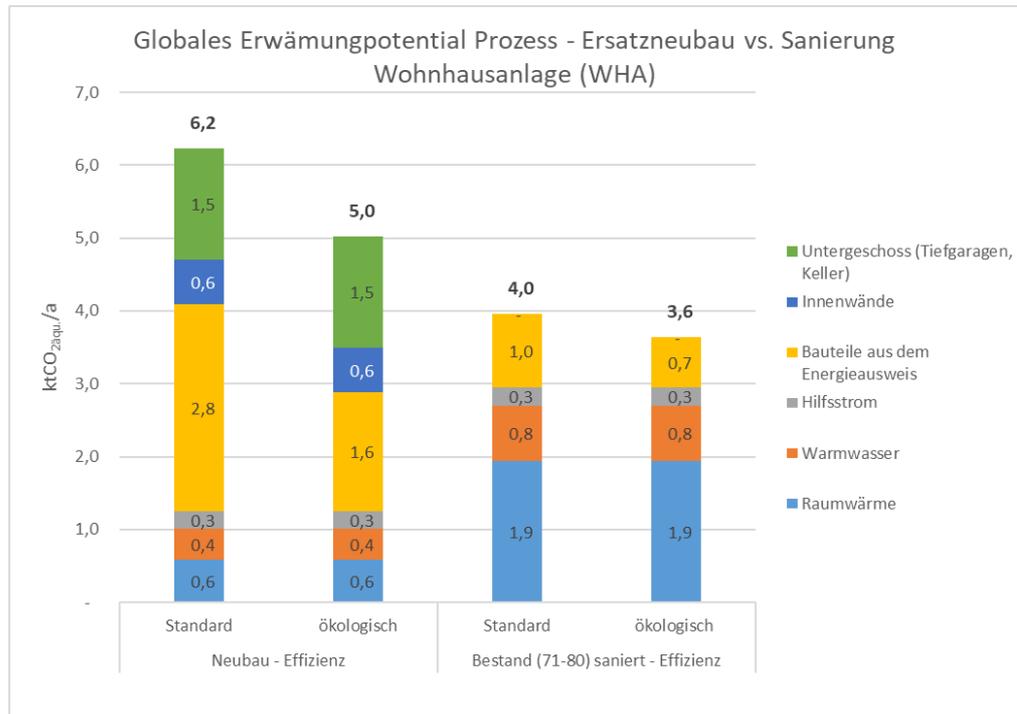


Abbildung 37 - Globales Erwärmungspotential Prozess pro Jahr für Neubau und Sanierung des Gebäudetyps WHA in den Szenarien „Effizienz“ mit Standard-Materialien und mit ökologischen Materialien.

Abbildung 36 und Abbildung 37 stellen jeweils einen (Ersatz-) Neubau der Sanierung eines Einfamilienhauses in Massiv-Bauweise und einer Wohnhausanlage gegenüber. Für Neubau und Sanierung wurden jeweils die Szenarien „Effizienz“ mit Standard-Materialien und „Effizienz“ mit ökologischen Materialien angenommen.

Unter diesen Annahmen ist der Ausstoß klimarelevanter Emissionen beim konventionellen Neubau jeweils höher als in den sanierten Varianten. Ökologische Neubauten liegen aber in der gleichen Größenordnung wie die Sanierung, insbesondere beim Einfamilienhaus. Wird dabei auch das Kellergeschoß optimiert (Teilunterkellerung oder keine Unterkellerung, kleinere Tiefgaragen), können die Emissionen im Ersatz-Neubau jene in der Sanierung auch unterschreiten.

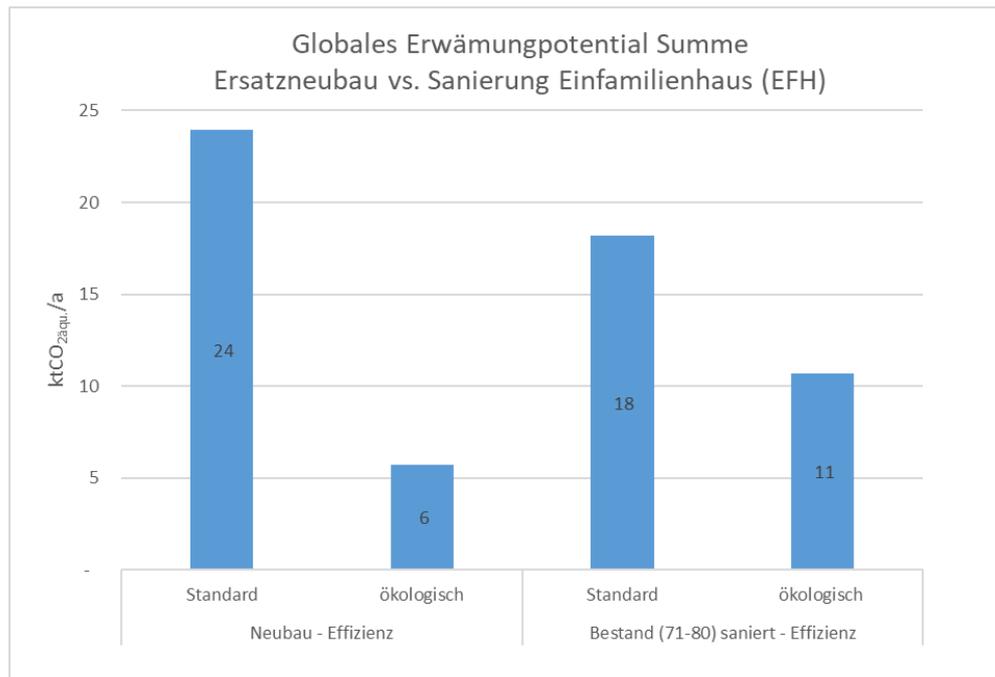


Abbildung 38 - Globales Erwärmungspotential Summe (inkl. CO<sub>2</sub>-Speicherung) pro Jahr für Neubau und Sanierung des Gebäudetyps EFH in den Szenarien „Effizienz“ mit Standard-Materialien und mit ökologischen Materialien.

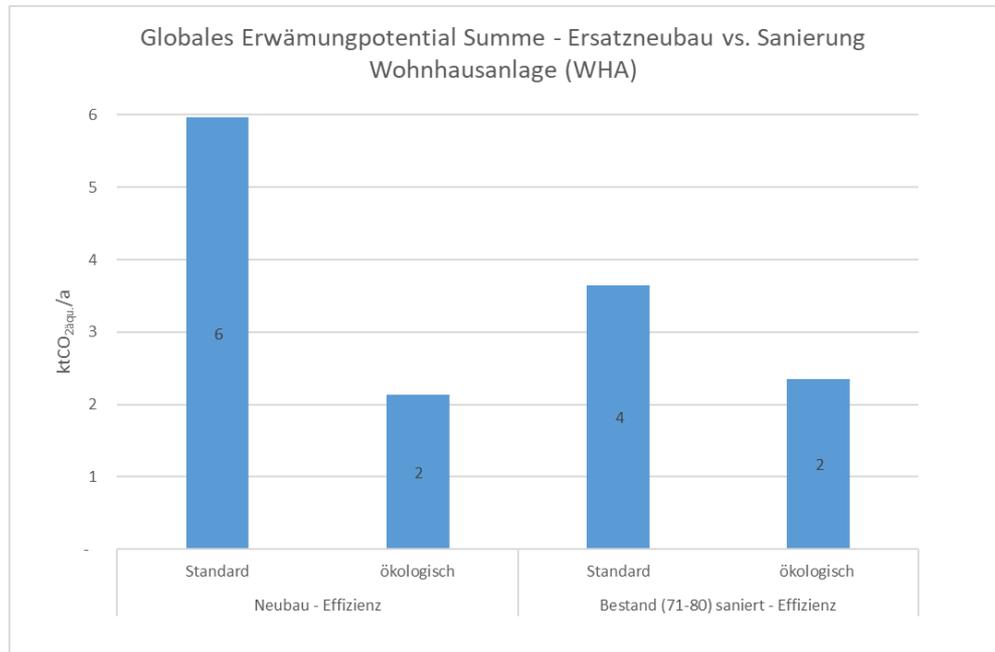


Abbildung 39 - Globales Erwärmungspotential Summe (inkl. CO<sub>2</sub>-Speicherung) pro Jahr für Neubau und Sanierung des Gebäudetyps WHA in den Szenarien „Effizienz“ mit Standard-Materialien und mit ökologischen Materialien.

In Abbildung 38 und Abbildung 39 ist ergänzend zu Abbildung 36 und Abbildung 37 zusätzlich die CO<sub>2</sub>-Speicherung berücksichtigt. Unter dieser Betrachtung sind die Emissionen von ökologischen Neubauten geringer als die Sanierung des Bestandes.

## Nicht erneuerbare Primärenergie

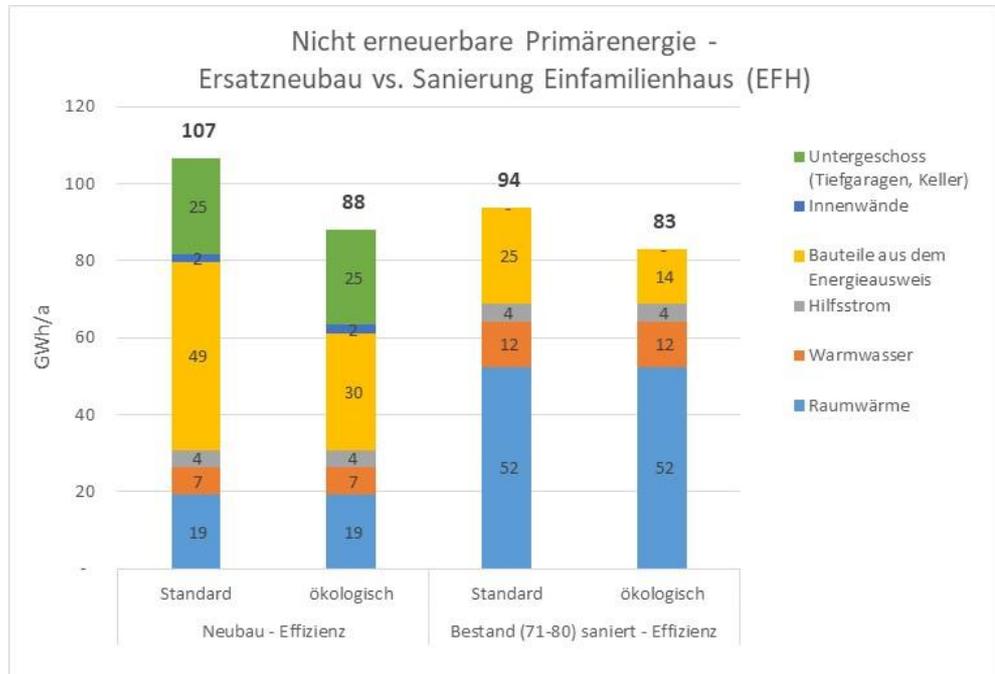


Abbildung 40 - Nicht erneuerbare Primärenergie pro Jahr für Neubau und Sanierung des Gebäudetyps EFH in den Szenarien „Effizienz“ mit Standard-Materialien und mit ökologischen Materialien.

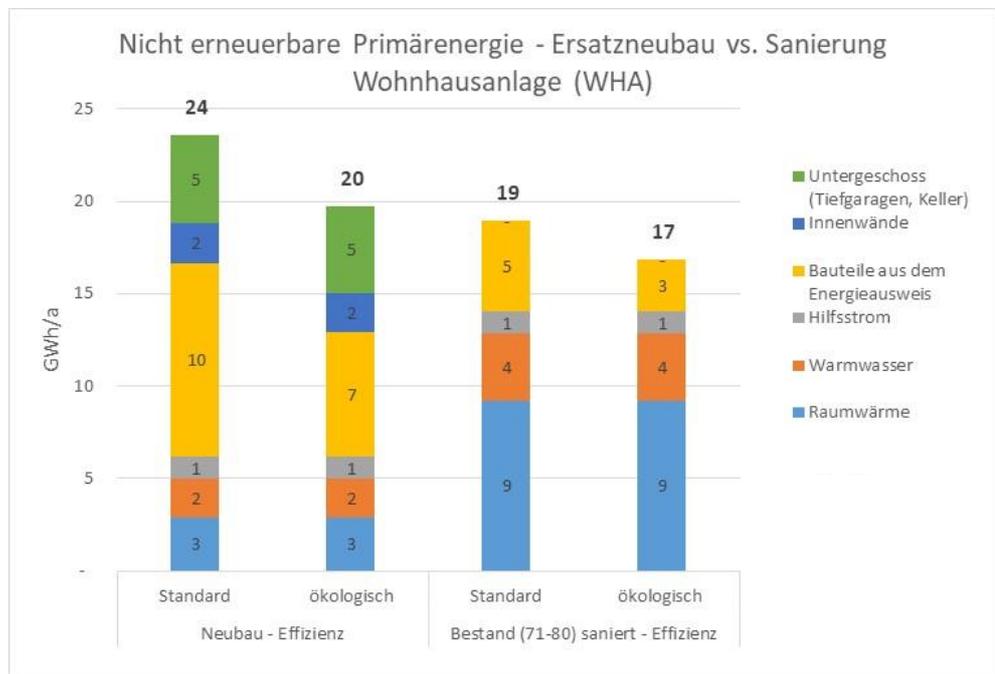


Abbildung 41 - Nicht erneuerbare Primärenergie pro Jahr für Neubau und Sanierung des Gebäudetyps WHA in den Szenarien „Effizienz“ mit Standard-Materialien und mit ökologischen Materialien.

Abbildung 35 und Abbildung 36 zeigen den Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie für den Neubau eines Einfamilienhauses bzw. einer Wohnhausanlage im Vergleich mit der Sanierung des jeweiligen Gebäudetyps.

Für Neubau und Sanierung wurde jeweils das „Effizienz“-Szenario angenommen und eine Variante mit Standard-Materialien und eine mit ökologischen Materialien unterschieden. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit jenen für den Indikator „Globales Erwärmungspotential“. Der Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie bei konventionellen Neubauten ist sowohl für das untersuchte Einfamilienhaus als auch für die Wohnhausanlage höher als bei den jeweiligen Sanierungsvarianten. Ökologische Neubauten liegen dagegen in etwa in der gleichen Größenordnung wie die Sanierung des Bestandes mit Standard-Materialien. Am besten schneidet das Szenario „Effizienz“ mit ökologischen Materialien ab.

## Bestand als Rohstofflager

Neben der zentralen Frage der Klimaerwärmung und dem Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie gewinnt auch das Thema Materialeffizienz zusehends an Bedeutung. In Vorarlberg zeigt sich das beispielsweise an der politischen und medialen Diskussion über den Kiesabbau in Ahtach und im Bereich der Kanisfluh. Im Rahmen dieser Studie wurde daher eine Einschätzung zu diesem Thema auf Basis der vorhandenen Daten erstellt.

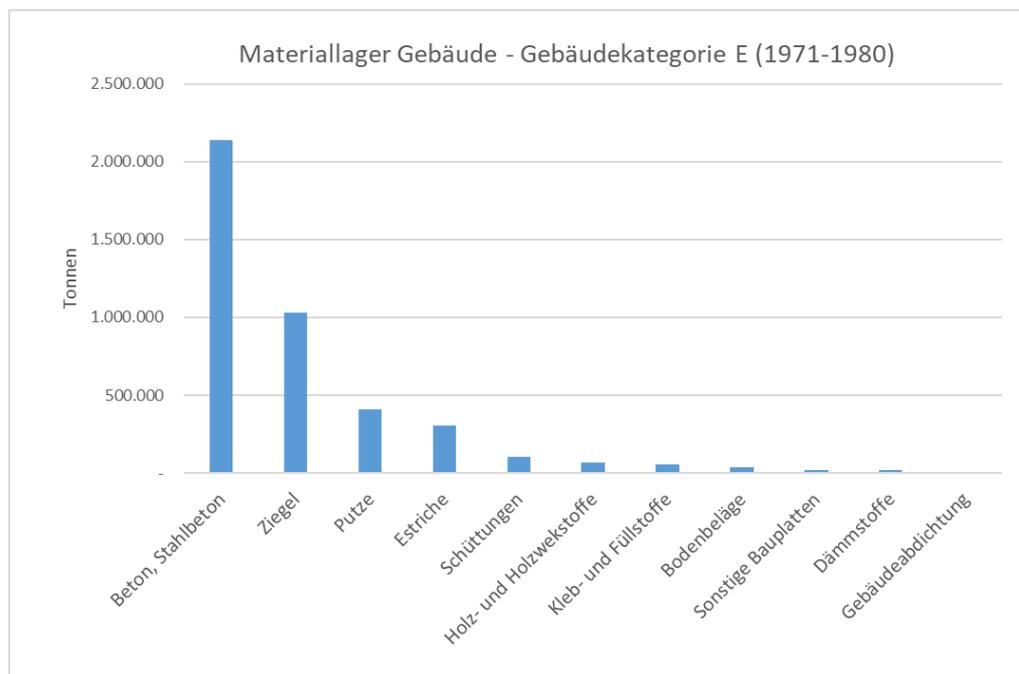


Abbildung 42 - Materiallager Gebäudebestand der Gebäudekategorie E (1971 - 1980)

Abbildung 42 zeigt die in den Gebäuden der Kategorie E enthaltenen wichtigsten mengenrelevanten Baustoffe. Werden diese Gebäude abgerissen, stellen diese Materialien ein potentielles Rohstofflager, vor allem im Bereich Beton und Stahlbeton, dar.

Unter der Annahme, dass wie in der Schweiz 90% des Betons der abgerissenen Häuser aufbereitet werden (baublatt.ch 2018), könnten in etwa 1,9 Millionen Tonnen in der Gebäudekategorie E (1971-1980) und in etwa 14,2 Millionen Tonnen in den Gebäudekategorien D bis H (1961-2020) recycelt werden. Der aufbereitete Beton wird in der Schweiz zu 25% im Hochbau eingesetzt, 30% wird aufbereitet und gelagert, 40% wird im Tiefbau verwendet und 5% werden auf Deponien entsorgt.

Laut der Bedarfsstudie „*Baurohstoffversorgung in Vorarlberg 2018*“ (GEOMAEHR GmbH 2018) werden in Vorarlberg 1,28 Millionen Tonnen Kies je Jahr für Beton verwendet. Die Abschätzung zeigt, dass die Gewinnung von Kies aus verbautem Beton „Urban Mining“ signifikant zur Ressourcenversorgung beitragen kann. Daher sollte detailliert untersucht werden, wie das Rohstofflager „Wohngebäude“ in Vorarlberg genutzt und bewirtschaftet werden kann.

## 5. Bericht und Transfer

Die Durchführung der Studie erfolgte in Abstimmung mit dem Auftraggeber auf Basis der zu erarbeitenden Inhalte, die maßgeblich im Startworkshop festgelegt wurden. Im Zuge der Ausarbeitungserfahrungen erfolgten kleinere Adaptionen sowie Projekterweiterungen. Beispielsweise wurden 9 statt 5 Fallvarianten, wie ursprünglich geplant, analysiert sowie die Betrachtung von Ersatzneubauten miteinbezogen. Auch der Materialverbrauch beziehungsweise der Bestand als Rohstofflager wurden zusätzlich abgeschätzt. Dadurch verlängerte sich die geplante Projektlaufzeit.

In der Studie haben diverse Fachpersonen mitgearbeitet, mitgedacht, wurden befragt oder informell eingebunden. Nachstehend sind einige der Fachpersonen angeführt:

- Amt der Vorarlberger Landesregierung:  
Christian Vögel, Markus Niedermair, Karl Ladenhauf, Martin Brunn
- Energieinstitut Vorarlberg:  
Patrick Denz, Martin Ploss, Tobias Hatt, Maximilian Breier, Verena Engstler, Christoph Sutter, Harald Gmeiner

### Transfer

Der Transfer der Studienergebnisse erfolgte in Abstimmung mit dem Auftraggeber und wurde zum Zeitpunkt der Berichterstellung nur mit „internen“ Fachkollegen durchgeführt. Speziell für den Transfer der Inhalte zu „Nicht-Fachpersonen“ wurden die zentralen Ergebnisse und Empfehlungen der Studie in einer Präsentation zusammengefasst.

Um die Ergebnisse der Studie breit in der Bauwirtschaft und bei den relevanten Entscheidungsträgern bekannt zu machen, empfehlen wir die Erstellung einer Zielgruppen-angepassten Broschüre zur Studie.

# Anhang

## Glossar

**Endenergiebedarf (EEB):** Der Endenergiebedarf umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf bzw. den jeweils allfälligen Betriebsstrombedarf, Kühlenergiebedarf und Beleuchtungsenergiebedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf).

**Ersatzneubau:** Der Ersatzneubau beschreibt unterschiedliche Formen des Bestandsersatzes, spielt aber wohl vor allem in der städtebaulichen Nachverdichtung von Wohnbauten die größte Rolle. Abriss und Neubau eines Objektes stehen lokal und temporär in einem engen Zusammenhang, wobei der grundsätzliche Nutzungscharakter des Objektes nicht geändert wird. Das wiederum kann auch bedeuten, dass im Rahmen eines Gesamtvorhabens mehrere Objekte in Form einer Wohnanlage oder eines Ensembles als Ersatz-Neubauprojekt betrachtet werden können. (TU-Graz 2020)

**Eutrophierungspotenzial (EP):** Die Eutrophierung steht für eine Nährstoffzufuhr im Übermaß, sowohl für Gewässer als auch für Böden. Das Eutrophierungspotenzial des Nährstoffeintrages wird in Kilogramm (Phosphat-Äquivalenten) angegeben.

**Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW):** FCKW ist ein Sammelbegriff für Kohlenwasserstoffe, bei denen Wasserstoffatome durch Chlor und Fluor ersetzt sind. FCKW sind farblose Gase oder Flüssigkeiten. Sie sind chemisch sehr beständig und haben dadurch eine sehr lange Lebensdauer (durchschnittlich 55 Jahre). Sie sind maßgeblich am Abbau der Ozonschicht beteiligt. FCKW wird in der Kunststoffindustrie als Aufschäummittel von Dämmstoffen gebraucht.

**Globales Erwärmungspotenzial (GWP Global Warming Potential):** Beitrag der Treibhausgasemissionen zur globalen Erwärmung. Das Treibhauspotenzial beschreibt den Beitrag anthropogener Emissionen an der Wärmeabsorption in der Atmosphäre und ist damit ein Indikator zur Messung des so genannten Treibhauseffekts. Luftemissionen, die zum Treibhauseffekt beitragen, werden bilanziert und entsprechend ihres spezifischen Treibhauspotenzials zum gesamten Treibhauspotenzial charakterisiert. Das spezifische Treibhauspotenzial beschreibt den Treibhauseffekt von chemischen Substanzen im Verhältnis zu Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) mit Hilfe von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Die Einheit ist daher in Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalent angeführt.

**Nachhaltigkeit:** Nachhaltigkeit nach Brundtland ist eine Entwicklung „die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen“ (Weltkommission für Umwelt und Entwicklung 1987).

**Nachwachsende Rohstoffe:** Nachwachsende Rohstoffe sind Stoffe pflanzlichen oder tierischen Ursprungs, die ganz oder in Teilen als Rohstoffe für die Industrie oder als

Energieträger genutzt werden können. Im Gegensatz zu fossilen Rohstoffen erneuern sie sich in kurz- bis mittelfristigen Zeiträumen.

**Ökobilanz:** Die Ökobilanz (ISO 14044) oder auch LCA (life cycle assessment) steht für eine Methode zur Abschätzung der Auswirkungen eines Produktes und seines Herstellungsprozesses auf die Umwelt. Sie umfasst drei maßgebliche Teile: Die Sachbilanz, die Wirkungsbilanz und die Bewertung. Der Bilanzierungsbereich teilt sich in Bereiche wie Rohstoffeinsatz, Energieeinsatz, Emissionen, Wasser, Abfallaufkommen sowie toxikologische und ökologische Bewertungen der verursachten Emissionen. Ziel der Ökobilanz ist eine Abwägung der Vor- und Nachteile von Produkten und Verfahren.

**Oekoindex (OI):** Der Oekoindex wird aus den drei Ökoindikatoren PENRT (Primärenergie nicht erneuerbar total), GWP (Treibhauspotential) und AP (Versauerungspotential) berechnet und beurteilt die ökologische Qualität der Baumaterialien, Baukonstruktionen und Gebäude.

**Primärenergie nicht erneuerbare total (PENRT):** Als Primärenergieinhalt (abgekürzt PE) wird der zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung erforderliche Gesamtbedarf an energetischen Ressourcen bezeichnet. Der PE wird in MJ angegeben und aus dem unteren Heizwert der eingesetzten energiehaltigen Ressourcen berechnet. Im „PENR“ wird der Primärenergieinhalt aller nicht erneuerbaren Ressourcen (Erdöl, Kohle, etc.) angeführt. Der „PENRT“ enthält sowohl die energetisch als auch die stofflich genutzten Ressourcen.

**Ressourcen:** Ressourcen sind alle physischen Rohstoffe und Bestände, die von der Gesellschaft gezielt entnommen oder in der Natur verändert und genutzt werden. Die physischen Ressourcen selbst gehen durch die Nutzung nicht verloren, sondern werden verändert. Ihre spezifische, für die gesellschaftliche Nutzung relevante Qualität geht dabei in der Regel verloren.

**Ressourceneffizienz (RE):** Ressourceneffizienz ist eine Betrachtung von Materialflüssen als BIP/DMC und beschreibt das Verhältnis zwischen monetärem Output und Ressourceninput: Wie viele Euro BIP können durch die verbrauchten Materialien erwirtschaftet werden? Die Ressourceneffizienz ist ein relatives Maß. Eine Steigerung kann also durch ein steigendes BIP oder sinkenden Materialverbrauch erreicht werden. Die Ressourceneffizienz wird auch als Ressourcenproduktivität bezeichnet.

**U-Wert:** Der Wärmedurchgangskoeffizient ist die Maßeinheit zur Ermittlung des Wärmeverlustes eines Bauteils. Der U-Wert gibt die Wärmemenge an, die pro Zeiteinheit durch 1 m<sup>2</sup> eines Bauteils bei einem Temperaturunterschied von 1 K hindurchgeht. Je tiefer der U-Wert, desto kleiner sind die Wärmeverluste nach außen und dementsprechend geringer der Energieverbrauch.

**Urban Mining:** Bergbau im städtischen Bereich bzw. Stadtschürfung bezeichnet die Ausnutzung der Tatsache, dass eine dicht besiedelte Stadt als riesige Rohstofflagerstätte anzusehen ist. Dabei umfasst Urban Mining die Identifizierung anthropogener „Lagerstätten“, die Quantifizierung der darin enthaltenen Sekundärrohstoffe, Wirtschaftlichkeitsberechnungen vor dem Hintergrund der zu Verfügung stehenden techni-

schen Rückgewinnungsvarianten und den derzeit erzielbaren und zukünftig prognostizierten Erlösen, die wirtschaftliche Aufbereitung und Wiedergewinnung der identifizierten Wertstoffe sowie die integrale Bewirtschaftung anthropogener Lagerstätten.

**Versauerungspotenzial** (Acidification Potential AP) von Boden und Wasser: Versauerung wird hauptsächlich durch die Wechselwirkung von Stickoxid- (NO<sub>x</sub>) und Schwefeldioxidgasen (SO<sub>2</sub>) mit anderen Bestandteilen der Luft verursacht. Zu den eindeutig zugeordneten Folgen zählt u.a. die Versauerung von Seen und Gewässern, welche zu einer Dezimierung der Fischbestände in Zahl und Vielfalt führt.

Das Versauerungspotenzial wird in kg-SO<sub>2</sub>-Äquivalenten dargestellt. Eine Versauerung kann ebenfalls sowohl bei terrestrischen als auch bei aquatischen Systemen eintreten. Verantwortlich sind die Emissionen säurebildender Abgase. Es wird in Schwefeldioxid-(SO<sub>2</sub>)-Äquivalenten gemessen.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Außenwand Einfamilienhaus, Holzbauweise, konventionell saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	16
Abbildung 2 - Außenwand Einfamilienhaus, Holzbauweise, ökologisch saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	16
Abbildung 3 - Oberste Geschoßdecke Einfamilienhaus, Holzbauweise, konventionell saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	17
Abbildung 4 - Oberste Geschoßdecke Einfamilienhaus, Holzbauweise, ökologisch saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	17
Abbildung 5 - Kellerdecke Einfamilienhaus, Holzbauweise, konventionell saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	18
<i>Abbildung 6 - Kellerdecke Einfamilienhaus, Holzbauweise, ökologisch saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....</i>	<i>18</i>
Abbildung 7 - Außenwand Wohnhausanlage, konventionell saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	19
Abbildung 8 - Außenwand Wohnhausanlage ökologisch saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	19
Abbildung 9 - Oberste Geschoßdecke Wohnhausanlage, konventionell saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	20
Abbildung 10 - Oberste Geschoßdecke Wohnhausanlage, ökologisch saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	20
Abbildung 11 - Kellerdecke Wohnhausanlage, konventionell saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	21
Abbildung 12 - Kellerdecke Wohnhausanlage, ökologisch saniert mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	21
Abbildung 13 - Fenster Einfamilienhaus und Wohnhausanlage, konventionell saniert.....	22

Abbildung 14 - Fenster Einfamilienhaus und Wohnhausanlage, ökologisch saniert.....	22
Abbildung 15 – Außenwand, Wohnhausanlage mit Standard-Materialien mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	23
Abbildung 16 – Außenwand, Wohnhausanlage mit ökologischen Materialien mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	23
Abbildung 17 – Flachdach, Wohnhausanlage mit Standard-Materialien mit U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	24
Abbildung 18 – Flachdach, Wohnhausanlage mit ökologischen Materialien und U-Werten entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	24
Abbildung 19 - Decke Keller / Tiefgarage, Wohnhausanlage mit U-Wert entsprechend Szenario „Effizienz“ .....	25
Abbildung 20 – „baubook eco2soft - ökobilanz für gebäude" (baubook GmbH 2020, 2) .....	27
Abbildung 21 - Auszug Materialliste aus baubook eco2soft – „ökobilanz für gebäude“ .....	27
Abbildung 22 - Globales Erwärmungspotential pro Jahr für die Gebäudekategorie E (1971-1981) für die Szenarien "Status Quo", "Business as usual", "Effizienz - Standard-Materialien" und "Effizienz - ökologische Materialien"; unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung (Herstellungsprozesse und gespeichertes CO <sub>2</sub> ) .....	29
Abbildung 23 - Globales Erwärmungspotential pro Jahr für die Gebäudekategorie E (1971-1981) für die Szenarien "Status Quo", "Business as usual", "Effizienz - Standard-Materialien" und "Effizienz - ökologische Materialien" gesamt über Gebäudebetrieb und Herstellung.....	29
Abbildung 24 - Gesamtes Einsparpotential (Herstellungsprozesse und CO <sub>2</sub> -Speicherung) für die Gebäudekategorie E (1971-1981) des Globalen Erwärmungspotentials unterteilt in Gebäudebetrieb (Status Quo vs. Effizienz Szenario) und Herstellung (Standard vs. ökologische Materialien) .....	31
Abbildung 25 - Primärenergie nicht erneuerbar pro Jahr für die Gebäudekategorie E (1971-1981) für die Szenarien „Status Quo“, „Business as usual“, „Effizienz“ mit Standard-Materialien“ und „Effizienz - ökologische Materialien“ unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung. ....	32
Abbildung 26 - Gesamtes Einsparpotential für die Gebäudekategorie E (1971-1981) der nicht erneuerbaren Primärenergie, unterteilt in Gebäudebetrieb („Status Quo“ vs. „Effizienz“-Szenario) und Herstellung (Standard- vs. ökologische Materialien) .....	33
Abbildung 27 - Anteil der Nutzfläche, Raumwärme und Materialität in Prozent je Gebäudetyp für den Indikator „Globales Erwärmungspotential“ im Szenario „Effizienz“ mit Standard-Materialien. ....	34
Abbildung 28 - Anteil der Nutzfläche, Raumwärme und Materialität in Prozent je Gebäudetypologie für den Indikator nicht erneuerbare Primärenergie im Szenario „Effizienz“ mit Standard-Materialien. ....	34
Abbildung 29 - Globales Erwärmungspotential pro Jahr für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA für die Szenarien „Status Quo“, „Business as usual“, „Effizienz - Standard-Materialien“ und „Effizienz - ökologische Materialien“ unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung (Herstellungsprozesse und gespeichertes CO <sub>2</sub> ) inkl. Innenwände, Tiefgaragen und Keller.....	36

Abbildung 30 - Globales Erwärmungspotential pro Jahr für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA für die Szenarien „Status Quo“, „Business as usual“, „Effizienz - Standard-Materialien“ und „Effizienz - ökologische Materialien“ unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung (Herstellungsprozesse und gespeichertes CO <sub>2</sub> ) ohne Innenwände, Tiefgaragen und Keller.....	36
Abbildung 31 – Summe Globales Erwärmungspotential pro Jahr für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA für die Szenarien „Status Quo“, „Business as usual“, „Effizienz“ mit Standard-Materialien und „Effizienz“ mit ökologische Materialien unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung (Summe aus Herstellungsprozessen und gespeichertem CO <sub>2</sub> ) ohne Innenwände, Tiefgaragen und Keller.....	38
Abbildung 32 – Gesamtes Einsparpotential (Herstellungsprozesse und CO <sub>2</sub> -Speicherung) für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA des Globalen Erwärmungspotentials unterteilt in Gebäudebetrieb („Status Quo“ vs. „Effizienz“- Szenario) und Herstellung (Standard- vs. ökologische Materialien) .....	38
Abbildung 33 – Nicht erneuerbare Primärenergie pro Jahr für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA für die Szenarien „Status Quo“, „Business as usual“, „Effizienz - Standard-Materialien“ und „Effizienz - ökologische Materialien“ unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung inkl. Innenwände, Tiefgaragen und Keller.....	39
Abbildung 34 - Nicht erneuerbare Primärenergie pro Jahr für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA für die Szenarien „Status Quo“, „Business as usual“, „Effizienz - Standard Szenario“ und „Effizienz - ökologische Materialien“ unterteilt in Gebäudebetrieb (Raumwärme, Warmwasser und Hilfsstrom) und Herstellung ohne Innenwände, Tiefgaragen und Keller .....	40
Abbildung 35 – Gesamtes Einsparpotential für den Neubau der Gebäudetypen EFH und WHA der nicht erneuerbaren Primärenergie unterteilt in Gebäudebetrieb („Status Quo“- vs. „Effizienz“- Szenario) und Herstellung (Standard- vs. ökologische Materialien) .....	41
Abbildung 36 - Globales Erwärmungspotential Prozess pro Jahr für Neubau und Sanierung des Gebäudetyps EFH im Szenario Effizienz mit Standard-Materialien und mit ökologischen Materialien.	42
Abbildung 37 - Globales Erwärmungspotential Prozess pro Jahr für Neubau und Sanierung des Gebäudetyps WHA im Szenario Effizienz mit Standard-Materialien und mit ökologischen Materialien. ....	43
Abbildung 38 - Globales Erwärmungspotential Summe (inkl. CO <sub>2</sub> -Speicherung) pro Jahr für Neubau und Sanierung des Gebäudetyps EFH im Szenario Effizienz mit Standard-Materialien und mit ökologischen Materialien. ....	44
Abbildung 39 - Globales Erwärmungspotential Summe (inkl. CO <sub>2</sub> -Speicherung) pro Jahr für Neubau und Sanierung des Gebäudetyps WHA im Szenario Effizienz mit Standard-Materialien und mit ökologischen Materialien. ....	44
Abbildung 40 - Nicht erneuerbare Primärenergie pro Jahr für Neubau und Sanierung des Gebäudetyps EFH im Szenario Effizienz mit Standard-Materialien und mit ökologischen Materialien. ....	45
Abbildung 41 - Nicht erneuerbare Primärenergie pro Jahr für Neubau und Sanierung des Gebäudetyps WHA im Szenario Effizienz mit Standard-Materialien und mit ökologischen Materialien. ....	45
Abbildung 42 - Materiallager Gebäudebestand der Gebäudekategorie E (1971 - 1980).....	46

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Flächenverteilung Bestandsgebäude im Jahr 2035 nach Gebäudekategorie und -typ entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Ploss u. a. 2017) .....	11
Tabelle 2 - U-Werte für Bestandsgebäude der Gebäudekategorie E im Jahr 2035 in den Szenarien „Status Quo“, „Business as usual“ und „Effizienz“ der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Ploss u. a. 2017).....	12
Tabelle 3 - Verteilung Energieträger Bestandsgebäude für Heizung und Warmwasser in der Gebäudekategorie E im Szenario „Status Quo“ im Jahr 2035 entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Ploss u. a. 2017) .....	12
Tabelle 4 - Verteilung Energieträger für Heizung und Warmwasser Bestandsgebäude in der Gebäudekategorie E im Szenario „Business as usual“ im Jahr 2035 entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Ploss u. a. 2017) .....	12
Tabelle 5 - Verteilung Energieträger Bestandsgebäude für Heizung und Warmwasser in der Gebäudekategorie E im „Szenario Effizienz“ im Jahr 2035 entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010- 2070“ (Ploss u. a. 2017) .....	12
Tabelle 6 - Flächenverteilung Neubau im Jahr 2035 nach Gebäudekategorie und -typ entsprechend der der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Martin Ploss u. a. 2017) .....	13
Tabelle 7 - U-Werte Neubau (Gebäudekategorie I, J und K) im Jahr 2035 in den Szenarien „Status Quo“, „Business as usual“ und „Effizienz“ entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Ploss u. a. 2017) .....	13
Tabelle 8 - Verteilung Energieträger Neubau (Gebäudekategorie I, J und K) Szenario „Status Quo“ im Jahr 2035 entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Martin Ploss u. a. 2017) .....	13
Tabelle 9 - Verteilung Energieträger Neubau (Gebäudekategorie I, J und K) Szenario „Business as usual“ im Jahr 2035 entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Martin Ploss u. a. 2017) .....	14
Tabelle 10 - Verteilung Energieträger Neubau Szenario „Effizienz“ im Jahr 2035 entsprechend der Studie „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 – 2070“ (Martin Ploss u. a. 2017) .....	14

## Literaturverzeichnis

Austrian Standards. 2018. „ÖNORM EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte“.

baublatt.ch. 2018. „Recyclingbeton als zukunftsfähige Alternative“. baublatt.ch. 1. Juni 2018. <https://www.baublatt.ch/praxis/recyclingbeton-als-zukunftsfahige-alternative>.

baubook GmbH. 2020. „baubook eco2soft - ökobilanz für gebäude - Infoblatt“. [https://www.baubook.info/Download/baubook\\_eco2soft\\_02\\_2020\\_de.pdf](https://www.baubook.info/Download/baubook_eco2soft_02_2020_de.pdf).

GEOMAEHR GmbH. 2018. „Baurohstoffversorgung in Vorarlberg Bedarfsstudie 2018“. Amt der Vorarlberger Landesregierung Abteilung Allgemeine Wirtschaftsangelegenheiten Landhaus, 6900 Bregenz. <https://presse.vorarlberg.at/land/servlet/AttachmentServlet?action=show&id=35783>.

- Gmeiner, Harald. 2018. „Information Ressourceneffizienz“. Energieinstitut Vorarlberg im Auftrag es Amtes der Vorarlberger Landesregierung, Abt. VIa, Fachbereich Energie und Klimaschutz. [https://www.energieinstitut.at/wp-content/uploads/2015/04/REF\\_Information-2018\\_03\\_20\\_org.pdf](https://www.energieinstitut.at/wp-content/uploads/2015/04/REF_Information-2018_03_20_org.pdf).
- IBO, Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH. 2017. „IBO-RICHTWERTE FÜR BAU-MATERIALIEN - Wesentliche methodische Annahmen für die IBO-Richtwerte 2017; Version 3.1“. [https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/materialoekologie/IBO-Richtwerte-2017\\_Methode\\_v31\\_20170929.pdf](https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/materialoekologie/IBO-Richtwerte-2017_Methode_v31_20170929.pdf).
- Österreichisches Institut für Bautechnik. 2015. *OiB-Richtlinie 6 2015 - Energieeinsparung und Wärmeschutz*. [https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie\\_6\\_26.03.15.pdf](https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_26.03.15.pdf).
- Ploss, Martin, Tobias Hatt, Christina Schneider, Thomas Roßkopf, und Michael Braun. 2019. „Modellvorhaben ‚KliNaWo‘ Klimagerechter Nachhaltiger Wohnbau; Monitoringbericht Juli 2019; Beschreibung der Realisierungsvariante/ abgerechnete Kosten / Ergebnisse Monitoring“. Dornbirn: Energieinstitut Vorarlberg. [https://www.energieinstitut.at/wp-content/uploads/2019/08/20190729\\_KliNaWo\\_Monitoringbericht.pdf](https://www.energieinstitut.at/wp-content/uploads/2019/08/20190729_KliNaWo_Monitoringbericht.pdf).
- Ploss, Martin, Tobias Hatt, Rainer Vallentin, und Michael Kern. 2017. „Energieperspektiven Vorarlberg 2010 - 2070; Szenarien zum künftigen Energiebedarf des Wohngebäudeparks ‚Dampferstudie‘“. Dornbirn/München: Energieinstitut Vorarlberg/Vallentin+Reichmann Architekten. [https://vorarlberg.at/web/land-vorarlberg/contentdetailseite/-/asset\\_publisher/qA6AJ38txu0k/content/studie-szenarien-zum-kuenftigen-energiebedarf-des-wohngebäudeparks-vorarlberg?article\\_id=132291](https://vorarlberg.at/web/land-vorarlberg/contentdetailseite/-/asset_publisher/qA6AJ38txu0k/content/studie-szenarien-zum-kuenftigen-energiebedarf-des-wohngebäudeparks-vorarlberg?article_id=132291).
- Sutter, Christoph, und Harald Gmeiner. 2019. „Oekoindex Bilanzgrenze 3 - Projekt zur Erweiterung der Oekoindex-Bilanzgrenze und deren Anwendung in der Bauplanungsphase - Projektbericht“. Energieinstitut Vorarlberg (intern).
- TU-Graz. 2020. „Ersatzneubau“. Digitales Lexikon architektonischer Modebegriffe. 27. April 2020. <http://minilexikon-architektonischer-modebegriffe.tugraz.at/index.php/modebegriffe/ersatzneubau/>.
- Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. 1987. „Our Common Future ‚Brundtland Bericht‘“. [https://www.are.admin.ch/are/de/home/nachhaltige-entwicklung/internationale-zusammenarbeit/agenda2030/uno-\\_-meilensteine-zur-nachhaltigen-entwicklung/1987--brundtlandbericht.html](https://www.are.admin.ch/are/de/home/nachhaltige-entwicklung/internationale-zusammenarbeit/agenda2030/uno-_-meilensteine-zur-nachhaltigen-entwicklung/1987--brundtlandbericht.html).
- Wiedenhofer, Dominik, Willi Haas, und Hanspeter Wieland. 2013. „Vorstudie zur Relevanz des Ressourcenverbrauchs für die Energieautonomie Vorarlbergs 2050“.

## Impressum

**Herausgeber:** Energieinstitut Vorarlberg, Bereich Ökologisch Bauen  
CAMPUS V, Stadtstraße 33, 6850 Dornbirn

**Projektleitung:** Energieinstitut Vorarlberg, Bereich Ökologisch Bauen, Bmst. Harald Gmeiner  
und Mag. Christoph Sutter

**Mitarbeit:** Dipl.-Ing. Katharina Bäuerle, Ing. Patrick Denz, Verena Engstler B.Sc.,  
Magdalena Fink BAS, Mag. Annabelle Garcia Wisser, Dr. Tobias Hatt,  
Dipl.-Ing. Martin Ploss, Ing. Angelika Rettenbacher

Mit finanzieller Unterstützung des Fachbereiches Energie und Klimaschutz im Amt der Vorarlberger  
Landesregierung, DI Christian Vögel, Römerstraße 15, 6901 Bregenz