

SüdSan

Sozialverträgliche und klimazielfunktionale Sanierung
zweier Mehrfamilienhäuser als Modell für die Sanierung
der Südtiroler-Siedlung Bludenz

Themendokumentation

**Ökologische Bewertung mittels Lebens-
zyklusanalyse am Beispiel der Sanie-
rung eines Mehrwohnungshauses**



**Ökologische Bewertung mittels Lebenszyklusanalyse
am Beispiel der Sanierung eines Mehrwohnhauses**

Dornbirn, Dezember 2025

Dr. Tobias Hatt, Energieinstitut Vorarlberg

Ewelina Bammer-Langer, M.Sc. Arch., Energieinstitut Vorarlberg

DI Simon Nussbaumer, Energieinstitut Vorarlberg

Herausgeber:

Energieinstitut Vorarlberg, Fachbereich Energieeffizientes Bauen

CAMPUS V, Stadtstraße 33

6850 Dornbirn, Österreich

Tel. +43 (0)5572 / 31 202-0

info@energieinstitut.at

Zusammenfassung

Die Lebenszyklusanalyse (LCA) dient dazu, die ökologischen Auswirkungen von Gebäuden ganzheitlich zu bewerten. Sie betrachtet alle Lebensphasen – von der Rohstoffgewinnung über Produktion, Bau und Nutzung bis hin zu Rückbau und Entsorgung. Anhand von Kennwerten für Materialien werden Energie- und Ökologiekennzahlen ermittelt, die dann in Zertifizierungen, Förderprogrammen und Ausschreibungen Anwendung finden. In Österreich werden diese Kennwerte für Materialien in der Plattform baubook bereitgestellt.

Für die Gebäudebewertung ist in Österreich der Oekoindex (OI3) weit verbreitet. Er berücksichtigt die drei Indikatoren

- CO₂-Äquivalente als globales Erwärmungspotential (GWP)
- Nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT)
- Versauerungspotenzial (AP).

In vorliegendem Bericht werden vier Sanierungsvarianten, vier Varianten eines Ersatzneubaus sowie der Vergleich zwischen Sanierung und Ersatzneubau am Beispiel eines real existierenden Mehrwohnungshauses – des großen SüdSan-Gebäudes¹ - betrachtet. Bei den Sanierungsvarianten schneiden – je nach eingesetzten Baustoffen – die Varianten unterschiedlich gut ab. Es zeigt sich, dass der Einsatz biogener Dämmstoffe eine Reduktion, also Verbesserung um ca. 20 OI3 Punkte bringt (ca. 10%). Bei den Varianten Ersatzneubau ergibt sich ein ähnliches Bild. Der Einsatz biogener Baustoffe (Holzständer/Zellulose) bringt eine Verbesserung gegenüber der Variante Stahlbeton mit EPS-Dämmung von ca. 100 OI3 Punkten (ca. 25%). Beim Vergleich von energetischen Hüllqualitäten – entsprechend Bautechnikverordnung gegenüber Passivhaus-Standard – zeigt sich, dass die bessere Hüllqualität eine leichte Erhöhung der OI3 Punkte von ca. 35 (ca. 13%) bedeutet.

Vergleicht man die Sanierung und den Ersatzneubau in energetisch ähnlicher hoher Qualität, sieht man, dass die Sanierungsvarianten, egal mit welcher Materialität, gegenüber einem Stahlbeton-Neubau ca. 50% niedrigere OI3 Punkte aufweisen. Vergleicht man sie mit einem Holzrahmenbau mit Zellulosedämmung, sind die Werte immer noch ca. 33% niedriger.

Wird das GWP für die Errichtung und die Sanierung zusammen mit dem Betrieb auf 50 Jahre bewertet, ergibt sich, dass das unsanierte Gebäude die höchsten Emissionen verursacht – sowohl mit 100% Elektroheizungen als auch mit 50% Holzöfen und 50% Elektroheizungen, also so, wie das Gebäude vor der Sanierung betrieben wurden. Die Sanierung in hoher thermischer Qualität weist die niedrigsten GWP-Werte auf, auch niedriger als der Ersatzneubau, welcher aber trotzdem noch geringere Emissionen hat als die Variante “Weiter so wie bisher”, das heißt unsaniert.

¹ Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass das Gebäude mit 11 Wohneinheiten ein neues Dachgeschoß erhielt und es sich somit um eine Kombination aus Sanierung und Erweiterung handelt.

Inhalt

Zusammenfassung	3
1 Lebenszyklusanalyse zur Gebäudebewertung	5
1.1 Ökobilanzen zur Quantifizierung von Umweltauswirkungen	5
1.2 Oekoindex in Österreich	7
1.3 Ausblick: Zukünftige OIB Richtlinie 7	8
2 Beispielanalyse Mehrwohnungshaus	9
2.1 Ausgangslage, Bestand	9
2.2 Aufbau der Ausführungs- und Vergleichsvarianten.....	11
2.3 Methodik: Oekoindex OI3 nach Leitfaden V. 5.0.....	17
2.4 Ökobilanz nach OI3 (mit Haustechnik, ohne C1-C4)	22
2.5 Ökobilanz inkl. C1 – C4 (PENRT und GWP, ohne Haustechnik)	29
2.6 Vergleich Sanierung und Ersatzneubau.....	32
2.7 Errichtung und Betrieb.....	35
3 Schlussfolgerungen.....	37
Abkürzungen	39
Abbildungen.....	40
Tabellen.....	41
Literatur.....	42

1 Lebenszyklusanalyse zur Gebäudebewertung

1.1 Ökobilanzen zur Quantifizierung von Umweltauswirkungen

Für die Bewertung der ökologischen Auswirkungen von Produkten oder Gebäuden werden Ökobilanzen erstellt. Dabei wird, anhand verschiedener Indikatoren, unter anderem der Energiebedarf sowie die Entstehung von Treibhausgasemissionen in den unterschiedlichen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes – von der Materialproduktion über die Errichtung bis hin zu Rückbau und Entsorgung (siehe Abbildung 1) – untersucht.

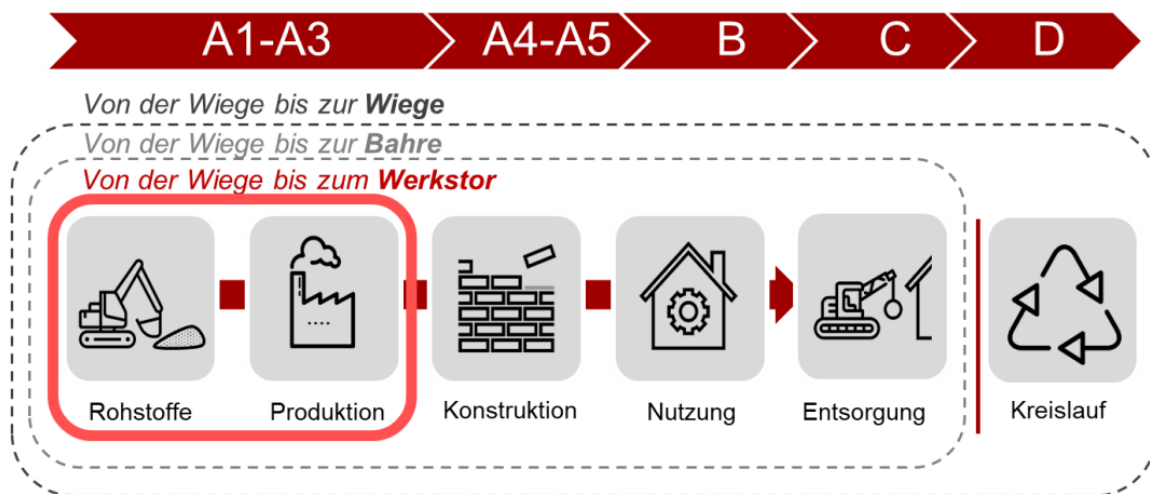


Abbildung 1: Lebenszyklusphasen mit Bezeichnungen der Systemgrenzen im allgemeinen Sprachgebrauch [1].

Grundsätzlich gilt, je weniger Materialien und Baustoffe für die Erstellung des Gebäudes benötigt werden, desto geringer wird die Umwelt und das Baubudget belastet. Bei der Baustoffwahl sind Produkte empfehlenswert, die wenig Energie für ihre Herstellung benötigen. Das bedeutet, dass Materialien mit hohem Herstellungsaufwand wie beispielsweise Metalle, Stahlbeton, Kunststoffe, Abdichtungsbahnen etc. auf ein Minimum reduziert werden bzw. nur dann verwendet werden, wenn die technischen Vorteile deutlich überwiegen oder keine andere Umsetzungsmöglichkeit besteht. Besonders geringe ökologische Belastungen weisen meist Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen auf. Sie können beispielsweise bei der Tragkonstruktion, der Wärmedämmung, der Fassade, im Innenraum verwendet werden. Solche Materialien sind beispielsweise Holz, Schilf, Stroh, Flachs, Hanf oder Schafwolle. Diese Baustoffe sind nicht nur umweltfreundlich, sie unterstützen auch oft das gesunde Innenraumklima [2].

Damit eine Lebenszyklusbilanz eines Gebäudes erstellt werden kann, werden Daten zu den einzelnen verwendeten Materialien benötigt. Diese sind entweder generische Werte für eine Baustoffkategorie wie z.B. Holzfaserdämmung oder speziell für ein bestimmtes Produkt von einem bestimmten Hersteller ermittelte Werte aus einer EPD.

Typ-III Umwelt-Produktdeklaration oder Environmental Product Declaration (EPD):

Die meisten Bauprodukte werden zusammen in einem „System“ – dem Gebäude – eingesetzt. Eine Deklaration für Bauprodukte soll helfen, ein ganzes Gebäude zu bewerten. Bei gleichen Anforderungen an die Funktionalität und gleichen Rahmenbedingungen können EPD-Daten auch auf Produktebene verglichen werden. Die Deklaration macht Aussagen zum Energie- und Ressourceneinsatz und in welchem Ausmaß ein Produkt zu Treibhauseffekt, Versauerung, Überdüngung, Zerstörung der Ozonschicht und Smogbildung, Landverbrauch oder anderen Umweltauswirkungen beiträgt. Außerdem werden Angaben zu technischen Eigenschaften gemacht, die für die Einschätzung der Performance des Bauproduktes im Gebäude benötigt werden, wie die Produktlebensdauer, Wärmeleiteigenschaften, Schallschutz oder den Einfluss auf die Qualität der Innenraumluft. Ressourcenverbrauch und Emissionen in die Umwelt werden herstellereinspezifisch über den gesamten Herstellprozess (Von der Wiege bis zum Werkstor) aufgenommen. Szenarien ab Werkstor (Nutzungsphase im Gebäude sowie die "End-of-Life"-Phase (Recycling? Thermische Verwertung? Deponie?) werden bestmöglich modelliert. Die Sachbilanzdaten der Hersteller werden mit Faktoren multipliziert, um die bekannten Wirkkategorien abbilden zu können (z.B. wird der Energieverbrauch in CO₂-Äquivalenten abgebildet). Der resultierende Beitrag zum Treibhauseffekt, zur Überdüngung oder Versauerung von Gewässern kann mit der Ökobilanzmethodik quantifiziert und bewertet werden. Ökobilanzen liefern also eine systematische und standardisierte Datengrundlage, um im „Baukastensystem“ aus Deklarationen einzelner Bauprodukte eine ökologische Bewertung eines Bauwerks zu erstellen. In einer Lebenszyklus-Analyse wird die ganze Lebensdauer des Gebäudes, die Bauphase, die Nutzungsphase mit möglichen Umnutzungen sowie Abriss und Entsorgung berücksichtigt und es kann der Beitrag der Bauprodukte zur Energieeffizienz oder zu weiteren Aspekten nachhaltiger Bewirtschaftung eines Gebäudes dargestellt werden [3].

In Österreich werden die EPDs einzelner Produkte sowie auch generische Werte im baubook gelistet und können von dort z.B. in die Energieausweisprogramme importiert und somit vom Planer verwendet werden. baubook ist ein Webportal für Bauprodukte, Bauteile und Tools, das ökologisches und gesundes Bauen vereinfacht. Die Webplattform liefert validierte Baustoffdaten für die Berechnung von Energie- und Ökologiekennzahlen. baubook erleichtert die Nachweisführung im Rahmen von ökologischen Ausschreibungen, Gebäud-ezertifizierungen und Fördersystemen [4].

Mit den Materialkennwerten kann dann die Lebenszyklusbilanz für Gebäude erstellt werden. Die prinzipielle Vorgehensweise ist in verschiedenen internationalen und nationalen Normen und Regelwerken beschrieben. In Österreich ist für die Gebäudebewertung der Oekoindex (OI3) in Zertifizierungssystemen und Förderungen verbreitet [2] (siehe Kapitel 1.2). In dem Projekt outPHit wurde vom Passivhausinstitut das Manufacturing Energy Evaluation Tool (MEET) mitentwickelt [5]. In der Schweiz ist beispielsweise das SIA-Merkblatt 2032 „graue Energie von Gebäuden“ seit 2010 verfügbar und hat zum Ziel, dass die Berechnungen der grauen Energie auf einheitlichen Verfahren und Datenquellen beruhen [6].

1.2 Oekoindex in Österreich

Der Oekoindex (OI3) soll in der Materialoptimierung und Gebäudeplanung verwendet werden und dabei den nachhaltigen Einsatz von Ressourcen unterstützen. Die Ersteinführung war im Jahr 2003 in der Neubauförderung in Salzburg und findet seitdem in zahlreichen Wohnbauförderungen der Länder, klimaaktiv und Kommunalen Gebäudeausweis (Vlbg.) Anwendung.

Die richtige Baumaterialwahl wird immer wichtiger, da der Energieeinsatz für die Herstellung eines Gebäudes ebenso berücksichtigt werden muss, wie der Aufwand für die Beheizung während 50 Jahren. Umweltgerechtes Bauen berücksichtigt daher bestmöglichen Wärmeschutz, erneuerbare Energieträger und ökologische Baustoffe. Die ökologische Baustoffwahl entlastet die Umwelt und die Geldbörse nachhaltig. Der Oekoindex 3 (OI3) bewertet die ökologische Qualität der Materialien und der Gebäudehülle anhand folgender Umweltkategorien: CO₂-Äquivalente (CO₂eq, siehe Abkürzungsverzeichnis), Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) und Versauerungspotential (AP). Dabei werden diese jeweils zu 1/3 gewichtet. Der Oekoindex wird auf eine Bezugsfläche laut OI-Leitfaden bezogen. Die ökologische Qualität eines Bauproduktes oder Gebäudes wird anhand von ökologischen Belastungspunkten angegeben. Dabei bedeuten Klasse A eine sehr geringe und Klasse E eine sehr hohe ökologische Belastung. Der Oekoindex 3 kann über die Plattform baubook eco2soft sowie diverse Berechnungsprogramme ermittelt werden. Die Berechnung kann je nach Bilanzgrenze ohne Mehraufwand im Zuge der Erstellung des Energieausweises erfolgen [2].

Wie der OI3 berechnet wird, ist in Berechnungsleitfäden beschrieben. Die Leitfäden werden vom Österreichischen Institut für Bauen und Ökologie (IBO) in Wien herausgegeben. Der aktuellste ist der OI-Leitfaden Version 5.0 - Stand 09.2023 [7].

1.3 Ausblick: Zukünftige OIB Richtlinie 7

Über die OIB Richtlinien und deren Umsetzung in den Ländern gibt es baurechtliche Verpflichtungen. Bisher gibt es in Österreich für die Lebenszyklusbilanzierung von Bauwerken keinen baurechtlichen Hintergrund. Dies wird sich mit der OIB Richtlinie 7 (OIB RL-7) zukünftig ändern. Die OIB-Richtlinie 7 wird erstmals Anforderungen an die Nachhaltigkeit von Gebäuden formulieren.

Ein zentrales Element ist die Bewertung des Lebenszyklus-Treibhauspotenzials (Global Warming Potential, GWP) – also jener Kennzahl, die die Klimawirkung eines Gebäudes und seiner darin enthaltenen Baustoffe und -materialien über seine gesamte Lebensdauer hinweg beschreibt. Der europäische Rahmen wird durch die EU-Gebäuderichtlinie (EPBD 2024/1275) und die neue EU - Bauprodukteverordnung (CPR 2024) gespannt [8].

Für die siebte Grundanforderung der EU-Bauproduktenverordnung (EU) Nr. 305/2011 „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ besteht bislang kein europäisches Grundlagendokument. Die Grundanforderung fordert, dass Bauwerke so gestaltet, errichtet und rückgebaut werden, dass Ressourcen geschont werden – durch Wiederverwendbarkeit, Recyclingfähigkeit, Dauerhaftigkeit und den Einsatz umweltfreundlicher Materialien. Die geplante OIB-Richtlinie 7 knüpft an europäische und nationale Strategien zur Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft an. Bis 2027 soll die Ausweisung des Treibhauspotenzials (GWP) im Rahmen der 7. Grundanforderung in nationales Recht überführt werden. In mehreren europäischen Ländern (u. a. Niederlande, Frankreich, Schweden, Dänemark und Norwegen) ist dies bereits heute Teil der geltenden Bauvorschriften [9].

Die nächsten Schritte für die Einführung sehen wie folgt aus [8]:

- bis Ende 2025: Veröffentlichung der delegierten Rechtsakte der EU
- 2026: Entwurf und Begutachtung der OIB-Richtlinie 7
- 2027: Beschlussfassung durch die OIB-Generalversammlung
- ab 2028 (Nutzfläche > 1000m²) bzw. ab 2030 (alle): verpflichtende Offenlegung des Lebenszyklus-Treibhauspotenzials in Energieausweisen für Neubauten
- ab 2030: Zielvorgaben für neue Gebäude und Einführung von GWP-Grenzwerten

2 Beispielanalyse Mehrwohnungshaus

2.1 Ausgangslage, Bestand

Das Mehrwohnungshaus in der St. Antoniusstraße 12a wurde etwa 1950 errichtet und gehört damit zu den jüngeren Gebäuden der Bludenzer Südtiroler-Siedlung. Es handelt sich beim Bestandsgebäude um einen dreigeschossigen Baukörper mit Unterkellerung und Dachgeschoss. Die erdanliegenden Wände im Untergeschoss bestehen aus ca. 30 cm starken Stampfbeton bzw. unbewehrtem Normalbeton, die oberirdischen Außenwände wurden mit rund 28 cm starken Splittbetonsteinen (Vibrosteine, Abbildung 2.) errichtet und mit einem groben Putz versehen. Die Zwischendecken und teilweise der Kellerboden (z.B. im Bereich der Siege) sind in Beton bzw. mit Betonplatten ausgeführt worden, während viele unterkellerte Bereiche lediglich über einen gestampften bzw. verdichten Erdboden verfügen. Die Zwischenwände bestehen hingegen aus einem teilweise ausgemauerten Holzriegelwerk. Der



Dachstuhl wurde mit 5x18cm starken Holzsparren, einer Quer-Lattung und Biberschwanz-Dachziegeln (Abbildung 3.) gebaut. Ebenfalls aus Holz ist die oberste Geschossdecke zum unkonditionierten Dachraum ausgeführt worden. Die Holzbalkendecke wurde nachträglich im Zuge der Errichtung einer zusätzlichen Wohnung im Dachgeschoss oberseitig mit einer Mineralwolldämmung versehen. Die restlichen Bauteile wie die Außenwände und die Kellerdecke sind hingegen mehrheitlich nicht thermisch gedämmt.

Die Holzfenster mit Zweischeibenverglasung wurden bereits vor ca. 40 Jahren einmal ausgetauscht. Die Heizung und die Warmwasserbereitung erfolgten dezentral mit Holz-Einzelöfen, elektrischen Direktheizsystemen und Elektroboilern.

Abbildung 2: 1956 Willi Amann, Maurer bei der Arbeit am Haus St. Antoniusstraße Nr. 20. Die Vermutung, dass im Haus 12a Vibrosteine oder Splittbetonsteine eingesetzt wurden, lässt sich auf jenes Foto aus dem Buch „Die Bludenzer Südtiroler-Siedlung“ [10] stützen. Dort sieht man, dass das Haus Nr. 20 mit vermutlich so einer Art Stein gemauert wurde. (Foto: Fotosammlung Ursula Gießmann, Bludenz)



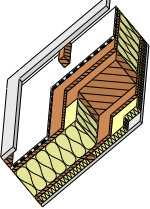
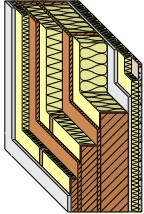
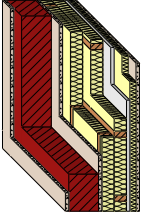
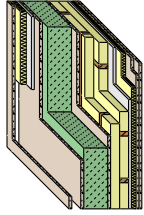
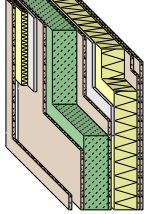
Abbildung 3: Dachstuhl mit Holzsparren. Dachlattung und Biberschwanzziegeln (Foto: Energieinstitut Vorarlberg)

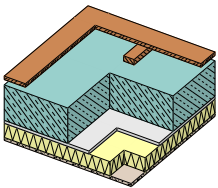
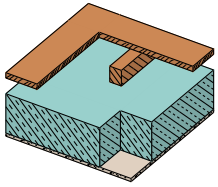
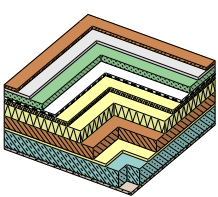
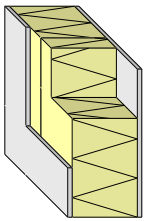
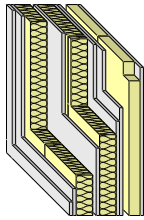
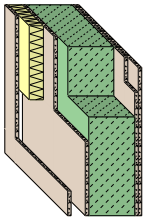
Im Zuge der Sanierung wurden die Außenwände thermisch saniert, mit einem Flächenheizsystem zur Bauteilaktivierung versehen (Siehe Themendokumentation: Simulation, Realisierung und Monitoring einer nachträglichen Bauteilaktivierung als minimalinvasives Wärmeabgabesystem in der Sanierung) und neu verputzt. Der Dachstuhl und die Giebelwände wurden komplett abgetragen und das neue Dachgeschoss mit zwei Wohnungen in Holzbauweise ausgebaut. Neben den Außenwänden wurden auch die Kellerwände, die Zwischendecke zum Keller und die oberste Geschosdecke zum Dachgeschoss thermisch saniert. Näheres zum Aufbau der Sanierungsvarianten unter 2.2.1.



Abbildung 4: Gebäude vor und nach der Sanierung (Foto links: Energieinstitut Vorarlberg, Foto rechts: Dietmar Walser)

Tabelle 1: Bauteilaufbauten der Ausführungsvariante Kreuzlagen Mineralwolle (Grafiken: baubook eco2soft)

	Bauteil	Bauteilaufbau
	AD01 Dachschräge	Gipskartonplatte Installations-Lattung mit Mineralwolle OSB-Platten Sparren 12/28 mit Zellulosedämmung (28cm) MDF-Platte Unterdachbahn Lattung u. Konter-Lattung Tondachziegel
	AW02 Giebelwand	Gipskartonplatte KVH mit Holzfaserdämmung und OSB-Platte Lattung mit Zellulose (24cm) Feuerschutzplatte Holzfaserdämmplatte Grundputz Feinabrieb
	AW01 Luftberührte Außenwand	<i>Splitt-Betonziegel</i> Lattung m. Mineralwolle (24cm) Feuerschutzplatte Holzfaserdämmplatte Grundputz und Feinabrieb
	AW04 Luftberührte Außenwand -Sockel	EPS-Innendämmung (8cm) <i>Stampfbeton</i> Lattung m. Mineralwolle (24cm) Feuerschutzplatte Holzfaserdämmplatte Grundputz und Feinabrieb
	AW05 Erdberührte Außenwand	<i>Stampfbeton</i> Bitumenvoranstrich Elastomer-Bitumenbahn XPS-Wärmedämmung (Oberirdisch 30cm/ unterirdisch 10cm)

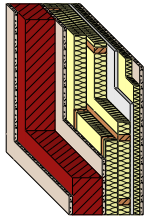
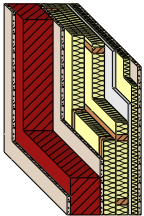
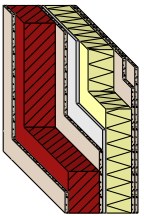
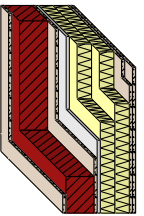
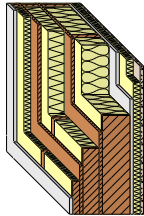
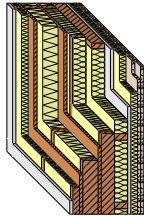
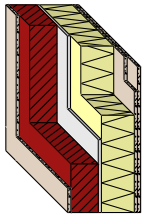
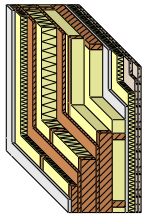
	Bauteil	Bauteilaufbau
	ID01 Decke zu Kellergeschoss	<i>Stahlbeton</i> PUR/PIR Dämmplatten 8cm Putz
	ID02 Zwischendecke	<i>Riemenboden</i> <i>Stahlbeton</i> <i>Putz</i>
	ID03 Decke zu Dachgeschoss	<i>Stahlbeton</i> Mineralwolle BSH-Massivholzdecke EPS-Schüttung und EPS-Trittschalldämmung Zementestrich Parkett
	Innenwände nichttragend (im Dachgeschoss)	Trockenbau Holzfaserdämmung oder Mineralwolle (Wohnungstrennwände)
	Innenwand tragend (im Dachgeschoss)	Gipskartonplatte und OSB-Platte Holzständer mit Holzfaserdämmung (15cm) Gipskartonplatte und OSB-Platte
	Innenwände Kellergeschoss	<i>Stampfbeton</i> PUR/PIR als Flankendämmung (8cm) Kalkzementputz
	Fenster	Holzrahmen Fichte und Dreifachwärmeschutzglas (Argon)

Bei drei weiteren Vergleichsvarianten wurden Änderungen primär in der Wahl des Wärmedämmstoffs in der Außenwand und der Dachkonstruktion durchgeführt. Es wurde eine Variante (V.2) mit Einsatz von Stroh statt Mineralwolle und Zellulose, sowie zwei Varianten (V.3 und V.4) mit Außenwänden im Wärmedämmverbundsystem, jeweils mit EPS- und Holzfaserdämmung mit der Ausführungsvariante (V.1) verglichen.

Alle Bauteile der untersuchten Varianten haben gleiche/ähnliche U-Werte (Außenwand 0,14 W/m²K) und erreichen damit den gleichen energetischen Standard (EnerPHit)

Folgende Tabelle zeigt die grundlegenden Unterschiede der Varianten in den jeweiligen Bauteilen.

Tabelle 2: Vergleich ausgewählter Bauteilaufbauten zwischen den Vergleichsvarianten (Grafiken: bau-book eco2soft)

Bauteil	Variante 1 (Ausführung)	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Außenwand				
	Kreuzlagen Mineralwolle (24cm)	Kreuzlagen Stroh (30cm)	WDVS EPS (24cm)	WDVS Holzfaser (30cm)
Giebelwand				
	Holzrahmen mit Holzweichfaser (14cm) und Zellulose 24cm)	Holzrahmen mit Holzweichfaser (14cm) und Stroh (24cm)	Ziegel und WDVS EPS (30cm)	Holzrahmen mit Holzweichfaser (14cm) und Zellulose (24cm)
Dachschräge	Sparren mit Zellulose	Sparren mit Stroh	Sparren mit Zellulose	Sparren mit Zellulose

2.2.2 Aufbau der Ersatzneubauvarianten

Als Alternative zur Sanierung der Gebäude der Südtiroler-Siedlung Bludenz kommt prinzipiell auch ein Abriss einzelner Gebäude mit Errichtung von Ersatzneubauten in Frage. Als Grundlage für den Vergleich der Varianten Sanierung + Erweiterung sowie Ersatzneubau im Hinblick auf ihre Ökokennzahlen wird angenommen, dass der Ersatzneubau in der gleichen Kubatur errichtet wird, wie das sanierte und erweiterte Gebäude.

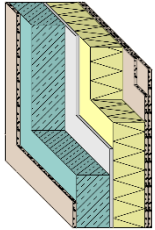
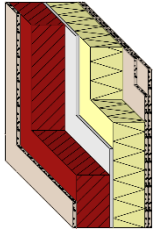
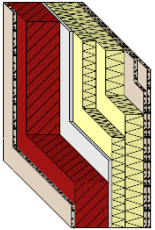
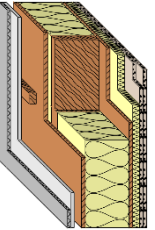
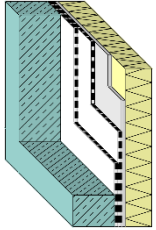
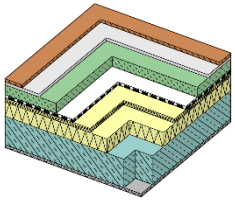
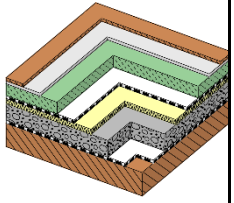
Die Ersatzneubauvarianten wurden jeweils in vier gängigen Bauweisen konzipiert. Die Außenwände der Variante 5 sind in Stahlbeton und EPS als Wärmedämmung ausgeführt. Bei den Varianten 6 und 7 besteht die Primärkonstruktion der Außenwände aus Ziegel

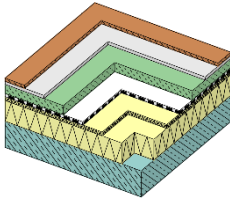
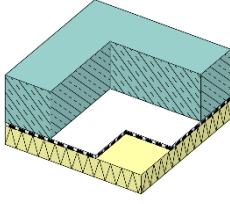
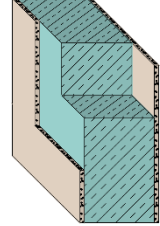
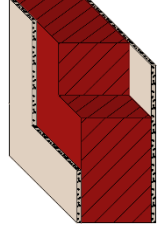
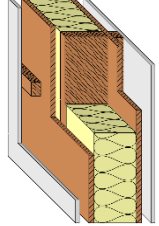
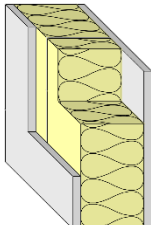
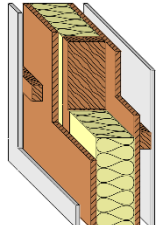
und ist jeweils mit EPS und Holzfaserdämmung gedämmt worden. Die Variante 8 hingegen stellt eine Holzrahmenkonstruktion mit Zellulose dar.

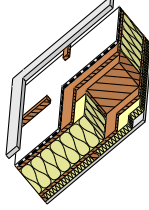
Neben der unterschiedlichen Konstruktionsweisen wurden die Varianten jeweils nach den Vorgaben der Bautechnikverordnung (BTV) und nach dem Passivhausstandard (PH) bilanziert.

Folgend eine Gegenüberstellung der Aufbauten der untersuchten Ersatzneubauvarianten (Kursiv: die Stärken der Wärmedämmschichten der jeweiligen energetischen Standards BTV und PH)

Tabelle 3: Vergleich der Bauteilaufbauten der untersuchten Ersatzneubauvarianten (Grafiken: bau-book eco2soft)

Bauteil	Variante 5	Variante 6	Variante 7	Variante 8
Außenwand <i>BTV:</i> <i>0,34 W/m²K</i> <i>PH:</i> <i>0,15 W/m²K</i>	 Stahlbeton und WDVS EPS <i>BTV:10cm</i> <i>PH: 24cm</i>	 Ziegel und WDVS EPS <i>BTV:8cm</i> <i>PH: 24cm</i>	 Ziegel und Holz- weichfaser <i>BTV:10cm</i> <i>PH: 24cm</i>	 Holzrahmen und Zellulose <i>BTV:18cm</i> <i>PH: 24cm</i>
Außenwand erdberührt	 Stahlbeton XPS			
Zwischen- decke	 Stahlbeton EPS			 Brettsper Holz mit Holzfaser und Sand-Kies Schüttung

Bauteil	Variante 5	Variante 6	Variante 7	Variante 8
<p>Zwischen- decke Keller</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Stahlbeton EPS <i>BTV:12cm, PH: 16cm</i></p>			
<p>Boden erdberührt</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Stahlbeton XPS</p>			
<p>Innenwände tragend</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Stahlbeton (24cm) verputzt</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Ziegel (24cm) Verputzt</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Holzrahmen Zellulose (18cm) zwi- schen OSB und Gipskartonplat- ten</p>	
<p>Innenwände nichttragend</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Glaswolle (12cm) zwischen Gipskartonplatten</p>		<div style="text-align: center;">  </div> <p>Holzrahmen Zellulose (14cm) zwi- schen OSB und Gipskartonplat- ten</p>	

Bauteil	Variante 5	Variante 6	Variante 7	Variante 8
Dach				
	Sparren mit Zellulosedämmung (28cm)			
Fenster	Holzrahmen Fichte und Dreifachwärmeschutzglas			

2.3 Methodik: Oekoindex OI3 nach Leitfaden V. 5.0

Der Oekoindex OI3 ist zurzeit einer der in Österreich gängigsten Indikatoren zur Ökobilanzierung eines Bauteils oder Gebäudes. Er wurde 2003 vom Österreichischen Institut für Bauen und Ökologie (IBO) entwickelt und lässt sich sowohl in den meisten Energieausweisprogrammen als auch über das auf der baubook-Deklarationsplattform integrierte Berechnungstool eco2soft ermitteln. Beim Oekoindex OI3 handelt es sich um eine dimensionslose Zahl, die aus den Berechnungsergebnissen für die Teilindikatoren Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT in MJ), Globales Erwärmungspotential (GWP in kg CO₂ eq.) und Versauerungspotential (AP in kg SO₂ eq.) ermittelt wird. Die drei Teilindikatoren werden bei der Berechnung des OI3 zu je einem Drittel gewichtet.

. Die Berechnung des OI3 über eco2soft ermöglicht zusätzlich das Ausweisen weiterer bauökologischer Indikatoren (z.B. Primärenergiebedarf erneuerbar, GWP-Speicher, ...)

2.3.1 Bilanzgrenzen

Der Oekoindex OI3 lässt sich unter Berücksichtigung unterschiedlicher räumlicher Bilanzgrenzen berechnen. Diese Bilanzgrenzen definieren, ob und welche Bauteile und Bauteilschichten sowie Lebenszyklusphasen und Lebensdauern der Materialien in der Berechnung berücksichtigt werden. So werden bei der Bilanzgrenze 0 nur Elemente der thermischen Gebäudehülle (gleich der im Energieausweis erfassten Bauteile) und die Zwischendecken betrachtet. Mit steigender Ziffer erweitert sich die Anzahl der berücksichtigten Bauteilelemente. Die derzeit in der OI3 Berechnung gängigsten Bilanzgrenzen sind BG1 (thermische Gebäudehülle + Zwischendecken) und BG3 (thermische Gebäudehülle + Zwischendecken, Innenwände + Bauteile nicht Konditionierter Räume + Nutzungsdauern). In beiden Fällen werden die LCA-Phasen A1-A3 (Herstellung), ab BG3 die Phase B4 (Ersatz, für BG1 optional) betrachtet.

Die Bilanzgrenze 5, die eine EU-Taxonomie-konforme Bilanzierung abdeckt, umfasst zusätzlich alle offenen Erschließungsbereiche sowie die Gebäudetechnikkomponenten und die LCA-Phasen C1-C4 (Entsorgung). Derzeit ist eine Berechnung der BG5 inkl. Haustechnik und Entsorgungsphase aufgrund der fehlenden Module C1-C4 bei den Default-Werten der Haustechnikkomponenten über baubook eco2soft nicht möglich.

2.3.2 Betrachtungszeitraum und Nutzungsdauern

Ab Bilanzgrenze BG3 wird ein Betrachtungszeitraum für die Berechnung definiert. Zurzeit ist dieser bei Wohngebäuden auf 50 Jahre gesetzt. Innerhalb dieses Betrachtungszeitraumes werden die Austauschzyklen der verwendeten Baumaterialien berücksichtigt, die wiederum durch die Nutzungsdauern definiert sind. So haben beispielsweise Elemente der Tragkonstruktion eine längere Nutzungsdauer als Dämmstoffe, Putze oder Bodenbeläge. Eine hohe Häufigkeit des Austausches einer Bauteilschicht (dargestellt über die Phase B4) wirkt sich dementsprechend negativ auf die Ökobilanz aus. Gebäudetechnikkomponenten haben laut OI-Leitfaden eine Nutzungsdauer von 20 bzw. 50 Jahren.

Konstruktion	Beschreibung	Nutzungsdauer
Primärkonstruktion	Tragkonstruktion	100 Jahre
Sekundärkonstruktion	alle Konstruktionsschichten außer : Fenster, WDVS, Gebäudeabdichtungen/Folien, Bodenbeläge und Haustechnikkomponenten	50 Jahre
Fenster	Verglasungen, Rahmen, Fensterkomponenten	35 Jahre
Wärmedämm-verbundsysteme (inkl. Putz, Klebespachtel, Armierungsgewebe)	Wärmedämmverbundsysteme aus MW- Putzträgerplatten, EPS-F, Mineralschaumplatten, Korkdämmplatten, Hanfdämmplatten, etc.	35 Jahre
Putze	Putze inkl. Untergründe	35 Jahre
Abdichtungen / Folien: 35a	Alu-Bitumendichtungsbahnen, Alu-Dampfsperre, Bitumen, Bitumenanstrich, Bitumenpappe, etc.	35 Jahre
Abdichtungen / Folien: 25a	Baufolien aus Kautschuk (EPDM), PE- und PVC-Dichtungsbahnen, Baupapier, sonstige Abdichtungen ausgenommen bituminöse Abdichtungen, metallkaschierte Folien, etc.	25 Jahre
Bodenbeläge: 50a	Vollholzböden, Massivparkett, keramische Fliesen, Naturstein, Kunststein, etc.	50 Jahre
Bodenbeläge: 25a	Mehrschichtparkett, Laminatböden, Linoleum, PVC-Bodenbelag, Polyolefin-Bodenbelag auf Basis von PE und PU, Gummi-Bodenbelag, Gummi-Noppenbelag, etc.	25 Jahre
Bodenbeläge: 10a	Kork, Korkment, textile Bodenbeläge, etc.	10 Jahre
Boden- und Wandbeschichtungen	Estrichbeschichtungen, Lacke, Wandfarben, Tapeten, etc.	10 Jahre
Tertiärkonstruktion	Technische Gebäudeausrüstung TGA (abhängig von Komponenten)	20 bzw. 50 Jahre

Abbildung 6: Nutzungsdauern der jeweiligen Gebäudekomponenten nach OI-Leitfaden v.5.0.

2.3.3 Sanierung und Neubau

Die Ermittlung des OI3 unterscheidet sich für Sanierungen und Neubauten. Erfolgt bei Sanierungen die Berechnung ohne Nutzungsdauern (z.B. bei BG1), so wird das Alter des Gebäudes über ein Abschreibungsmodell berücksichtigt. Damit werden beispielsweise die Bestandsbauteile eines 80-jähriges Gebäudes nur zu 25% (pauschaler Sockelbetrag für Entsorgung) berechnet.

Erfolgt die Berechnung des OI3 mit Berücksichtigung der Nutzungsdauern (ab BG3), so werden die Phasen A1-A3 (Herstellung) für die Bestandsbauteile nicht mitberechnet. Lediglich der Ersatz (B4) etwaiger Bauteilschichten wird auch bei Bestandsbauteilen betrachtet.

Da nachfolgend alle Berechnungen im Rahmen dieser Studie unter Berücksichtigung der Nutzungsdauern erfolgte, werden Bestandsbauteile in der Herstellungsphase nicht mitbilanziert.

2.3.4 Auswirkung der Bilanzgrenzen auf die Berechnung

Die Wahl der Bilanzgrenze hat einen wesentlichen Einfluss auf die Werte der Teilindikatoren und auf die OI3-Punktezah. Dies zeigt die folgende Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse nach Bilanzgrenze BG1, BG3 und BG5, jeweils für den Oekoindex OI3 sowie die totalen und biogenen GWP-Anteile:

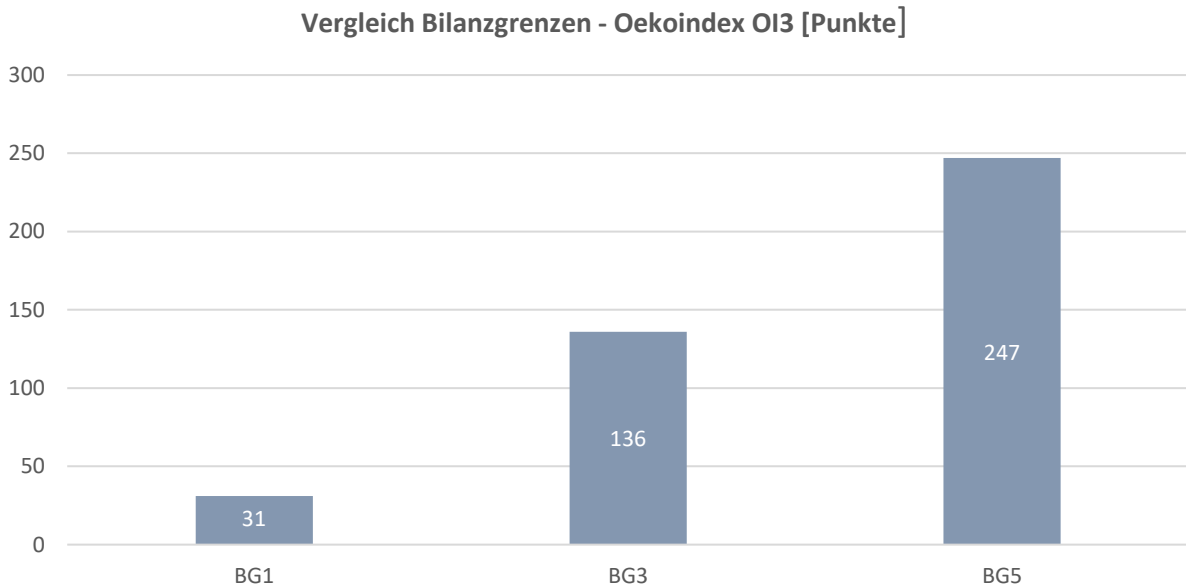


Abbildung 7: Vergleich der Auswirkung der Bilanzgrenze auf die Oekoindex OI3 Punktezah (Berechnung erstellt mit baubook eco2soft, LCA Phasen A1-A3, B4, mit Haustechnik)

Die Betrachtung nach Bilanzgrenze BG1 hat mit 31 Punkten eine bedeutend niedrigere Punktezah gegenüber BG3 (136 Punkte) und BG5 (247 Punkte). Dies lässt sich einerseits auf die geringere Anzahl der erfassten Bauteile und Bauteilschichten zurückführen. Andererseits werden ab Bilanzgrenze BG3 die Nutzungsdauern der Bauteilschichten mitberücksichtigt. Ab BG5 wird zusätzlich die Gebäudetechnik betrachtet, die sich ebenfalls auf die Höhe der OI3-Punkte auswirkt.

Für die Bewertung des OI3, werden - je nach Bilanzgrenze - unterschiedliche Justierungen verwendet. So fällt das Gebäude mit einem OI3 von 136 Punkten mit Bilanzgrenze 3 in die Klasse A, während die gleiche Punktesumme in der Bilanzgrenze 1 eine Einstufung in die deutlich schlechtere Klasse E bedeuten würde. Für die Bilanzgrenze 5 gibt es nach OI-Leitfaden v. 5.0 noch keine Justierungsvorschlag.

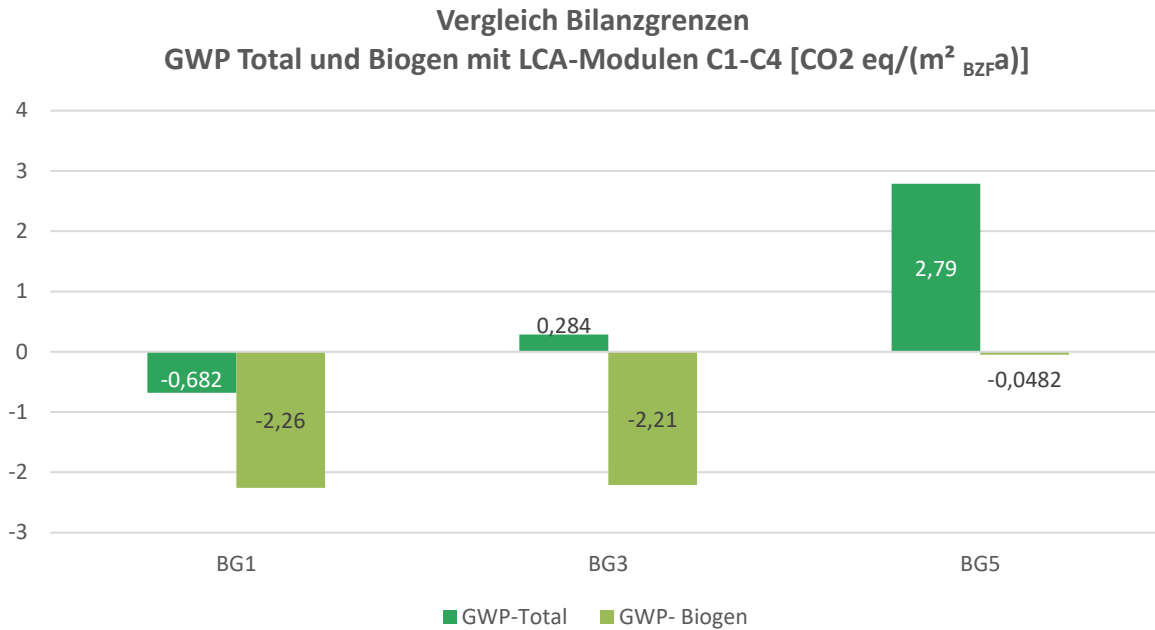


Abbildung 8: Vergleich der Auswirkung der Bilanzgrenze auf das Globale Erwärmungspotential GWP-Total (Berechnung erstellt mit baubook eco2soft, ohne Haustechnik, LCA Phasen A1-A3, B4, C1-C4, ohne Haustechnik)

Auch bei der Auswertung des Globalen Erwärmungspotentials (GWP) gibt es zwischen den Bilanzgrenzen Unterschiede. Hier wird beispielsweise bei der Bilanzgrenze BG1 das betrachtete Sanierungsgebäude mit einem GWP von $-0,682 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}/(\text{m}^2 \text{ BZFa})$ bewertet. Ähnlich sieht es aus bei der Betrachtung nach BG3, worin das GWP-Total zwar über keinen Negativwert dargestellt wird, aber weiterhin aufgrund der hohen biogenen GWP-Anteile mit $0,284 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}/(\text{m}^2 \text{ BZFa})$ sehr gering ausfällt. Werden aber wie bei der Betrachtung nach BG5 neben der Herstellungsphasen (A1-A3) sowie dem Ersatz der Baustoffe (B4) noch die Entsorgungsphasen (C1-C4) in der Berechnung berücksichtigt, so verringert sich das GWP-Speicherungspotential signifikant. Dies lässt sich unter anderem auf die Anrechnung der CO₂-Emissionen bei der Entsorgung (hier Pauschalwert Verbrennung) der Holzbaustoffe zurückführen, die das im Holz gespeicherten CO₂ nahezu ausgleichen.

Eine Ökobilanzberechnung mit BG3 bzw. BG5 deckt wesentlich mehr Bauelementtypen, zeitliche und räumliche Bilanzgrenzen sowie künftig auch mehr Lebenszyklusphasen ab und ist damit gegenüber einer Bilanzierung mit BG1 detaillierter. Methoden zur umfassenden Ökobilanzberechnung werden in Zukunft an Bedeutung gewinnen, da Richtlinien und Normen zur ökologischen Bewertung auf europäischer und nationaler Ebene die Berücksichtigung aller Module im Lebenszyklus eines Baumaterials, Bauteiles und Gebäudes, sowie aller relevanten Komponenten im Gebäude vorgeben werden.

Die nachfolgenden Kapitel beinhalten einen Vergleich der Ausführungsvariante V1 und der weiteren Varianten in der Sanierung sowie im Ersatzneubau mit anschließender Gegenüberstellung von Sanierung und Neubau. Um eine Bewertung sowohl der Haustechnik als auch der LCA-Phase Entsorgung zu bilanzieren, wurden separate Berechnungen für den Ökoinde­x OI3 mit Berücksichtigung der Haustechnikkomponenten und die einzelnen Wirkindikatoren Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) und das globale Erwärmungspotential (GWP) jeweils mit den Entsorgungsphasen C1-C4 aber ohne Haustechnik durchgeführt.

2.4 Ökobilanz nach OI3 (mit Haustechnik, ohne C1-C4)

Folgende Berechnung des OI3 wurde nach der räumlichen Bilanzgrenze 5, die die Haustechnik beinhaltet und unter Berücksichtigung der Herstellungsphasen A1-A3 sowie der Austausch/Ersatz der Materialien (B4) durchgeführt. Die LCA-Module C1-C4 sind für die Haustechnikkomponenten in der baubook nicht vorhanden und deshalb werden sie hier nicht mitbilanziert. Es werden die im Kapitel 2.2 definierten Sanierungs- und Neubauvarianten untersucht. Die Nutzungsdauern der mitbilanzierten Haustechnikkomponenten wurden vereinfacht für alle Komponenten mit 20 Jahren angesetzt.

2.4.1 Ökobilanzberechnung der Sanierungsvarianten

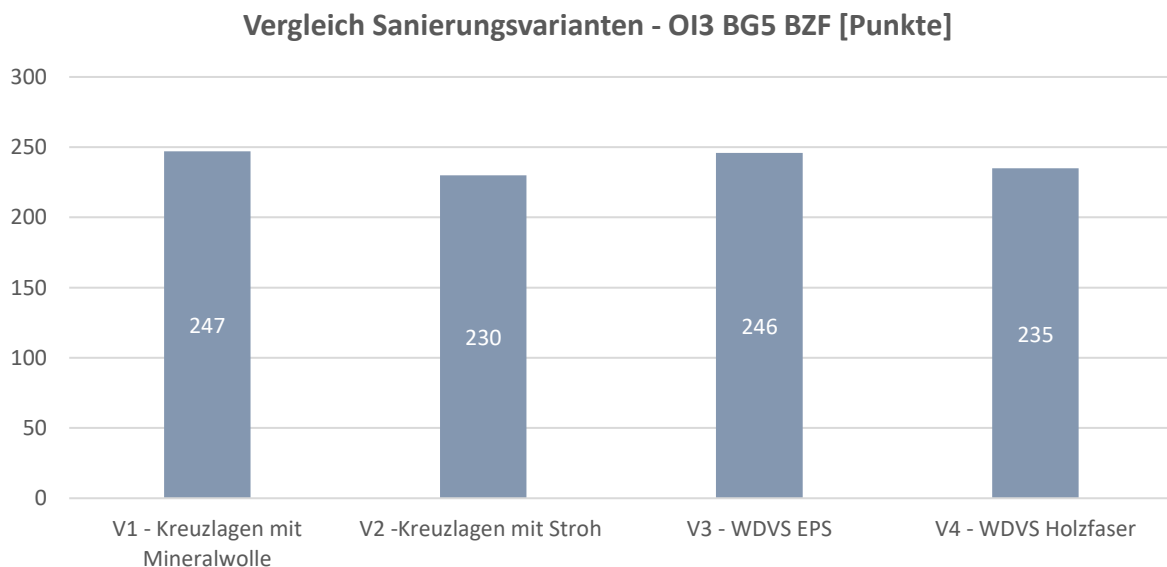


Abbildung 9: OI3 BG5 BZF - Vergleich Sanierungsvarianten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, mit Haustechnik, LCA-Module A1-A3, B4)

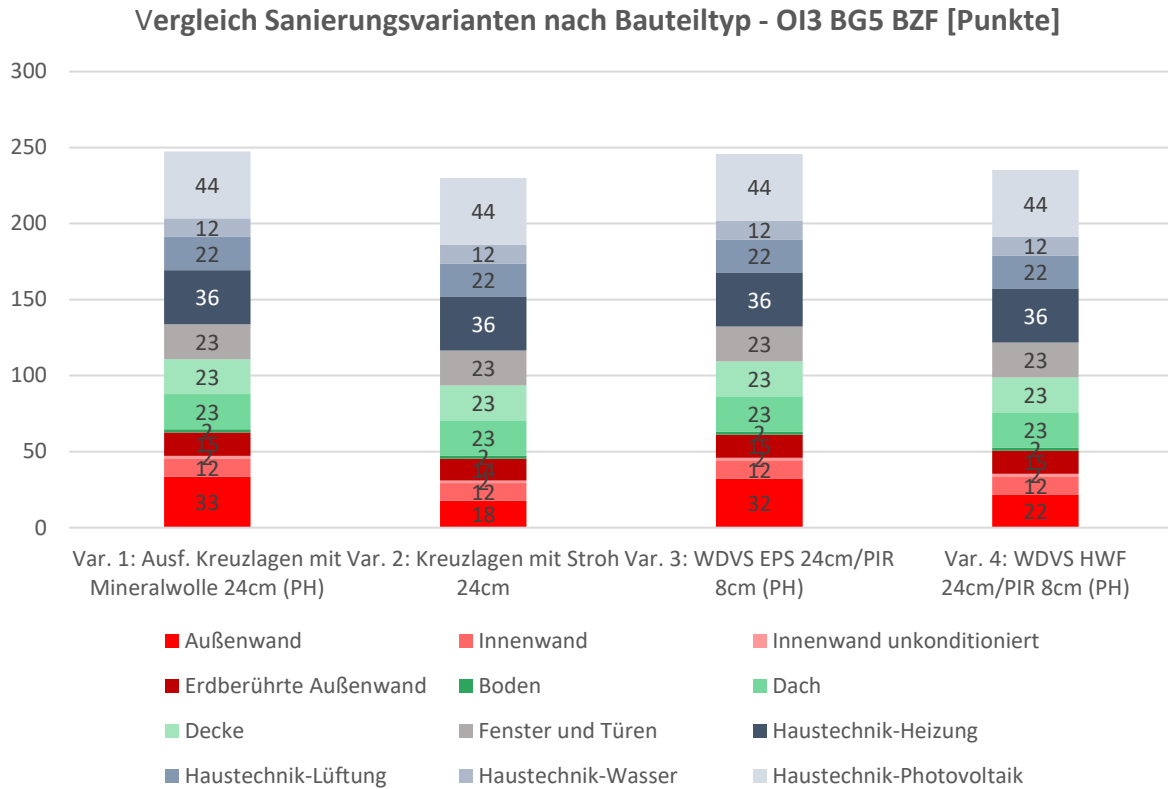


Abbildung 10: OI3 BG5 BZF - Vergleich Sanierungsvarianten nach Bauteiltyp (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, mit Haustechnik, LCA-Module A1-A3, B4)

In der Betrachtung nach Bauteiltyp ist erkennbar, in welchen Bereichen des Gebäudes sich die ökologischen Schwergewichte befinden. Gegenüber der Gebäudehülle und den innenliegenden Bauteilen wie Innenwänden und Zwischendecken wirkt sich die Gebäudetechnik in Summe mit 144 Punkten wesentlich auf den Oekoindex aus. Hier haben die Photovoltaikanlage² mit einen $\Delta OI3$ von 44 Punkten gefolgt von dem Heizsystem mit 36 Punkten im Vergleich zu den Komponenten des Lüftungssystems ($\Delta OI3$ 22) und der Wasserleitungen ($\Delta OI3$ 12) einen sehr hohen Wert. Dies ist hauptsächlich auf die erhöhten Erneuerungszyklen (vereinfacht 20 Jahre Nutzungsdauer, also dreimal in 50a) und den Primärenergiebedarf sowie die CO_2 -Wirksamkeit der eingesetzten Materialien in den Techniksystemen zurückzuführen. Bei den Wasser- und Lüftungsleitungen kommen geringe Materialmengen der sonst ökologisch wirksamen Materialien wie Stahl und PE zum Einsatz. Im Vergleich dazu sind die Komponenten der Heizung und allen voran der PV-Anlage in der Herstellung sowohl energieintensiver als auch CO_2 belastender.

² Der Richtwert für die PV- Module ist aus dem Jahr 2013 und weist im Vergleich zu aktuellen EPD's von PV-Modulen eine dreifach höheren PENRT und GWP auf. Um die Werte anzupassen, wurde die ursprüngliche Modulfläche von 107m² auf 30% reduziert.

Die Differenzen zwischen den Varianten selbst ergeben sich prinzipiell nur aus den Aufbauten den Außenwänden, bzw. aus den Wärmedämmschichten, die zum Einsatz kommen. Die umgesetzte Variante V1 ist mit einen $\Delta OI3$ von 33 Punkten in der Außenwand nur minimal höher als die Variante V3 WDVS EPS. Dies lässt sich auf die höhere Dämmstärke der Mineralwolle gegenüber vom EPS zurückführen. Mit einen $\Delta OI3$ mit 18 Punkten in der Außenwand hat V.2 mit Einsatz von Stroh als nachwachsender Rohstoff den am meisten ökologisch optimalen Wert.

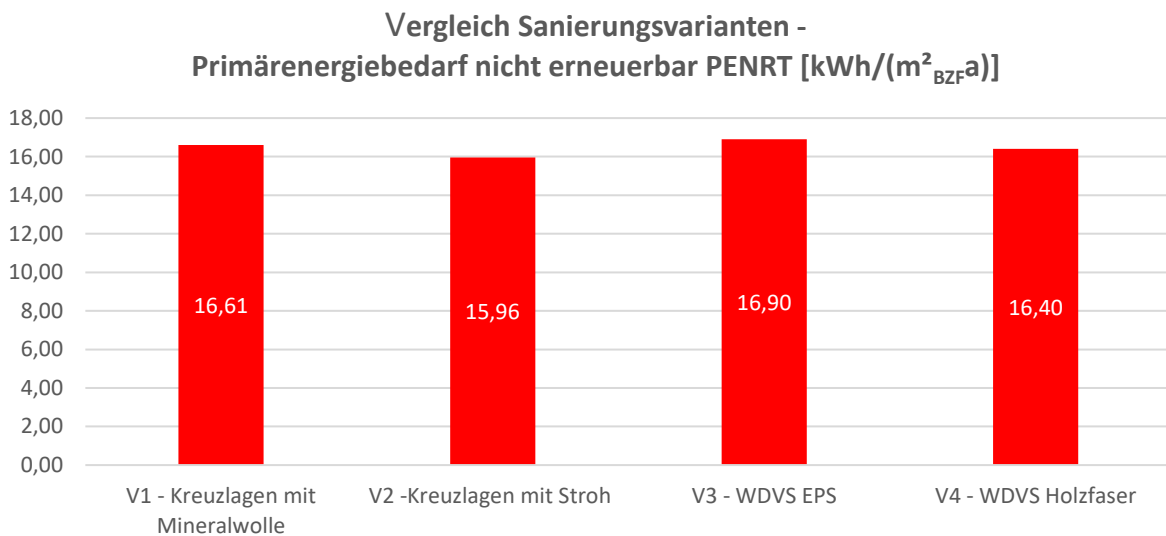


Abbildung 11: Primärenergiebedarf nicht Erneuerbar PENRT - Vergleich Sanierungsvarianten nach Bauteiltyp (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik)

Der PENRT ist zwischen allen untersuchten Varianten ähnlich. Die höchste Differenz liegt zwischen V2 und V3 mit ca. 1 kWh/(m²_{BZF}a). Diese geringen Unterschiede der Varianten im PENRT lassen sich auf die im Vergleich zur gesamten Gebäudehülle geringen Differenzen in den Außenwanddämmung zurückführen.

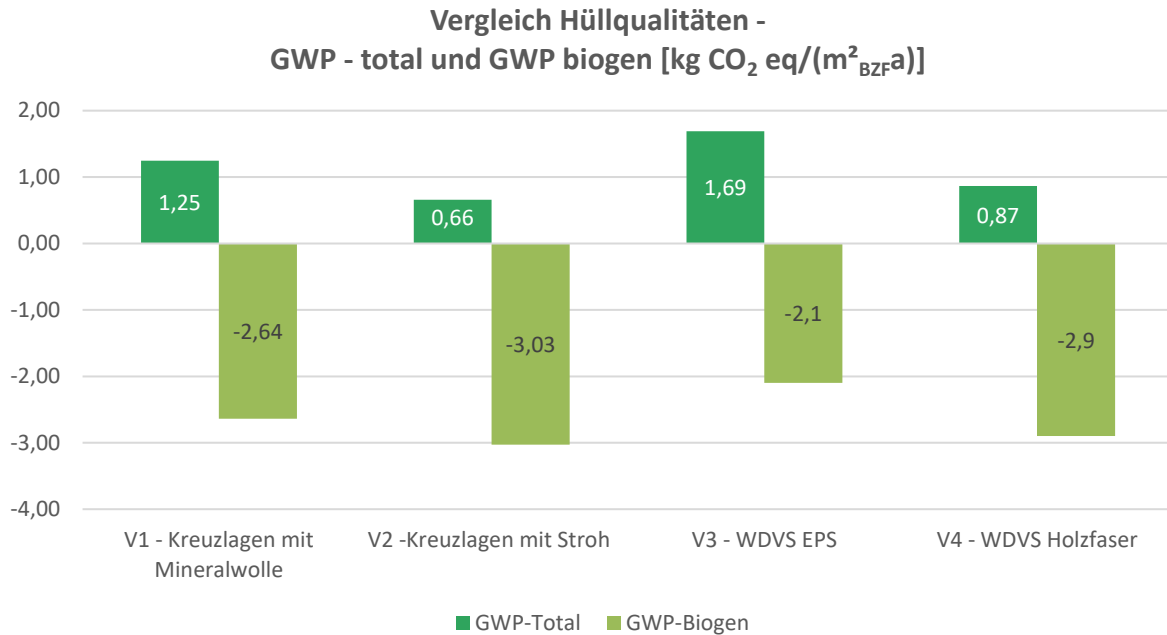


Abbildung 12: Globales Erwärmungspotential GWP-total und GWP-biogen - Vergleich Sanierungsvarianten nach Bauteiltyp (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik)

Auch in der Betrachtung des GWP zeigen sich geringe Unterschiede zwischen den Varianten. Alle Sanierungsvarianten haben auch einen ähnlichen GWP-biogen. Die Variante 2 mit Kreuzlagen-Stroh hat aufgrund des höchsten Anteils an nachwachsenden Rohstoffen in der Fassade die beste CO₂ -Bilanz.

2.4.2 Ökobilanzberechnung der Neubauvarianten

Neben dem Vergleich unterschiedlicher Sanierungsvarianten wurde auch der Oekoindex von 4 Konstruktionsvarianten eines Ersatzneubaus untersucht. Für den Ersatzneubau wurde die gleiche Kubatur wie für die Sanierung mit Erweiterung angenommen. Bei einem realen Ersatzneubau würde vermutlich eine dichtere Bebauung angestrebt, evtl. auch eine Tiefgarage. Somit wären die Ergebnisse aber nicht vergleichbar.

Die hier betrachteten Ersatzneubauvarianten sind nach Passivhaustandard konzipiert.

Vergleich Neubauvarianten -
OI3 BG5 BZF [Punkte]

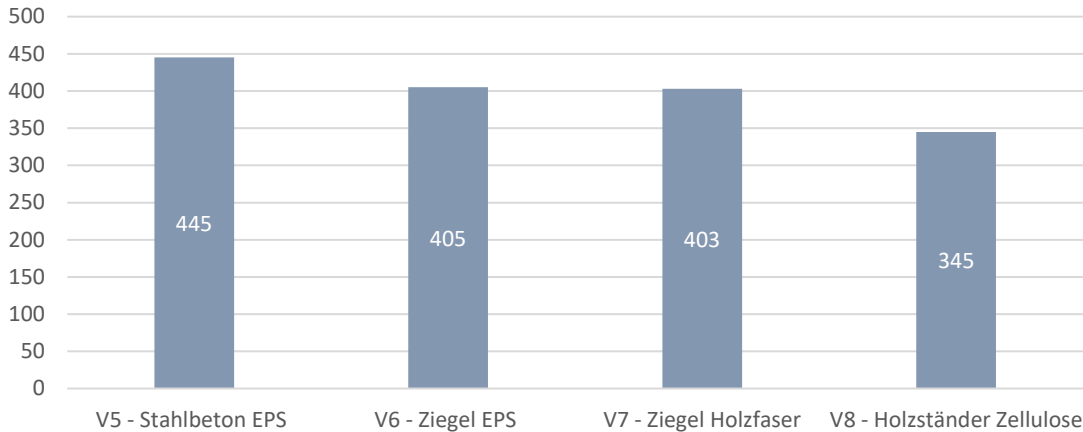


Abbildung 13: OI3 BG5 BZF - Vergleich Neubauvarianten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik)

Die Variante V5 in Stahlbeton mit Einsatz von EPS als Wärmedämmstoff hat mit einem OI3 von 445 Punkten den höchsten Wert. Die Unterschiede zwischen den Varianten 6 und 7 mit dem Einsatz unterschiedlicher Wärmedämmstoffe in der Außenwand mit einer Differenz von 2 Punkten sind sehr gering. Wie zu erwarten hat V8 als Holzständer mit Zellulosedämmung den geringsten OI3 (345 Punkte) und ist damit die ökologisch beste der untersuchten Varianten der Ersatzneubauten.

Vergleich Neubauvarianten nach Bauteiltyp -
OI3 BG5 BZF [Punkte]

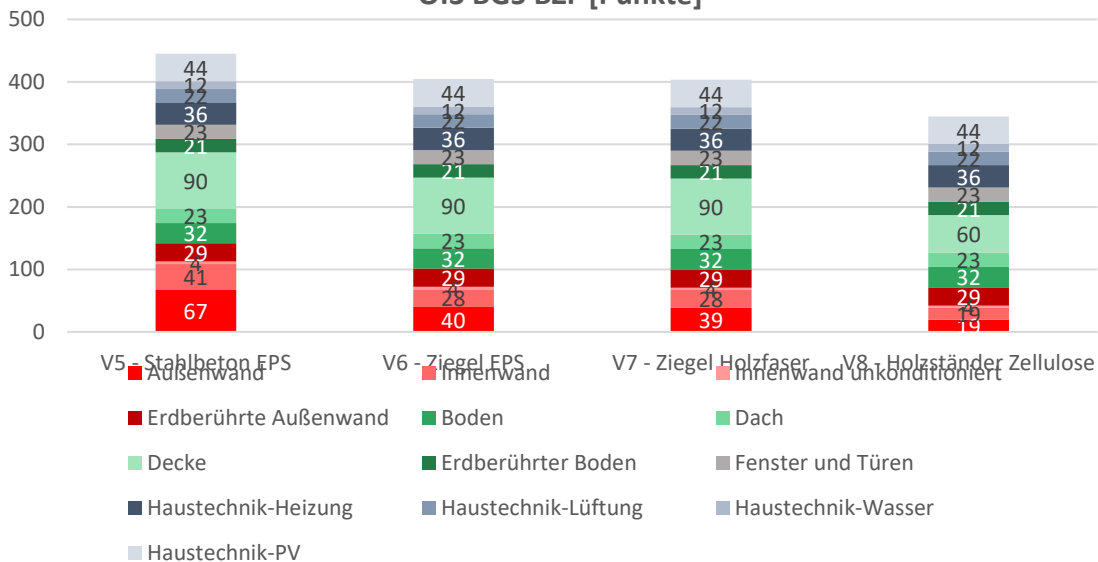


Abbildung 14: OI3 BG5 BZF - Vergleich Neubauvarianten nach Bauteiltyp (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik)

Im Vergleich zu den Sanierungsvarianten, in welchen die Bestandsaufbauten nicht bilanziert werden, wirkt sich die Baumaterialwahl in den Außenwänden, Zwischendecken und im Kellergeschoss wesentlich auf die Ökobilanz aus. Insbesondere sind die Zwischendecken bei allen Neubauvarianten die wesentlichen ökologischen Schwergewichte. Diese sind bei allen Varianten bis auf V8 in Stahlbeton ausgeführt und kommen beim $\Delta OI3$ auf eine Punktezahl von 90. In der Variante 8 sind die Zwischendecken in der Primärkonstruktion in Brettschichtholz-Massivdecke ausgeführt und kommen auf einen $\Delta OI3$ von 60 Punkten.

Die Haustechnik macht im Vergleich zu den Sanierungsvarianten im Neubau nicht mehr einen Großteil der ökologisch wirksamen Komponenten im Gebäude aus. Mit einem Anteil von ca. einem Drittel hat sie dennoch eine erhebliche Auswirkung auf den Oekoindex, was auch an den Austauschzyklen liegt. Die Haustechnik kann neben den Zwischendecken und Außenwänden eine Stellschraube zur Optimierung der Ökobilanz des Gebäudes sein.

2.4.3 Vergleich unterschiedlicher Hüllqualitäten

In folgendem Vergleich sind die vier untersuchten Konstruktionsvarianten des Ersatzneubaus in verschiedenen Hüllqualitäten dargestellt. Zum einen in Passivhausqualität (PH), zum anderen in einer Neubauqualität, die den Mindestanforderungen der Vorarlberger Bautechnikverordnung (BTV) [11] entspricht.

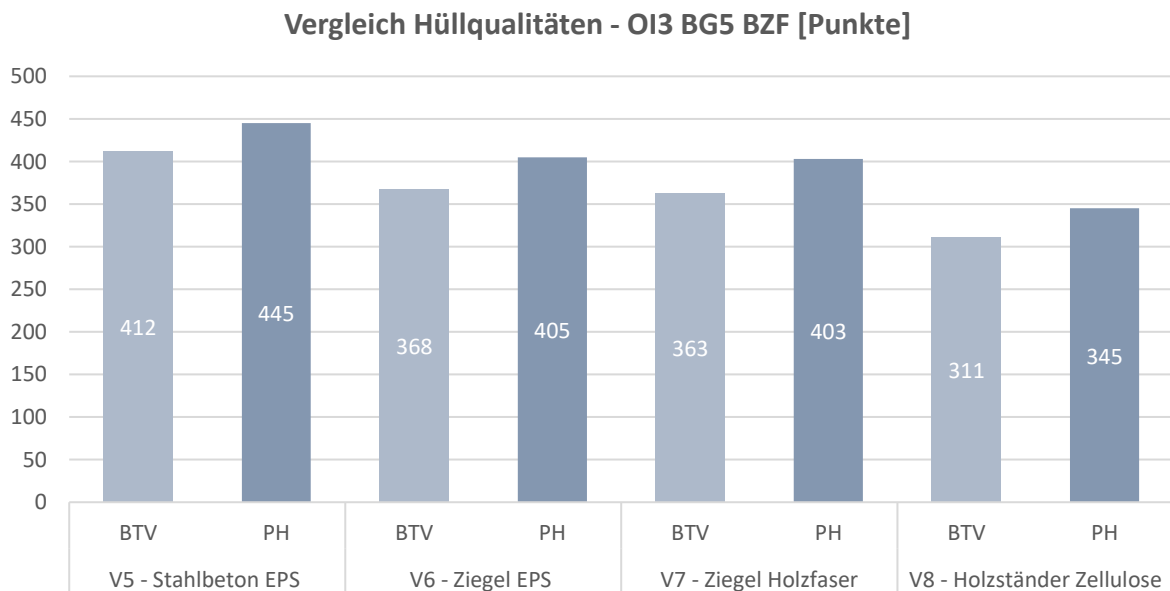


Abbildung 15: OI3 BG5 BZF - Vergleich Hüllqualitäten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik)

Der OI3 ist bei allen Varianten nach Passivhausstandard um etwa 30 Punkte höher als bei den Varianten nach BTV. Dies lässt sich auf die erhöhten Stärken der Wärmedämmstoffe, die zum Erreichen des gewünschten energetischen Standards erforderlich sind, zurückführen.

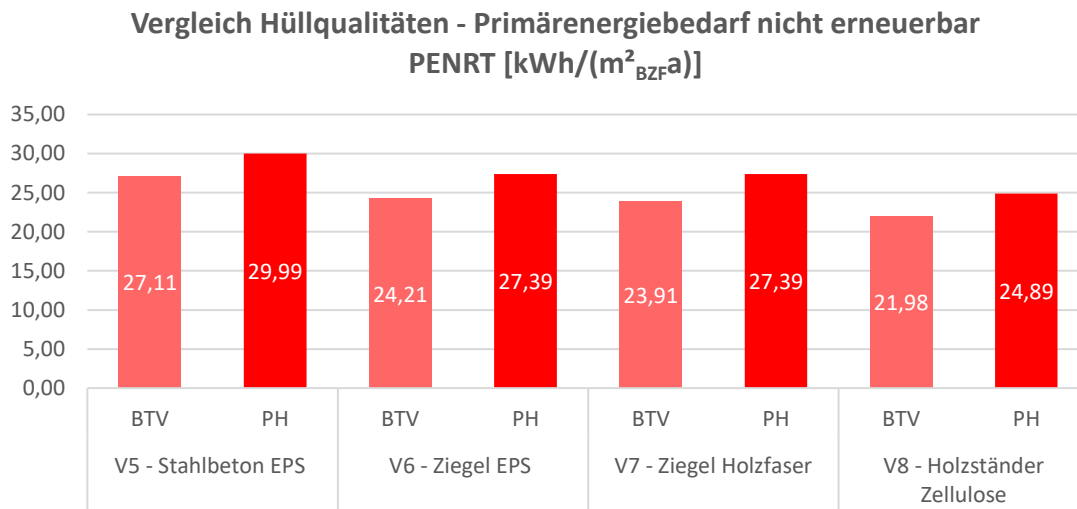


Abbildung 16: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar PENRT - Vergleich Hüllqualitäten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Hautechnik)

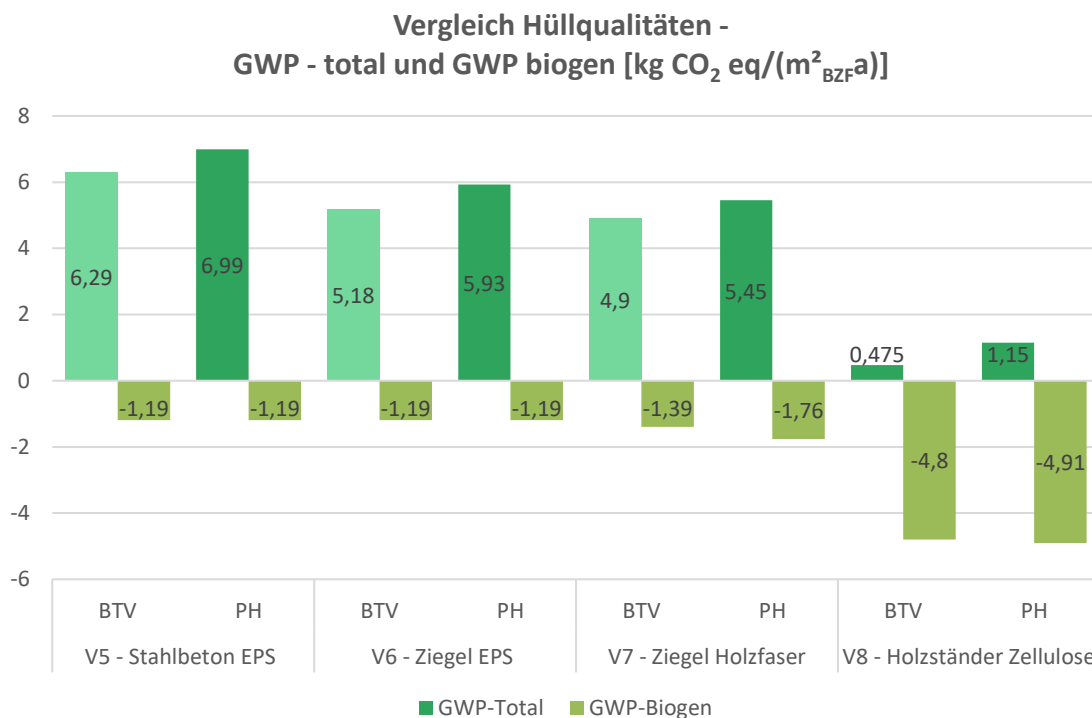


Abbildung 17: Globales Erwärmungspotential GWP Total und GWP Biogen - Vergleich Hüllqualitäten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Hautechnik)

Die Auswirkung der höheren Wärmedämmstärken ist auch bei der Betrachtung des PENRT und des GWP-Total erkennbar. Lediglich beim GWP-Biogen ergeben sich nur in den Varianten 7 (Ziegel/Holzfasern) und Varianten 8 (Holzständer Zellulose) Differenzen zwischen den energetischen Standards. Auch diese sind auf die Wärmedämmschicht zurückzuführen, in den beiden Varianten jeweils bestehend aus Holzfasern und Zellulose – beides nachwachsende Rohstoffe mit GWP-Speicherung in der Herstellungsphase.

2.5 Ökobilanz inkl. C1 – C4 (PENRT und GWP, ohne Haustechnik)

In der Berechnung des Oekoindex OI3 nach Bilanzgrenze 5 und gemäß des OI-Leitfadens v5.0 sollen die LCA-Module für die Entsorgung der eingesetzten Materialien (C1-C4) in Zukunft berücksichtigt werden. Diese Module lassen sich bereits im Berechnungstool eco2soft für die einzelnen Wirkindikatoren ausweisen, allerdings nicht für den Oekoindex als Gesamtindikator und nicht für die Haustechnikkomponenten, letzteres aufgrund der noch nicht vorhandenen Richtwerte zu den Modulen C1-C4.

In folgender Gegenüberstellung wird daher der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) und das Globale Erwärmungspotential (GWP-total und GWP-biogen) für die Gebäudehülle und die innenliegenden Bauteile dargestellt. Die Darstellung erfolgt zunächst als Gesamtwert und darauffolgend differenziert nach den betrachteten LCA-Modulen.

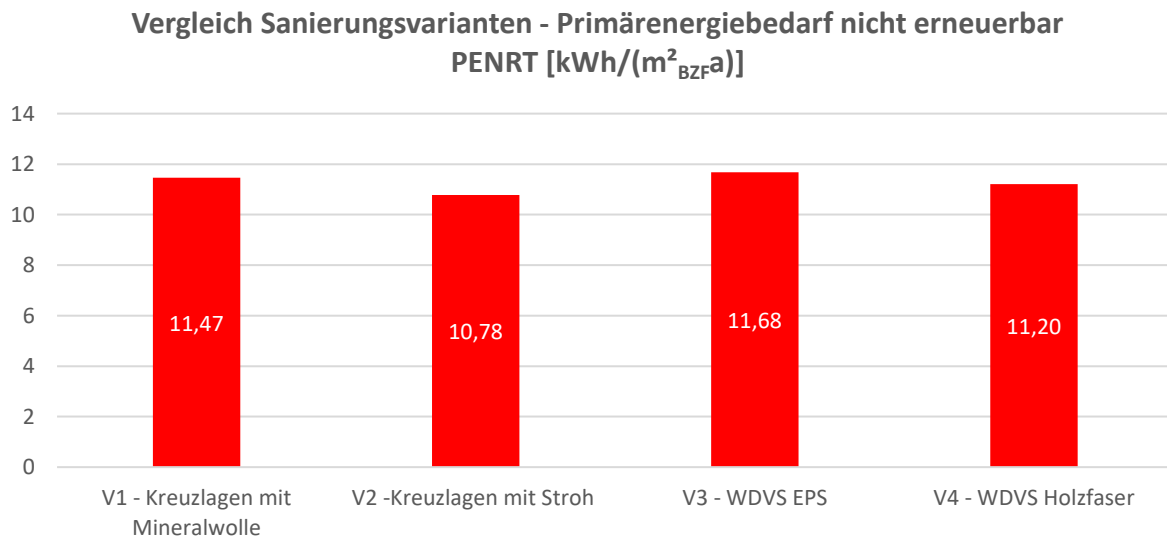


Abbildung 18: Primärenergie nicht erneuerbar PENRT - Vergleich Sanierungsvarianten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, C1-C4, ohne Haustechnik)

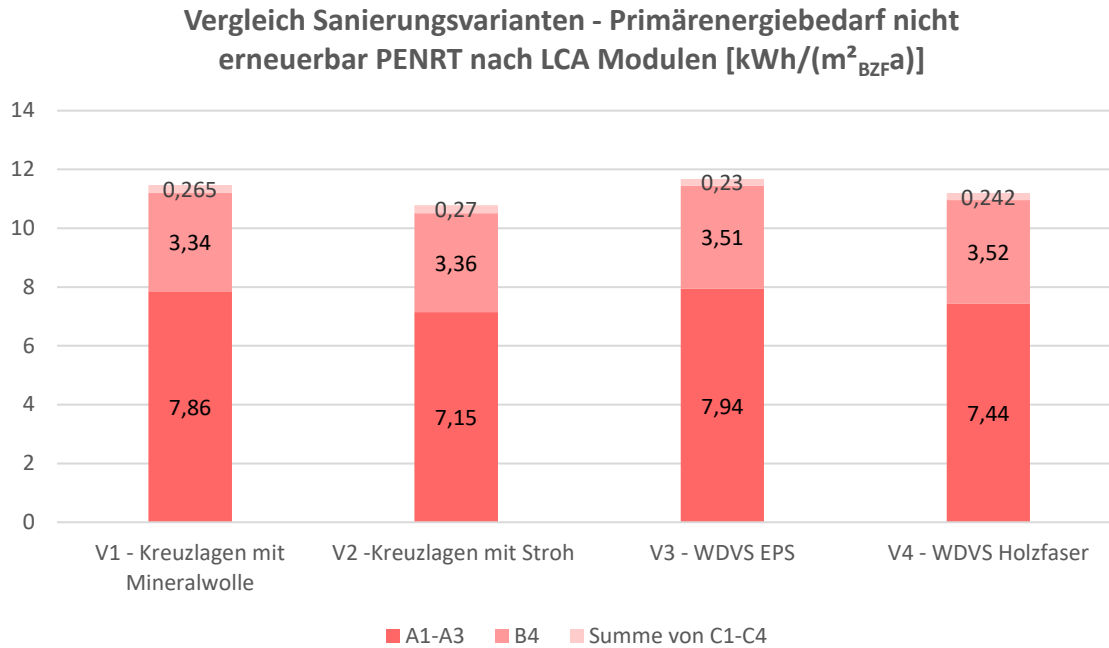


Abbildung 19: Primärenergie nicht erneuerbar PENRT - Vergleich Sanierungsvarianten nach LCA-Modulen (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, C1-C4, ohne Hautechnik)

Die Differenzen im PENRT sind in den betrachteten Sanierungsvarianten mit max. 0,9 kWh/(m²_{BZF}a) (zwischen V3 und V2) sehr gering. Der höchste Bedarf ergibt sich in der Herstellung der verwendeten Baumaterialien, während das Modul B4 nur den Ersatz der zu austauschenden Baustoffe mit einer Lebensdauer von weniger als 50a berücksichtigt. Dies macht ca. die Hälfte des in der Herstellung anfallenden PENRT aus. Die Energieverbräuche nicht erneuerbar in der Entsorgungsphase sind sehr gering, da der Großteil der eingesetzten Baumaterialien in der Entsorgungsphase deponiert wird. Synthetische und biogene Baustoffe werden gemäß der EN15804 thermisch verwertet (Verbrennung). Insbesondere die synthetischen Baustoffe haben allerdings sehr geringe Massenanteile, die sich nur geringfügig auf die Gesamtbilanz auswirken. Biogene Bauteile wie z.B. Massivholz haben zwar höhere Masseanteile, die sich in der Betrachtung des erneuerbaren Primärenergiebedarfes stark ausdrücken würden, aber nicht beim PENRT.

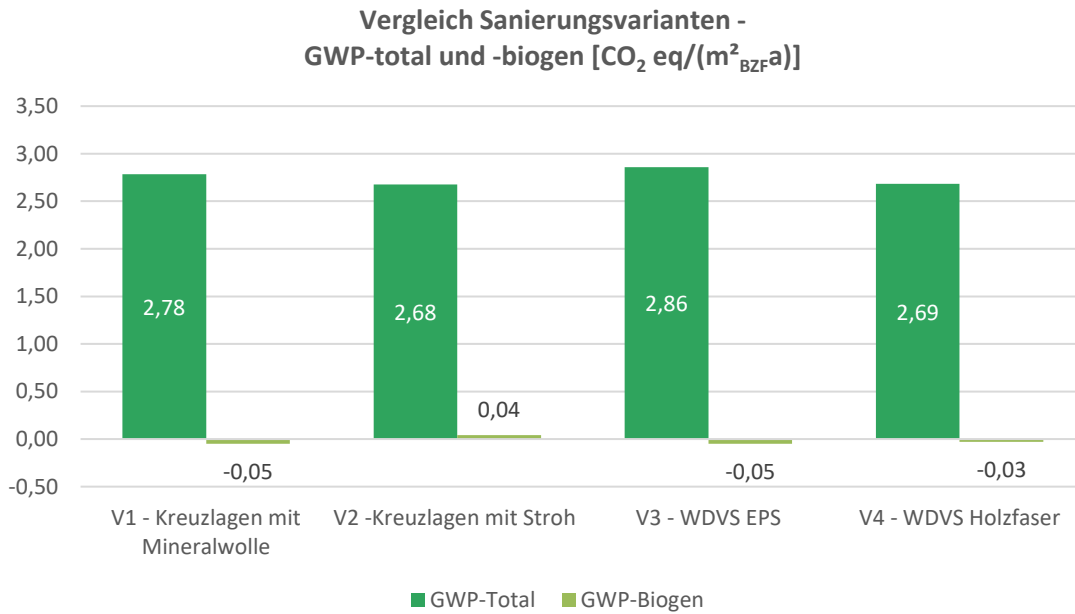


Abbildung 20: Globales Erwärmungspotential GWP-Total und GWP Biogen - Vergleich Sanierungsvarianten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, C1-C4, ohne Haustechnik)

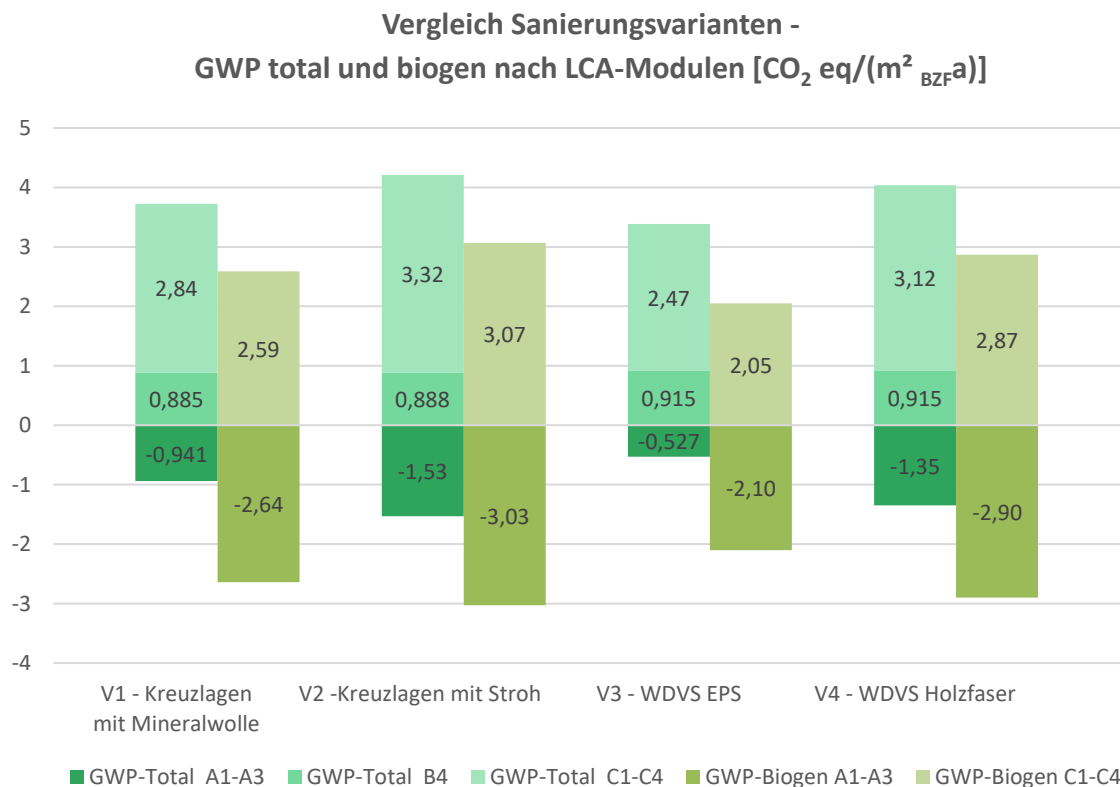


Abbildung 21: Globales Erwärmungspotential GWP-Total und GWP-Biogen - Vergleich Sanierungsvarianten nach LCA-Modulen (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, C1-C4, ohne Haustechnik)

In der GWP-Betrachtung sind die Differenzen zwischen den Varianten nicht höher als 0,18 kg CO₂ eq/(m²_{BZF}a) (Zwischen V3 und V2) und damit sehr gering. Das GWP biogen fällt durch die Berücksichtigung der Entsorgungsphase sehr wenig ins Gewicht. Bei der Variante 2 ist der GWP-biogen im Vergleich zu den anderen Varianten sogar positiv. Dies lässt sich auf die GWP-Werte in der Entsorgungsphase C1-C4 zurückführen. Hier wird nämlich das für die Na-ware-Baustoffe (wie Holz oder Stroh) anfallende GWP-biogen über die Verbrennung der Bau- stoffe (nach EN15804) in der Entsorgungsphase wieder ausgebucht.

2.6 Vergleich Sanierung und Ersatzneubau

Folgende Tabelle zeigt die Werte des OI3 BG5 BZF, des Primärenergiebedarfs nicht erneuer- bar (PENRT) und des globalen Erwärmungspotentials (GWP-Total) der untersuchten Sanie- rungs- und Neubauvarianten:

		Mit Haustechnik Ohne LCA-Module C1-C4			Ohne Haustechnik Mit LCA-Modulen C1-C4	
Gebäudevariante		OI3 BG5 BZF [Punkte]	PENRT [kWh/(m ² BZF _a)]	GWP-Total [kg CO ₂ eq /(m ² _{BZF} a)]	PENRT [kWh/(m ² BZF _a)]	GWP-Total [kg CO ₂ eq /(m ² _{BZF} a)]
Sanierung	V.1. Kreuzlagen mit Mineralwolle	247	16,61	1,25	11,47	2,78
	V.2. Kreuzlagen mit Stroh	230	15,96	0,66	10,78	2,68
	V.3. WDVS EPS	246	16,90	1,69	11,68	2,86
	V.4. WDVS-Holzfaser	235	16,40	0,87	11,20	2,69
Neubau (Passivhausniveau)	V.5. Stahlbeton EPS	445	29,99	6,99	27,05	7,74
	V.6. Ziegel EPS	405	27,39	5,93	23,74	6,56
	V.7. Ziegel Holzfaser	403	27,39	5,45	23,76	6,48
	V8. Holzständer mit Zellulose	345	24,89	1,15	20,79	5,26

Tabelle 4 Vergleich Sanierung und Ersatzneubau

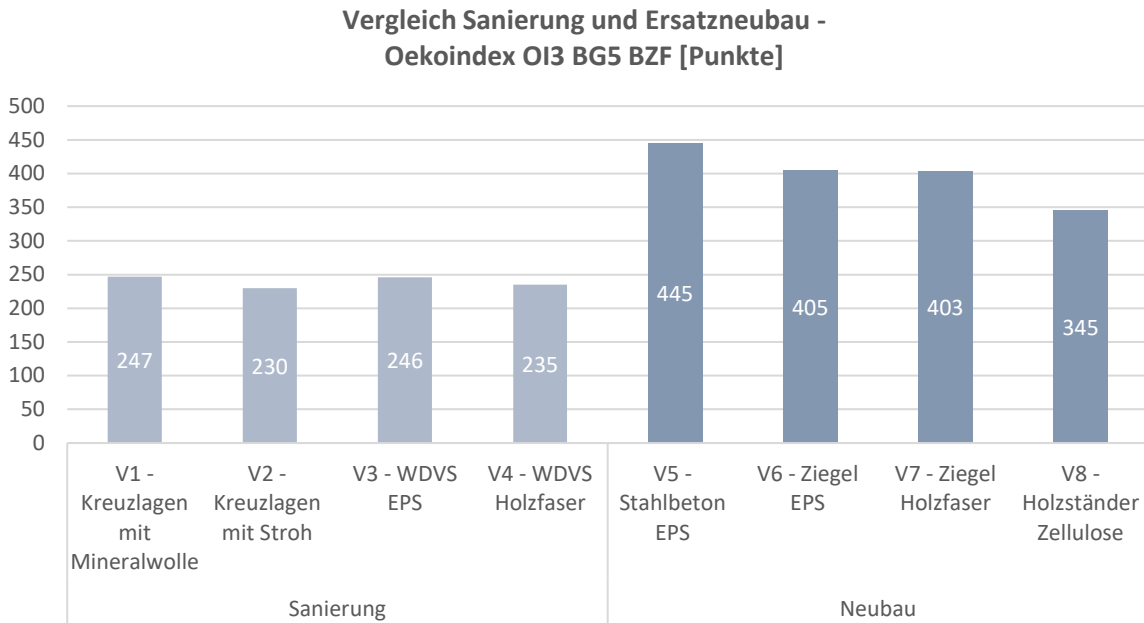


Abbildung 22: OI3 BG5 BZF - Vergleich Sanierung und Neubau (gerechnet mit baubook eco2soft nach OI3-Leitfaden V5.0, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Hautechnik)

In der Oekoindex OI3 Betrachtung haben alle Sanierungsvarianten einen deutlich niedrigeren OI3 als die Varianten des Ersatzneubaus. Selbst die beste Variante des Ersatzneubaus – die Variante V 8 (Holzständer mit Zellosedämmung) – hat einen höheren und damit schlechteren Wert als die schlechteste Sanierungsvariante.

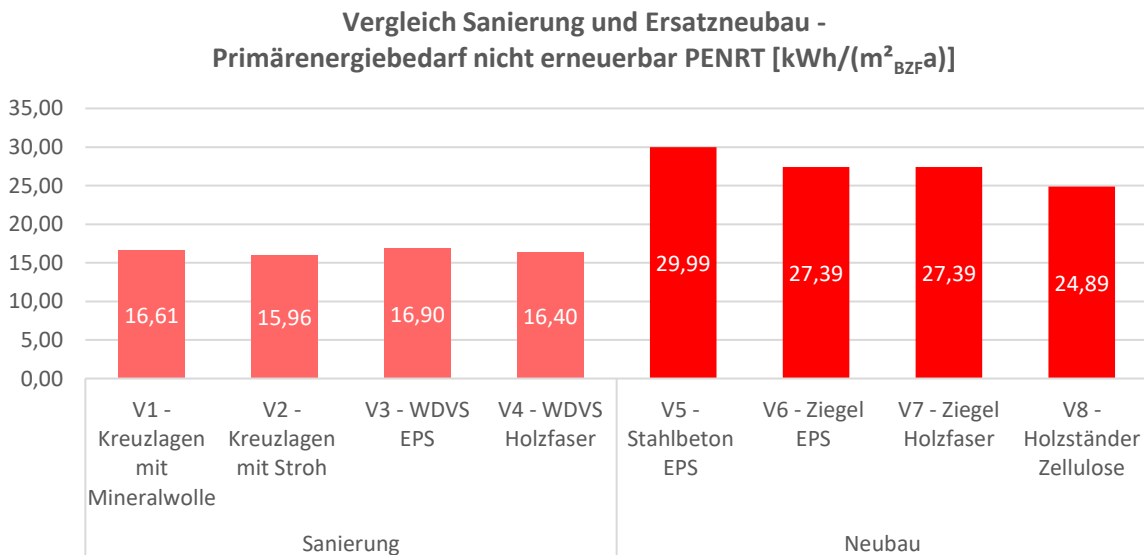


Abbildung 23: Primärenergiebedarf nicht Erneuerbar PENRT - Vergleich Sanierung und Neubau (gerechnet mit baubook eco2soft nach OI3-Leitfaden V5.0, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik)

Auch beim Primärenergiebedarf nicht erneuerbar zeigt sich, dass der höchste Wert der Sanierungsvarianten (V3 mit 16,90 kWh/(m²_{BZF}a)) erheblich geringer ist, als der niedrigste Wert der untersuchten Varianten des Ersatzneubaus (V8 mit 24,89 kWh/(m²_{BZF}a)).

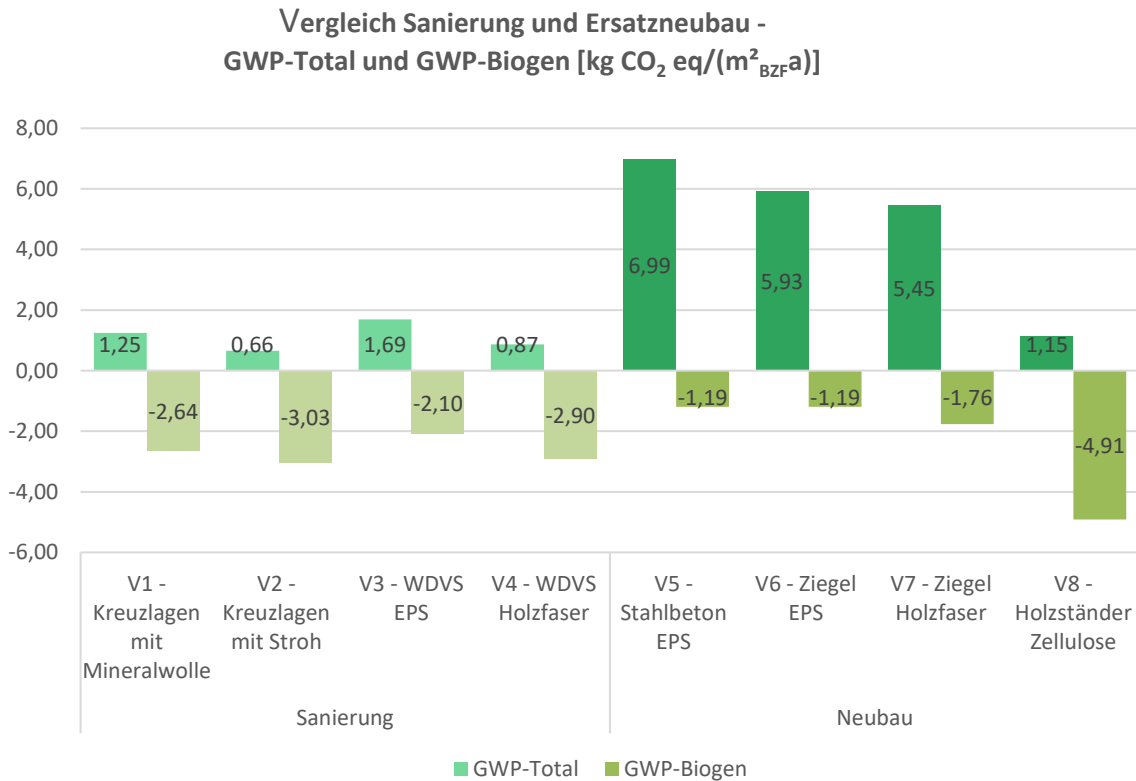


Abbildung 24: Globales Erwärmungspotential GWP-Total - Vergleich Sanierung und Neubau (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik)

Noch besser schneidet die Sanierung auch bei der Betrachtung des globalen Erwärmungspotentials (GWP-Total) gegenüber dem Ersatzneubau ab. Hier schneidet lediglich die Neubauvariante V8 mit einen GWP von 1,15 kg CO₂ eq/(m²_{BZF}a) gegenüber der Sanierungsvariante V3 besser ab. Auch das GWP- Speicherpotential ist deutlich höher als bei den Sanierungsvarianten. Dies ist auf den hohen Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen in der Baukonstruktion vor allem in den Außenwänden zurückzuführen.

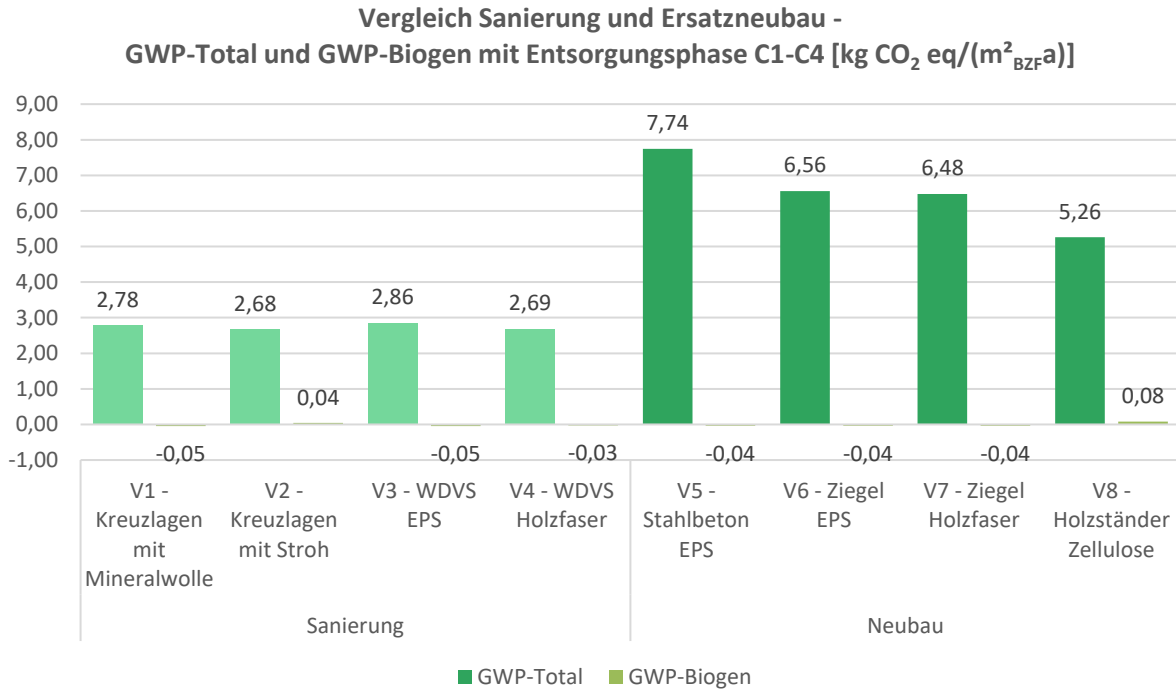


Abbildung 25: Globales Erwärmungspotential GWP-Total - Vergleich Sanierung und Neubau (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, C1-C4, ohne Haustechnik)

Werden die Phasen C1–C4 in die Bilanzierung einbezogen, weist die Neubauvariante V8 beim biogenen GWP keinen Vorteil mehr gegenüber den Sanierungsvarianten auf. In der Gesamtbetrachtung des GWP schneiden jedoch alle Sanierungsvarianten weiterhin besser ab als der Ersatzneubau.

2.7 Errichtung und Betrieb

Errichtung, Erhaltung und Entsorgung des Gebäudes werden gemeinsam mit dem Betrieb betrachtet. Als gemeinsamer Bewertungsindikator wird das GWP Total herangezogen. Da die Entsorgung mit bilanziert wird, werden für die LCA Module A1-A3, B4, C1-C4 die GWP-Ergebnisse aus vorherigem Kapitel ohne Haustechnik herangezogen. Im Betrieb wird der PV-Strom nicht mitbilanziert, da auch die Errichtung der PV-Anlage nicht mitbilanziert wird. Ebenso wenig wird der Haushaltsstrom mit betrachtet. Die Ergebnisse³ werden als spezifische Werte angegeben, bezogen auf die Bezugsfläche vom OI3 mit 1025 m².

Für die Betriebsenergie werden vier Varianten betrachtet:

³ Randbedingungen: Nutzwärme Warmwasser 12 kWh/(m²_{EBFA}), Verluste WW Boiler 5 kWh/(m²_{EBFA}), Verluste WW+RH-zentral Sanierung 30 kWh/(m²_{EBFA}), Neubau 15 kWh/(m²_{EBFA}), JAZ E-Boiler 0,8, WP-RH 3,5, WP-WW 2,2, Hilfsstrom Lüftung 4 kWh/(m²_{EBFA}). Die spez. Emissionen vom Strom heute werden mit 156 g CO₂eq/kWh_{End} nach OIB RL-6 2023 angenommen und die spez. Emissionen für Biomasse mit 9 g CO₂eq/kWh_{End}.

1. Unsaniert mit 100% direkt elektrischer Beheizung und elektrischer Warmwasserbereitung. Fensterlüftung. (HWB 200 kWh/(m²_{EBFa}) bei 18°C)
2. Unsaniert mit 50% direkt elektrischer Beheizung, 50% Stückholzheizung und elektrischer Warmwasserbereitung. Fensterlüftung. (HWB 200 kWh/(m²_{EBFa}) bei 18°C)
3. Thermisch sehr gut saniert (wie gebaut), Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser, Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung (HWB 30 kWh/(m²_{EBFa}) bei 22°C)
4. Neubau Passivhausniveau (Ziegel mit WDVS EPS), Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser, Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung (HWB 20 kWh/(m²_{EBFa}) bei 22°C)

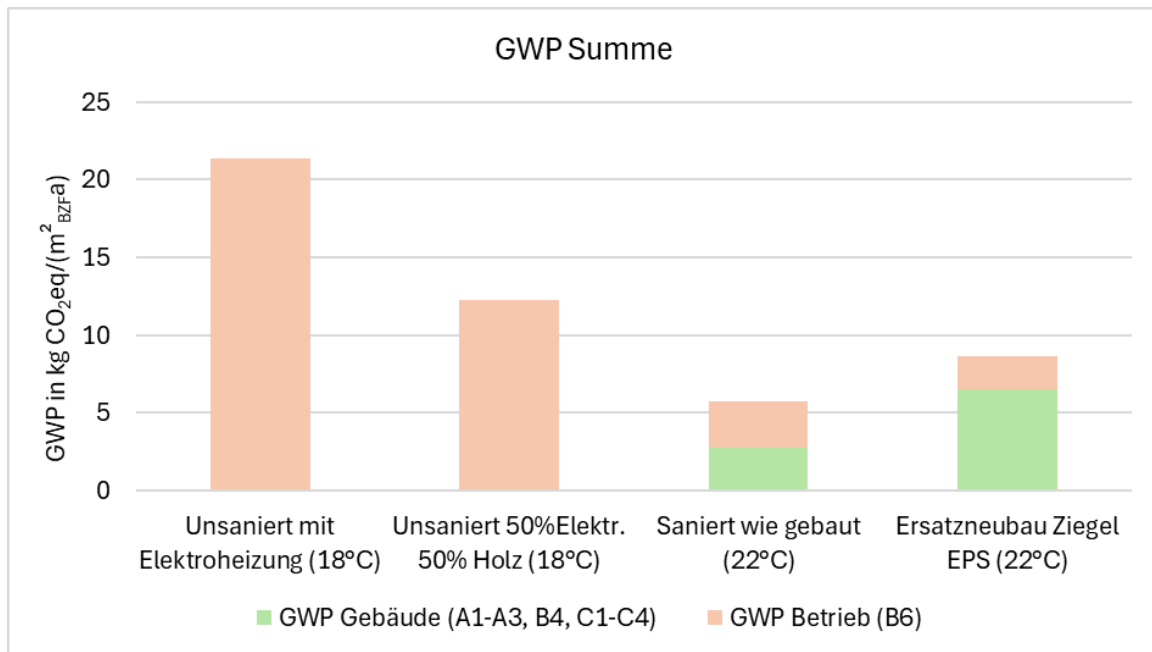


Abbildung 26: GWP Summe der vier Varianten, in grün GWP Gebäude (A1-A3, B4, C1-C4) und in rot GWP Betrieb (B6).

In Abbildung 26 ist das GWP der vier Varianten für das GWP Gebäude in grün (A1-A3, B4, C1-C4) und in rot das GWP Betrieb (B6) gestapelt als Summe dargestellt. Das unsanierte Gebäude mit Elektroheizung verursacht die höchsten Emissionen. Die Emissionen unter Annahme einer Bereitstellung der Heizwärme zu 50% elektrisch-direkt und zu 50% über Biomasse sind deutlich geringer. Dieser Energieträgermix für die Beheizung dürfte in etwa der Situation vor Sanierung entsprechen. Die Sanierung in hoher thermischer Qualität und mit Wärmeversorgung (Heizung und Warmwasser) über Wärmepumpe weist die niedrigsten GWP-Werte auf. Die Gesamtemissionen der Sanierung sind niedriger als die des Ersatzneubaus. Dieser hat zwar niedrigere Emissionen im Betrieb, jedoch deutlich höhere in der Errichtungsphase. Selbst der Ersatzneubau weist aber geringere Emissionen auf, als die Variante "Weiter so wie bisher".

3 Schlussfolgerungen

Die Lebenszyklusanalyse (LCA) dient dazu, die ökologischen Auswirkungen von Gebäuden ganzheitlich zu bewerten. Sie betrachtet alle Lebenszyklusphasen – von der Rohstoffgewinnung über Produktion, Bau und Nutzung bis hin zu Rückbau und Entsorgung. Ziel ist es, Energieverbrauch, Treibhausgasemissionen und weitere Umweltwirkungen umfassend zu quantifizieren.

In Österreich werden Produktdaten und generische Ökobilanzwerte in der Plattform baubook bereitgestellt. Sie dient Planern zur Berechnung von Energie- und Ökologiekennzahlen und wird in Zertifizierungen, Förderprogrammen und Ausschreibungen verwendet. Für die Gebäudewertung ist der Oekoindex (OI3) weit verbreitet. Er berücksichtigt drei gleich gewichtete Kategorien: CO₂-Äquivalente, nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT) und Versäuerungspotenzial (AP). Die Bewertungen sollen künftig mit der Bilanzgrenze BG5, also mit Haustechnik inklusive der LCA-Phasen C1-C4 (Entsorgung) durchgeführt. Das bedeutet, dass die CO₂ Speicherung von biogenen Materialien im Endergebnis nicht bzw. minimal berücksichtigt wird, weil sie in der Entsorgungsphase beim Bauwerk wieder ausgebucht wird.

In vorliegendem Bericht werden verschiedene Sanierungsvarianten sowie unterschiedliche Ersatzneubauvarianten untersucht und ein Vergleich zwischen Sanierung und Ersatzneubau vorgenommen.

- Bei den **Sanierungsvarianten** zeigt sich, dass der Einsatz biogener Dämmstoffe zu einer Verbesserung der OI-Punkte von rund 10% führt.
- Die Analyse der **Ersatzneubauvarianten** ergibt, dass die Ergebnisse von den eingesetzten Baustoffen abhängen. Der Einsatz biogener Baustoffe (Holzständerbauweise mit Zellulosedämmung) bringt eine Verbesserung gegenüber einer Stahlbetonvariante mit EPS-Dämmung von ca. 100 OI3 Punkten (ca. 25%).
- Der Vergleich der **Hüllqualitäten** gemäß Bautechnikverordnung und Passivhausstandard zeigt, dass die höhere Hüllqualität mit einer leichten Erhöhung der OI3-Punkte um etwa 35 Punkte (ca. 13 %) einhergeht.
- Beim Vergleich von **Sanierung und Ersatzneubau** auf energetisch ähnlich hohem Niveau – EnerPHit bei der Sanierung und Passivhausstandard beim Neubau – wird deutlich, dass die Sanierungsvarianten unabhängig von der Materialwahl gegenüber einem Stahlbeton-Neubau rund 50 % niedrigere OI3-Punkte aufweisen. Im Vergleich zu einem Holzrahmenbau mit Zellulosedämmung liegen die Werte der Sanierung immer noch um etwa 33 % niedriger.

- Das unsanierte Gebäude mit Elektroheizung verursacht die höchsten Emissionen, selbst bei 50% Holzöfen und 50% Elektroheizung, also so wie die Gebäude vor der Sanierung in Realität betrieben wurden.
- Die Sanierung in hoher thermischer Qualität weist die niedrigsten GWP-Werte auf - auch niedriger als der Ersatzneubau - welcher aber geringere Emissionen hat, als die Variante unsaniert., d.h. "Weiter so wie bisher".

Somit können folgende Punkte festgehalten werden:

- Sanierungen weisen im Vergleich zu Neubauten um etwa 30–50 % niedrigere OI3-Punkte auf.
- Der Einsatz biogener Materialien führt zu einer Verbesserung der OI-Punkte von rund 10 % bei Sanierungen und etwa 25 % bei Neubauten.
- Eine Sanierung reduziert das gesamte Treibhauspotenzial (GWP) sowohl gegenüber dem unsanierten Bestand als auch gegenüber einem Ersatzneubau.

Abkürzungen

CO ₂ eq	<p>CO₂-Äquivalente (CO₂eq): Wie viel Treibhausgas wird freigesetzt?</p> <p>CO₂-Äquivalente sind eine Maßeinheit zur Vereinheitlichung der Klimawirkung der unterschiedlichen Treibhausgase. Da nicht nur Kohlendioxid (CO₂) zur globalen Erwärmung beiträgt, sondern auch andere Gase wie z.B. Methan (CH₄), wird die Wirkung eines jeden Gases auf das Klima in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Die CO₂-Äquivalente eines Prozesses werden berechnet, indem die Menge jedes Treibhausgases mit seinem GWP multipliziert wird.</p>
GWP	<p>Globales Erwärmungspotential: Das GWP gibt an, wie stark ein Treibhausgas über einen bestimmten Zeitraum (meist 100 Jahre) zur Erwärmung der Erde beiträgt im Vergleich zu CO₂. CO₂ erhält per Definition ein GWP von 1. Andere Gase werden im Verhältnis dazu bewertet, z.B. liegt das GWP von Methan bei 28-34.</p> <p>Je höher der GWP-Wert, desto stärker wirkt das Gas auf den Klimawandel.</p> <p>Einheit: kg CO₂-Äquivalente (kg CO₂eq)</p>
PERNT	<p>Primärenergie nicht erneuerbar (PERNT): Wie viel Energie aus fossilen Quellen wird verbraucht? Gibt die Energiemenge aus nicht erneuerbaren Quellen an (z. B. Erdöl, Erdgas, Kohle, Uran), die für Herstellung, Betrieb und Entsorgung eines Gebäudes benötigt wird.</p> <p>Einheit: kWh/m² (über den Lebenszyklus des Gebäudes)</p> <p>Bedeutung: Je niedriger der PERNT-Wert, desto geringer der Verbrauch fossiler Energien – ein wichtiger Indikator für die ökologische Qualität eines Bauprojekts.</p>
AP	<p>Versauerungspotential: Durch die Umwandlung von Luftschadstoffen in Säure wird saurer Regen verursacht. Das führt zu Waldschäden, übersäuerten Böden und toten Gewässern. Verursacher sind Schadstoffe aus Schornsteinen, Autoabgasen, usw. Das Säurebildungspotential wird in Schwefeldioxid kg SO₂ äquivalent angegeben [2].</p>
graue Energie	<p>Als graue Energie wird im allgemeinen Sprachgebrauch die Primärenergie bezeichnet, welche für die Herstellung, den Transport, die Lagerung, den Verkauf und die Entsorgung eines Produktes benötigt wird. Speziell auf das Bauwesen bezogen inkludiert dies die Energie „zum Gewinnen von Materialien, zum Herstellen und Verarbeiten von Bauteilen, zum Transport von Menschen, Maschinen, Bauteilen und Materialien zur Baustelle, zum Einbau von Bauteilen im Gebäude sowie zur Entsorgung“. Dies bezieht neben der Neuerrichtung auch die Instandhaltung (inkl. Ersatzteilversorgung), Modernisierung, den Umbau sowie Rückbau des Gebäudes während seiner Lebenszeit mit ein. Graue Energie wird bei Gebäuden i.d.R. in Megajoule bzw. Kilowattstunde pro Quadratmeter und Jahr (MJ/(m²a) bzw. kWh/(m²a)) angegeben. Die Treibhausgasemissionen, welche durch den Bedarf an grauer Energie und deren Bereitstellung entstehen, werden auch graue Emissionen genannt [1].</p>

Abbildungen

Abbildung 1: Lebenszyklusphasen mit Bezeichnungen der Systemgrenzen im allgemeinen Sprachgebrauch [1].	5
Abbildung 2: 1956 Willi Amann, Maurer bei der Arbeit am Haus St. Antoniusstraße Nr. 20. Die Vermutung, dass im Haus 12a Vibrosteine oder Splittbetonsteine eingesetzt wurden, lässt sich auf jenes Foto aus dem Buch „Die Bludenzener Südtiroler-Siedlung“ [10] stützen. Dort sieht man, dass das Haus Nr. 20 mit vermutlich so einer Art Stein gemauert wurde. (Foto: Fotosammlung Ursula Gießmann, Bludenz).....	9
Abbildung 3: Dachstuhl mit Holzsparren. Dachlattung und Biberschwanzziegeln (Foto: Energieinstitut Vorarlberg).....	10
Abbildung 4: Gebäude vor und nach der Sanierung (Foto links: Energieinstitut Vorarlberg, Foto rechts: Dietmar Walser).....	10
Abbildung 5; Schnitte durch das Gebäude nach Sanierung/ Erweiterung; ohne Maßstab; Johannes Kaufmann und Partner	11
Abbildung 6: Nutzungsdauern der jeweiligen Gebäudekomponenten nach OI-Leitfaden v.5.0.	19
Abbildung 7: Vergleich der Auswirkung der Bilanzgrenze auf die Oekoindex OI3 Punktezahl (Berechnung erstellt mit baubook eco2soft, LCA Phasen A1-A3, B4, mit Haustechnik)	20
Abbildung 8: Vergleich der Auswirkung der Bilanzgrenze auf das Globale Erwärmungspotential GWP-Total (Berechnung erstellt mit baubook eco2soft, ohne Haustechnik, LCA Phasen A1-A3, B4, C1-C4, ohne Haustechnik).....	21
Abbildung 9: OI3 BG5 BZF - Vergleich Sanierungsvarianten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, mit Haustechnik, LCA-Module A1-A3, B4)	22
Abbildung 10: OI3 BG5 BZF - Vergleich Sanierungsvarianten nach Bauteiltyp (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, mit Haustechnik, LCA-Module A1-A3, B4).....	23
Abbildung 11: Primärenergiebedarf nicht Erneuerbar PENRT - Vergleich Sanierungsvarianten nach Bauteiltyp (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik)	24
Abbildung 12: Globales Erwärmungspotential GWP-total und GWP-biogen - Vergleich Sanierungsvarianten nach Bauteiltyp (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik)	25
Abbildung 13: OI3 BG5 BZF - Vergleich Neubauvarianten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik)	26
Abbildung 14: OI3 BG5 BZF - Vergleich Neubauvarianten nach Bauteiltyp (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik).....	26
Abbildung 15: OI3 BG5 BZF - Vergleich Hüllqualitäten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik)	27

Abbildung 16: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar PENRT - Vergleich Hüllqualitäten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Hautechnik)	28
Abbildung 17: Globales Erwärmungspotential GWP Total und GWP Biogen - Vergleich Hüllqualitäten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Hautechnik)	28
Abbildung 18: Primärenergie nicht erneuerbar PENRT - Vergleich Sanierungsvarianten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, C1-C4, ohne Hautechnik)	29
Abbildung 19: Primärenergie nicht erneuerbar PENRT - Vergleich Sanierungsvarianten nach LCA-Modulen (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, C1-C4, ohne Hautechnik)	30
Abbildung 20: Globales Erwärmungspotential GWP-Total und GWP Biogen - Vergleich Sanierungsvarianten (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, C1-C4, ohne Haustechnik)	31
Abbildung 21: Globales Erwärmungspotential GWP-Total und GWP-Biogen - Vergleich Sanierungsvarianten nach LCA-Modulen (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, C1-C4, ohne Haustechnik)	31
Abbildung 22: OI3 BG5 BZF - Vergleich Sanierung und Neubau (gerechnet mit baubook eco2soft nach OI3-Leitfaden V5.0, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Hautechnik).....	33
Abbildung 23: Primärenergiebedarf nicht Erneuerbar PENRT - Vergleich Sanierung und Neubau (gerechnet mit baubook eco2soft nach OI3-Leitfaden V5.0, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik)	33
Abbildung 24: Globales Erwärmungspotential GWP-Total - Vergleich Sanierung und Neubau (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, mit Haustechnik).....	34
Abbildung 25: Globales Erwärmungspotential GWP-Total - Vergleich Sanierung und Neubau (gerechnet mit baubook eco2soft, IBO Richtwertekatalog 2020, Betrachtungszeitraum 50a, LCA Module A1-A3, B4, C1-C4, ohne Haustechnik)	35
Abbildung 26: GWP Summe der vier Varianten, in grün GWP Gebäude (A1-A3, B4, C1-C4) und in rot GWP Betrieb (B6).....	36

Tabellen

Tabelle 1: Bauteilaufbauten der Ausführungsvariante Kreuzlagen Mineralwolle (Grafiken: baubook eco2soft).....	12
Tabelle 2: Vergleich ausgewählter Bauteilaufbauten zwischen den Vergleichsvarianten (Grafiken: baubook eco2soft).....	14

Tabelle 3: Vergleich der Bauteilaufbauten der untersuchten Ersatzneubauvarianten (Grafiken: baubook eco2soft).....	15
Tabelle 4 Vergleich Sanierung und Ersatzneubau	32

Literatur

- [1] „Protokollband Nr. 58; Energieeffizienz und CO₂-Emissionen im Lebenszyklus Teil 1: Energieeffizienz und CO₂-Emissionen von Baustoffen und Baukonstruktionen“, Passivhaus Institut Dr. Feist, Darmstadt, Protokollband Nr. 58, Apr. 2024.
- [2] Arbeitsgruppe Ökoindex3 der Bundesländer, Hrsg., „OI3 – Ökoindex 3; Das Instrument zur ökologischen Materialwahl“. März 2011. Verfügbar unter: <https://www.baubook.info/de/oekoprogramme/oekoindex/downloads/oi-folder.pdf>
- [3] „Was ist eine EPD?“, 23. Oktober 2025. Verfügbar unter: <https://www.bau-epd.at/epd/was-ist-eine-epd>
- [4] baubook, „baubook: Die Datenbank für ökologisches Bauen und Sanieren“. IBO GmbH und Energieinstitut Vorarlberg, Wien/Dornbirn, 2025. Verfügbar unter: <https://www.baubook.info>. [Zugegriffen: 8. März 2016]
- [5] Passive House Institut, „Manufacturing Energy Evaluation Tool (MEET)“. Darmstadt, 2025. Verfügbar unter: https://passipedia.org/planning/tools/manufacturing_energy_evaluation_tool
- [6] S. I. A. Merkblatt, „2032: Graue Energie von Gebäuden“, *Swiss Soc. Eng. SIA Zurich Switz.*, 2010.
- [7] IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Hrsg., „LEITFADEN ZUR BE-RECHNUNG des Oekoindex OI3 und des Globalen Erwärmungspotenzials für Bauteile und Gebäude; Version 5.0“. September 2023. Verfügbar unter: <https://www.baubook.info/de/service/downloads/oi-leitfaden/oi-leitfaden-v5-0-stand-september-2023.pdf>
- [8] Österreichisches Institut für Bautechnik, „Stakeholder-Workshop zur OIB-Richtlinie 7 Austausch zur nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen“, Wien, Okt. 2025. Verfügbar unter: <https://www.oib.or.at/oib-insights/stakeholder-workshop-zur-oib-richtlinie-7-austausch-zur-nachhaltigen-nutzung-natuerlicher-ressourcen/>
- [9] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB-Grundlagendokument zur Ausarbeitung einer OIB-Richtlinie 7 Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen*. 2023. Verfügbar unter: <https://www.oib.or.at/richtlinien/oib-richtlinien-2023/oib-richtlinie-7-grundlagendokument>. [Zugegriffen: 11. November 2025]
- [10] P. Bußjäger, J. Concin, und K. Gerstgrasser, *Die Bludenzer Südtiroler-Siedlung und ihre Bewohner*, Bd. Heft 43-45. in *Bludenzer Geschichtsblätter*, vol. Heft 43-45. Bludenz: Geschichtsverein Region Bludenz, 1998.
- [11] Vorarlberger Landesregierung, *Verordnung der Landesregierung über die technischen Erfordernisse von Bauwerken (Bautechnikverordnung – BTV) 2022*. 2022, S. 22. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrVbg&Gesetzesnummer=20000735>. [Zugegriffen: 21. November 2025]