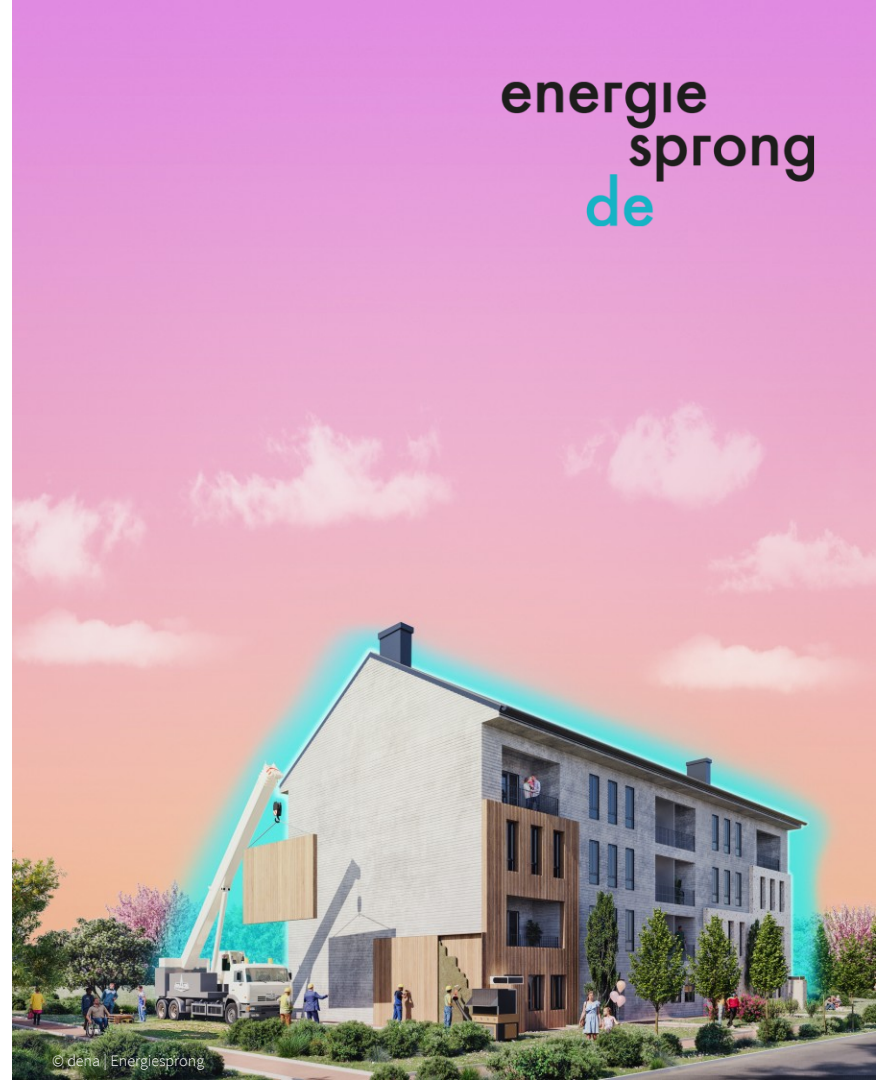


Studie zur Lebenszyklusanalyse im seriellen Sanieren

Bearbeitung:
weberbrunner pischetsrieder architektur
und FrieNa – Friedel Nachhaltigkeitsberatung

Ein Projekt der

dena



Autorenschaft

Autorinnen und Autoren:

Eva-Maria Friedel, FrieNa – Friedel Nachhaltigkeitsberatung
Elise Pischetsrieder, weberbrunner pischetsrieder architektur
Marie Heyer, weberbrunner pischetsrieder architektur
Jule Jünger, weberbrunner pischetsrieder architektur
Miriam Attallah, weberbrunner pischetsrieder architektur

Mitwirkende:

Anna Rodermund, dena-Kompetenzzentrum Serielles Sanieren/Energiesprong DE
Joseline Silva Cousiño, dena-Kompetenzzentrum Serielles Sanieren
/Energiesprong DE
Dirk Förster-Wehle, TAG Immobilien AG

Vielen Dank für die Mitarbeit und das Bereitstellen der Unterlagen:

Nadja Muche, B&O Seriell GmbH
Alexander Fuchs, B&O Seriell GmbH
Michael Ritter, TAG Immobilien AG

Wir bedanken uns bei allen Teilnehmenden unserer Endpräsentation am
07. Juli 2026. Ihre Kommentare und Inputs leisteten einen wichtigen Beitrag.

Im Auftrag von:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)



© Marie Heyer, weberbrunner pischetsrieder architektur

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie untersucht und vergleicht bauliche und technische Sanierungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Treibhausgasemissionen im Bau und Betrieb von Wohngebäuden. Das übergeordnete Ziel ist, die Relevanz der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA), des gewählten Energiemix und der spezifischen Baustoffauswahl für eine nachhaltige Transformation des Gebäudesektors aufzuzeigen sowie die Vorteile der seriellen Sanierung zu untersuchen. Als repräsentatives Modellprojekt dient ein unsaniertes, viergeschossiges Mehrfamilienhaus aus den 1960er-Jahren, das exemplarisch für einen Großteil des sanierungsbedürftigen Bestands in Deutschland steht. Um eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere energetische Sanierungsvorhaben zu gewährleisten, basiert die Untersuchung auf einer validen Datengrundlage des bundesdeutschen Durchschnittsenergiemix.

Die Quintessenz der Studie verdeutlicht, dass insbesondere das serielle Sanieren einen maßgeblichen Beitrag zum Erreichen der nationalen Klimaziele der Bundesrepublik Deutschland leisten kann.

Durch die serielle Sanierung wird im Vergleich zu herkömmlichen Sanierungen mit Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) – im Folgenden konventionelle Sanierung genannt – bereits in der Konstruktionsphase ein geringerer Anteil an Treibhausgasemissionen (THG) verursacht und gleichzeitig durch die Verwendung ökologischer Materialien eine hohe Kohlenstoffspeicherfähigkeit erreicht. Parallel dazu führt die energetische Hüllensanierung gemäß dem KfW-Effizienzhaus-55-Standard zu einer erheblichen Reduktion des betriebsbedingten Energiebedarfs. Die ökobilanzielle Auswertung zeigt, dass sich der Aufwand für die bauliche Modernisierung und den technischen Ausbau durch die massive Reduktion der Betriebsenergie bereits innerhalb der ersten zwei bis drei Jahre amortisiert. Die Ergebnisse unterstreichen das Potenzial serieller Sanierungslösungen mit ökologischen Materialien für den Klima- und Ressourcenschutz im Bausektor.

Inhalt

1. Einleitung

- 1.1. Ausgangslage
- 1.2. Aufgabenstellung
- 1.3. Ziel der Studie

2. Modellprojekt

3 Methodik

- 3.1. Datengrundlagen
- 3.2. Betrachtete Indikatoren
- 3.3. Berechnungsgrundlagen
- 3.4. Grundlage für Betriebsenergie

4. Vorgehensweise

- 4.1. Erläuterung Vorgehensweise
- 4.2. Erläuterung Szenarien

5. LCA Hüllsanierung

- 5.1. Sanierungsszenarien Hülle
- 5.2. Erläuterung Bauteile
- 5.3. Ergebnisse LCA Hüllsanierung

6. Ergebnisse LCA gesamt

- 6.1. Ergebnisse LCA serielle Sanierung (A) und konventionelle Sanierung (B)
- 6.2. Ergebnisse LCA Szenarien Bestand (C)
- 6.3. Ergebnisse LCA gesamt
- 6.4. Zeitdiagramme

7. Fazit

- 7.1. Einfluss der Art der Energieversorgung
- 7.2. Vorteile einer Gebäudesanierung
- 7.3. Vergleich serielle und konventionelle Sanierung
- 7.4. Bedeutung des zirkulären Bauens
- 7.5. LCA Fazit

8. Ausblick

- 8.1. Potenziale biobasierter und zirkulärer Bauweisen
- 8.2. Re-Use und Ressourceneffizienz
- 8.3. Perspektiven für die Praxis

9. Literaturverzeichnis

10. Abbildungsverzeichnis

11. Abkürzungsverzeichnis

12. Anhang

13. Impressum

1. Einleitung

Ausgangslage

Der Gebäudesektor zählt in Deutschland zu den bedeutenden Verursachern von Treibhausgasemissionen. Gegenwärtig entfallen rund 40 % der nationalen Treibhausgasemissionen (vgl. Abb. 1) direkt oder indirekt auf den Bau, den Betrieb sowie die Herstellung und Entsorgung von Gebäuden und Baustoffen¹. Vor dem Hintergrund des gesetzlich verankerten Ziels, bis zum Jahr 2045 Klimaneutralität zu erreichen², besteht insbesondere im Gebäudesektor ein erheblicher Handlungsbedarf.

Neben der fortschreitenden Dekarbonisierung der Energieversorgung kommt der energetischen Qualität der Gebäudehülle eine zentrale Bedeutung zu. Eine effiziente Gebäudehülle reduziert die Transmissionswärmeverluste und senkt dadurch den Energiebedarf für Heizung und Kühlung nachhaltig. Die Verringerung des Endenergiebedarfs stellt somit einen wesentlichen Baustein zur Reduktion der betriebsbedingten Treibhausgasemissionen von Gebäuden dar.

Über die Betriebsphase hinaus gewinnen jedoch auch die Umweltauswirkungen der eingesetzten Baustoffe (vgl. Abb. 2) zunehmend an Bedeutung. So sind bei Sanierungsmaßnahmen die mit der Herstellung, dem Transport, dem Einbau, der Nutzung und der Entsorgung der verwendeten Materialien verbundenen Treibhausgasemissionen zu berücksichtigen.

Vor diesem Hintergrund verfolgt die vorliegende Studie einen ganzheitlichen Bewertungsansatz auf Basis der Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA). Ziel ist es, sowohl die betriebsbedingten als auch die materialbedingten Treibhausgasemissionen von Gebäudesanierungen über den gesamten Lebenszyklus zu erfassen und zu bewerten sowie explizit die Vorteile der seriellen Sanierung im Vergleich zur konventionellen herauszuarbeiten.

¹ BBSR (2020): *Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland*

² UBA (2026): *Treibhausgasminderungsziele in Deutschland*

THG-Emissionen

nach Sektoren

Bauen und Sanieren erzeugen weitere THG-Emissionen, nicht nur im Gebäudesektor

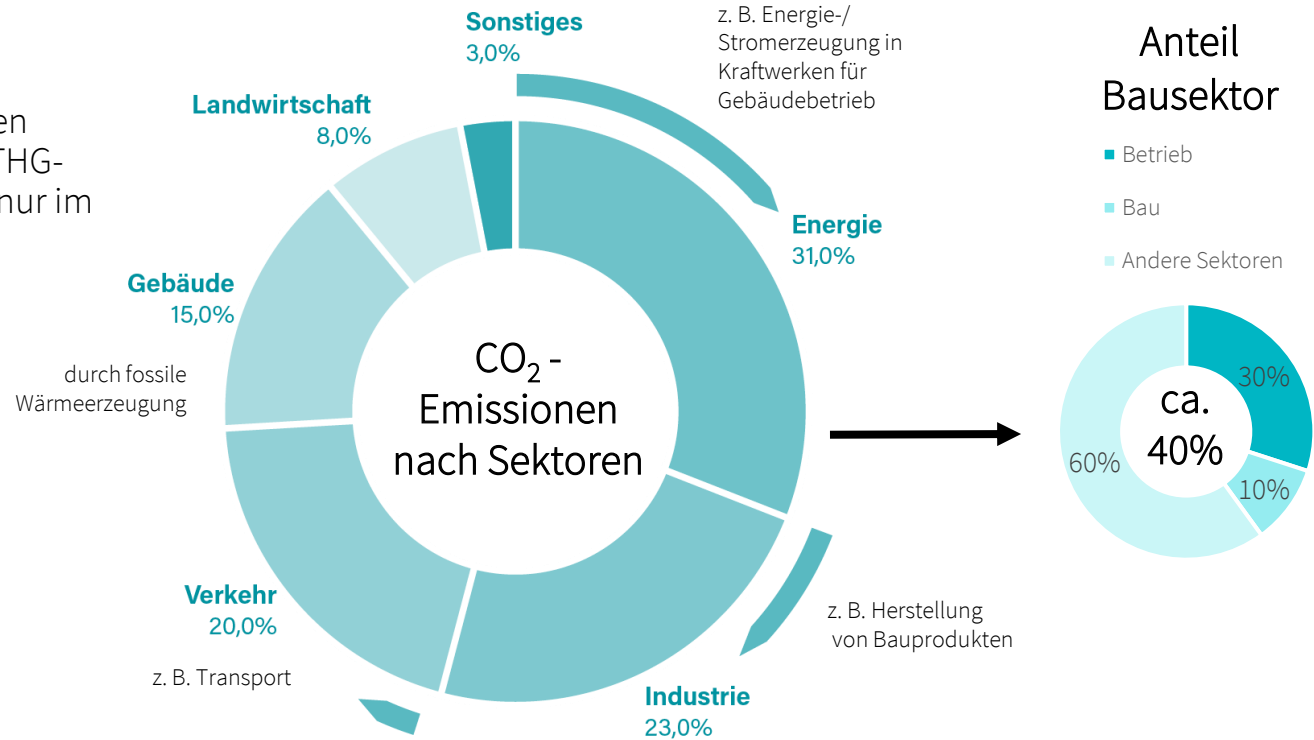
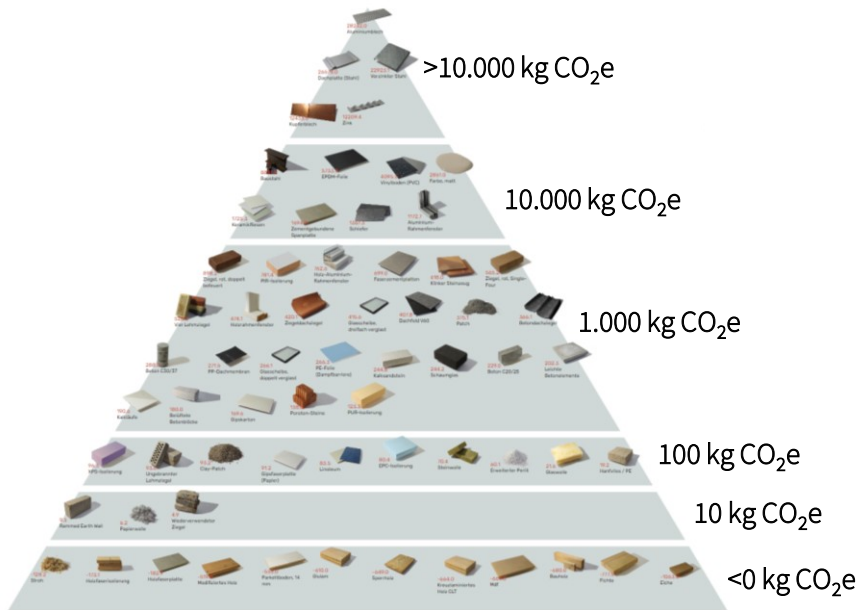


Abbildung 1: Darstellung nach BBSR (2020): Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland

THG-Emissionen

verschiedener Materialien*



Metallisch

Mineralisch / Synthetisch

Biologisch / Pflanzlich

Materialien, die hohe THG-Emissionen haben, sollten so wenig wie möglich und immer wieder verwendet werden.

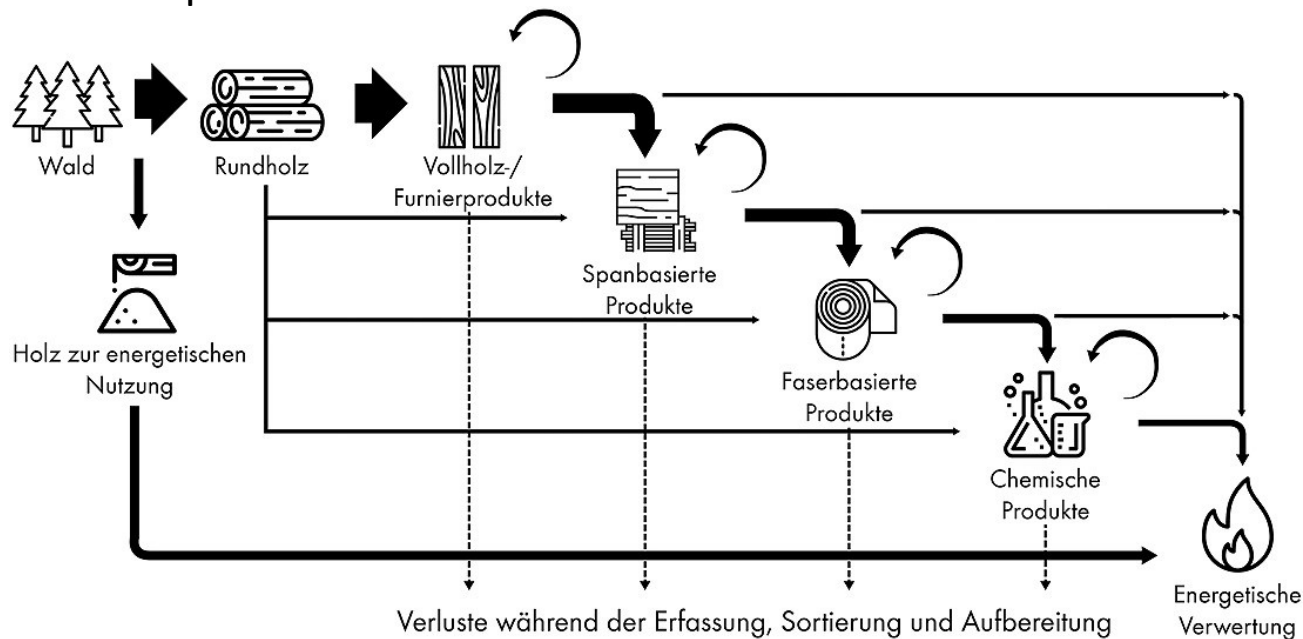
Ein maximaler Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen und Sekundärbaustoffen ist die Prämisse.

* Bezogen auf die Module A1-A3, pro m³ Material

Abbildung 2: CINARK – Centre for Industrialized Architecture (2019): *The Material Pyramid*

Kaskadennutzung

am Beispiel von Holz



Die Materialien sollten so lange wie möglich im Kreislauf gehalten werden. Eine Kaskadennutzung sollte immer das Ziel sein, das heißt, eine mehrstufige stoffliche Verwertung ist der thermischen Verwertung (Verbrennung) vorzuschalten.

Abbildung 3: Weidner, S. et al. (2021): *Graue Emissionen im Bauwesen – Bestandsaufnahme und Optimierungsstrategien*

Aufgabenstellung

Die Studie untersucht anhand eines nach dem Energiesprong-Prinzip geplanten und realisierten Modellprojekts verschiedene Sanierungsstrategien mittels einer Lebenszyklusanalyse (LCA) nach DIN EN 15978. Im Mittelpunkt stehen die Ermittlung und der Vergleich des Treibhausgaspotenzials (Global Warming Potential, GWP) über den gesamten Lebenszyklus in einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren. Zusätzlich wird die Kohlenstoffspeicherfähigkeit (Carbon Storage Potential, CSP) der biobasierten Baustoffe für alle Szenarien verglichen.

In der Studie werden drei Szenarien betrachtet: Szenario A bildet eine serielle Sanierung nach Effizienzhaus-Standard EH 55 auf Basis etablierter Energiesprong-Lösungen ab, Szenario B stellt eine konventionelle Sanierung (Wärmedämmverbundsystem) im Effizienzhaus-Standard EH 55 dar und Szenario C beschreibt den Weiterbetrieb des Gebäudes ohne Sanierung als Referenzszenario. Für das Szenario A werden darüber hinaus Optimierungspotenziale (Szenario A materialoptimiert) mittels der weiteren Substituierung konventioneller Materialien durch nachwachsende Rohstoffe sowie wiederverwendete (Re-Use) Bauteile aufgezeigt und verglichen.

Ziel der Studie

Ziel der Studie ist es, die klimawirkungsbezogenen Auswirkungen verschiedener Sanierungsstrategien im seriellen und konventionellen Sanieren transparent und vergleichbar darzustellen. Die großen Hebel in der Sanierung wie die Wahl der Energieversorgung sowie das Konzept der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) und der verbauten Materialien werden betrachtet und die gegenseitigen Wechselwirkungen in den verschiedenen Szenarien und Amortisationsbetrachtungen verglichen.

Die Ergebnisse sollen eine fundierte Entscheidungsgrundlage für Planungsprozesse, Investitionsentscheidungen und Förderstrategien schaffen sowie die Weiterentwicklung klimaschonender Konzepte im seriellen Sanierungssektor unterstützen.

2. Modellprojekt

Modellprojekt

Als Modellprojekt dient ein unsaniertes Mehrfamilienhaus der TAG Immobilien AG in Salzgitter aus dem Baujahr 1962 mit der Energieeffizienzklasse F (vgl. Abb. 4-16). Das Projekt umfasst zwei baugleiche viergeschossige Wohngebäude mit insgesamt 72 Wohneinheiten und einem unausgebauten Dach, das im Zuge der Sanierung gedämmt wird, aber ungenutzt bleibt. Im Jahr 2026 werden beide Baukörper mittels vorgefertigter Holzständerelemente seriell saniert und auf den Effizienzhaus-Standard EH 55 gebracht. Die eingeschnittenen Loggien werden zugunsten zusätzlicher Wohnfläche geschlossen und vorgeständerte Balkone ergänzt.

Die Gebäude werden konstruktiv identisch saniert, unterscheiden sich jedoch im Konzept der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA): Im Gebäude Suthwiesenstraße erfolgt die Warmwasserversorgung zentral über eine Wärmepumpe, während im Gebäude Schäferkamp eine dezentrale Versorgung über Warmwasserboiler vorgesehen ist. Die Wärmeversorgung beider Gebäude erfolgt über Fernwärme, die aus industrieller Abwärme eines Stahlwerks bereitgestellt wird.

Das mit Warmwasser-Wärmepumpen versorgte Gebäude in der Suthwiesenstraße verfügt über Pufferspeicher. In diesen wird die auf den Gebäudedächern mittels Photovoltaik erzeugte Elektroenergie in Wärmeenergie umgewandelt und in den zentralen Pufferspeichern vorgehalten. Dies ermöglicht die zeitliche Entkopplung zwischen Erzeugung und Verbrauch.

Eckdaten



Bestandsgebäude



Gebäude saniert – Nordseite

Baujahr:	1962
Standort:	Schäferkamp 33-37 / Suthwiesenstraße 55-59
Energieträger	Gas – Nahwärmanlage Heizung, WW dezentral
Anzahl	
Wohneinheiten:	72 – 2 Gebäudekörper
Nettoraumfläche:	ca. 3.018 m ² *
Energieeffizienzklasse:	F
Endenergiebedarf:	ca. 190 kWh/m ² a



Lageplan

Fertigstellung:	2026
Energieträger:	Fernwärme / Wärmepumpe / Photovoltaik
Warmwasser:	2 Varianten: zentral und dezentral
Modernisierte Bauteile:	Gebäudehülle, Balkonanlage, Innenausbau, Treppenhaus, Heizung und Warmwasser
Energieeffizienzklasse:	KfW EH 55 / A
Endenergiebedarf:	ca. 48 kWh/m ² a

*Für die Szenarien saniert/unsaniert wurde die gleiche Nettoraumfläche (NRF) angenommen.



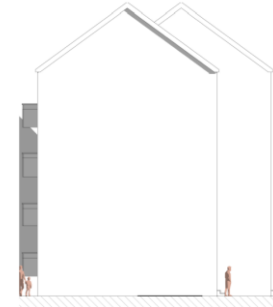
Gebäude saniert – Südseite

Abbildung 4-7: TAG Immobilien AG: Modellprojekt in Salzgitter (Bilder und Daten von TAG Immobilien)

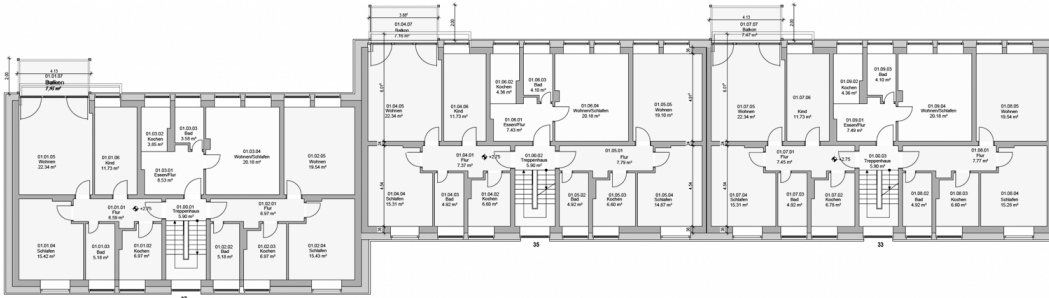
Plangrundlagen



Ansicht Nord



Ansicht Ost



Grundriss 1. OG



Querschnitt

Abbildung 8-11: TAG Immobilien AG; Modellprojekt in Salzgitter (Bilder und Daten von TAG Immobilien)

Baustellenbesichtigung



Ansicht



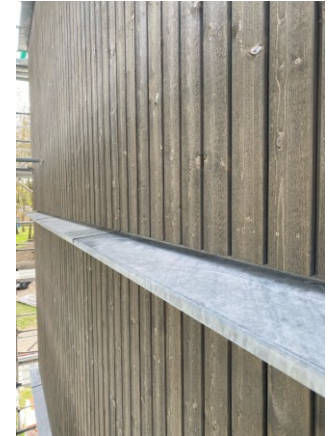
Einbau der vorgefertigten
Holzrahmenbauwände



Ausbau der alten Fenster



Detail Kragkonsolen



Detail Brandblech und Holzfassade

Abbildung 12-16: Marie Heyer, weberbrunner pischetsrieder architektur: *Modellprojekt in Salzgitter*, Stand: 16.04.2026

3. Methodik

Datengrundlagen

Die Lebenszyklusanalyse basiert auf Datensätzen der ÖKOBAUDAT 2024 (Version I_A2). Es werden grundsätzlich generische Datensätze verwendet, um die Vergleichbarkeit und die Transparenz der Datengrundlage zu gewährleisten. Lediglich für ausgewählte Baustoffe, für die genaue Informationen vom Generalunternehmer vorliegen, werden explizite Herstellerdatensätze herangezogen, beispielsweise für Schaumglas und Mineralwolle. Der Betrachtungszeitraum der Analyse beträgt gemäß DIN EN 15978 50 Jahre³. Die Materialnutzungsdauern werden entsprechend der BBSR-Tabelle 2026 angesetzt⁴. Die Sanierungsszenarien erfüllen grundsätzlich die Kriterien des Effizienzhaus-Standards EH 55 hinsichtlich des Wärmeschutzes⁵. Darüber hinaus werden die brandschutztechnischen Anforderungen der Gebäudeklasse 4 berücksichtigt⁶.

³ DIN EN 15978:2012-10

⁴ BBSR (2026): Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Nutzungsdauern von Bauteilen

⁵ GEG (2020)

⁶ NBauO (2012)

Betrachtete Indikatoren

Der Fokus der Lebenszyklusanalyse liegt auf dem Indikator GWP (Global Warming Potential, Treibhauspotenzial). Er wird auf Bauteilebene in $\text{kg CO}_2\text{-Äquivalente pro m}^2$ Bauteilfläche ($\text{kg CO}_2\text{e / m}^2$ Bauteil) sowie auf Gebäudeebene in $\text{kg CO}_2\text{-Äquivalente total und in kg CO}_2\text{-Äquivalente pro m}^2$ Nettoraumfläche und Jahr ($\text{kg CO}_2\text{e / m}^2$ NRF a) angegeben. Die Vergleichbarkeit zu anderen LCA-Bilanzierungen in Deutschland, wie zum Beispiel nach dem QNG-System (Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude), ist somit gegeben. Zusätzlich zum GWP wird der Indikator CSP (Carbon Storage Potential, Kohlenstoffspeicherungspotenzial) für Materialien, die nachwachsende Rohstoffe beinhalten, berechnet. Das CSP wird in dem Tool eLCA in GWPbiogenic Modul A1-A3, ausgewiesen. Das Modul A1 GWPbiogenic bildet die Menge an CO_2 ab, die während des Wachstums (z. B. von Holz) aus der Atmosphäre entnommen und als Kohlenstoff im Material gespeichert wurde.

Die Summe aus A1-A3 GWPbiogenic bildet den Netto-Kohlenstoff ab, der tatsächlich im fertigen, ausgelieferten Bauteil gebunden ist. Solange die Materialien im Stoffkreislauf bleiben und nicht thermisch verwertet werden, kann dieser positive Effekt der Kohlenstoffspeicherung (vgl. Abb. 17) von biobasierten Materialien berücksichtigt werden. Das CSP wird wie das GWP in $\text{kg CO}_2\text{-Äquivalente pro m}^2$ Bauteilfläche ($\text{kg CO}_2\text{e / m}^2$ Bauteil) sowie auf Gebäudeebene in $\text{kg CO}_2\text{-Äquivalente total und in kg CO}_2\text{-Äquivalente pro m}^2$ Nettoraumfläche und Jahr ($\text{kg CO}_2\text{e / m}^2$ NRF a) angegeben.

Betrachtete Indikatoren

Treibhausgaspotenzial = Global Warming Potential (GWP)

Für alle Bauteile und TGA berechnet und ausgewiesen: $\text{GWP}_{\text{total}}$ A1-A3, B4, C3, C4

Für die Betriebsenergie: $\text{GWP}_{\text{total}}$ B6.1

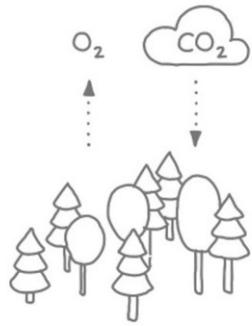
In $\text{kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$ auf Gebäudeebene, bei Detailvergleich der Bauteile $\text{kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteilfläche

Kohlenstoffspeicherpotenzial = Carbon Storage Potential (CSP)

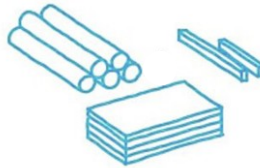
Für nachwachsende Rohstoffe berechnet und ausgewiesen: $\text{GWP}_{\text{biogenic}}$ A1-A3

In $\text{kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$ auf Gebäudeebene, bei Detailvergleich der Bauteile $\text{kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteilfläche

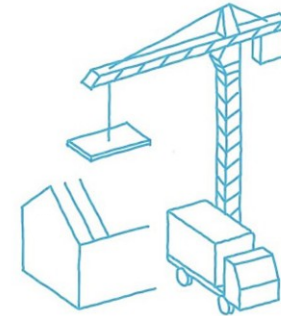
Kohlenstoffspeicherpotenzial



1 m³ Holz speichert in der Wachstumsphase ca. 1.000 kg CO₂ bzw. ca. 250 kg Kohlenstoff.



Dieser Effekt wird als Kohlenstoffspeicherpotenzial (Carbon Storage Potential, CSP) bezeichnet. Sowohl Holz als auch weitere nachwachsende Rohstoffe verfügen über ein solches CSP.



In der seriellen Sanierung kommen viele nachwachsende Rohstoffe zum Einsatz. Solange sie im Stoffkreislauf verbleiben, bleibt der darin gebundene Kohlenstoff der Atmosphäre entzogen.

Abbildung 17: Kohlenstoffspeicherpotenzial, eigene Darstellung

Berechnungsgrundlagen

Die Lebenszyklusbilanzierung erfolgt gemäß DIN EN 15978-1:2021-09 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Methodik zur Bewertung der Qualität von Gebäuden – Teil 1: Umweltqualität“ unter Verwendung der Software eLCA. Für die Kostengruppen (KG) 300 (Konstruktion) und 400 (Technischer Ausbau) sowie 442 (PV-Anlage auf dem Dach) werden die Module A1-A3 (Rohstoffbereitstellung, Transport und Herstellung), B4 (Instandhaltung bzw. Ersatz) sowie C3-C4 (Abfallbehandlung und Entsorgung) bilanziert (vgl. Abb. 18). Die Bilanzierung der Kostengruppe 400 erfolgt entsprechend den Vorgaben des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG)⁷. Die Auswahl der betrachteten Module orientiert sich an den Lebenszyklusphasen mit den größten Umweltauswirkungen⁸. Zudem ist durch die Wahl dieser Module die Vergleichbarkeit zu anderen LCA-Projekten in Deutschland, die zum Beispiel nach dem QNG-System bilanziert wurden, gegeben.

Die Bilanzierung der Technischen Gebäudeausrüstung sowie der PV-Anlage auf dem Dach erfolgt gemäß der Rechenwerttabelle 2023 (Version 1.3)⁹. Die durch die Photovoltaik-Anlage erzielte Emissionsminderung des Moduls B6.1 durch eine Eigenstromnutzung wird gesondert ausgewiesen. Darüber hinaus wird das Modul D2 der PV-Anlage, das die potenziell vermiedenen Treibhausgasemissionen durch die Einspeisung von überschüssig erzeugtem Solarstrom in das öffentliche Stromnetz beschreibt, ebenfalls separat angegeben.

In dem Szenario mit wiederverwendeten (Re-Use) Bauteilen wird der Ansatz der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) verfolgt und die Werte der entsprechenden Materialien in allen Modulen auf 0 kg CO₂e gesetzt¹⁰. Die Betriebsenergie wird über das Modul B6.1 berücksichtigt; die hierfür zugrunde gelegten Energieverbräuche basieren auf den Angaben des Energieberaters¹¹.

⁷ BMWSB (2024): QNG-Anforderungsdokument: Anhang 3.1.1, Anlage 3

⁸ Schneider, A. M. et al. (2025): Carbon Mitigation Potential in Building Design: A Region-Specific LCA Approach for Nature-Based Construction

⁹ BMWSB/BBSR (2024): Ökobilanzierung-Rechenwerte 2023, Version 1.3

¹⁰ DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Sanierung (2021): Ökobilanz des Gebäudes

¹¹ Anhang 2 (2026): QE-Kennzahlen des Energieberaters

Betrachtete Module

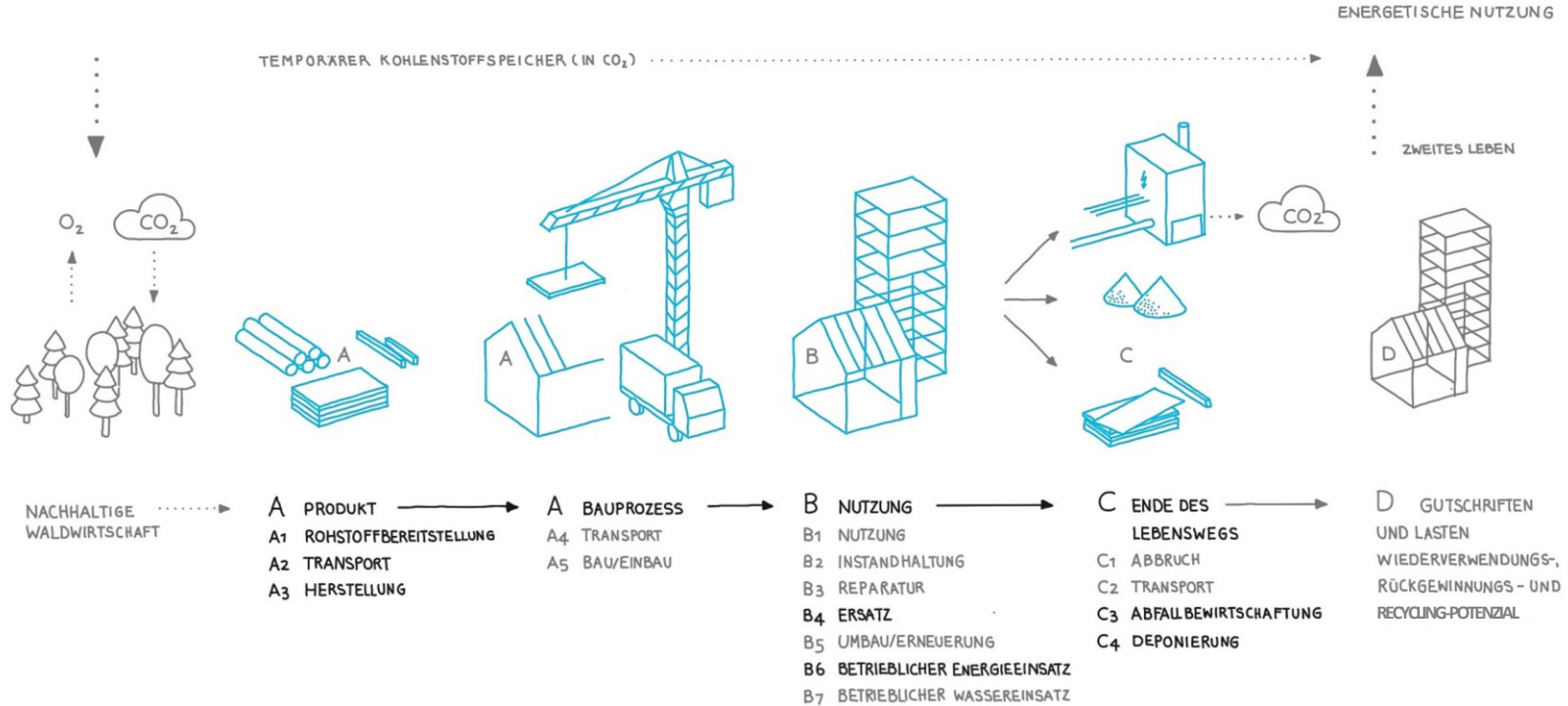


Abbildung 18: Darstellung nach Djahanschah, S. et al. (2022): *Lebenszyklus eines Gebäudes nach DIN EN 15978 und DIN EN 15804*, DBU Bauband 4, Wohnquartier in Holz

Grundlage für Betriebsenergie

Die Bilanzierung der Betriebsenergie erfolgt ebenfalls auf Grundlage der Vorgaben des QNG-Systems sowie der Rechenwerttabellen 2023 (Version 1.3)¹². Für den deutschen Fernwärmemix wird ein durchschnittlicher Emissionsfaktor von 145 g CO₂-Äquivalenten je kWh¹³ angesetzt. Für das gebaute/geplante Modellprojekt gilt ein standortspezifischer Fernwärmemix aus unvermeidbarer industrieller Abwärme¹⁴. Dieser wird entsprechend den Sonderberechnungsvorschriften für Fernwärme nach QNG ersatzweise mit den Emissionswerten für feste Biomasse ohne Kraft-Wärme-Kopplung bilanziert¹⁵. Für eine bessere Vergleichbarkeit wird dieser Fernwärmemix jedoch nur in den C-Varianten betrachtet. In den Sanierungsszenarien wird von einem durchschnittlichen deutschen Fernwärmemix ausgegangen. Für Nahwärmenetze werden gemäß den QNG Technical FAQ¹⁶ dieselben Datensätze und Bilanzierungsvorschriften wie für Fernwärmenetze angewendet.

Die Bilanzierung des Strombezugs erfolgt auf Basis des deutschen Strommix gemäß der Rechenwerttabelle 2023 (Version 1.3). Zur Gewährleistung einer konsistenten Vergleichbarkeit der Szenarien wird in der unsanierten und der sanierten Variante dieselbe beheizte Nettoraumfläche (NRF) zugrunde gelegt. Die Bilanzierung der Technischen Gebäudeausrüstung sowie der PV-Anlage auf dem Dach erfolgt ebenfalls gemäß der Rechenwerttabelle 2023 (Version 1.3). Die durch die Photovoltaik-Anlage erzielte Emissionsminderung des Moduls B6.1 durch eine Eigenstromnutzung wird gesondert ausgewiesen. Darüber hinaus wird das Modul D2 der PV-Anlage, das die potenziell vermiedenen Treibhausgasemissionen durch die Einspeisung von überschüssig erzeugtem Solarstrom in das öffentliche Stromnetz beschreibt, ebenfalls separat angegeben.

¹² BMWSB (2023): *QNG-Anforderungsdokument: Anhang 3.1.1, Anlage 3*

¹³ AGFW – Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (2024): *AGFW-Hauptbericht*

¹⁴ Angabe TAG Immobilien AG

¹⁵ BMWSB/BBSR (2024): *Anhangdokument 3.4: Sonderberechnungsvorschrift Fernwärme*

¹⁶ BMWSB/BBSR (2025): *QNG FAQ*, Stand: 01.10.2025

4. Vorgehensweise

Erläuterung Vorgehensweise

Die Studie wurde schrittweise auf der Datengrundlage des Modellprojekts durchgeführt (vgl. Abb. 19). Zunächst wurde das Szenario der seriellen Sanierung auf Bauteil- und Gebäudeebene erfasst und im Rahmen der Lebenszyklusanalyse bilanziert. Darauf aufbauend wurde ein konventionelles Sanierungsszenario mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS) berechnet, dessen konstruktive Ausführung auf der Planungsgrundlage von B&O Seriell basiert. Des Weiteren wurden verschiedene Optimierungsszenarien betrachtet. Im nächsten Schritt wurde die Bilanzierung der Konstruktion (KG 300) um die Technische Gebäudeausrüstung (KG 400) und die Photovoltaik (KG 442) sowie die Betriebsenergie erweitert, um die Treibhausgasemissionen im gesamten Lebenszyklus der Sanierungsszenarien abzubilden. Da die betrachteten Sanierungsszenarien keinen Einfluss auf die Nutzungsenergie haben und sich diesbezüglich nicht unterscheiden, bleibt die Nutzungsenergie in der vorliegenden Studie unberücksichtigt.

Die Bilanzierung der unsanierten Referenzszenarien erfolgte auf Basis der Gebäudedaten des unsanierten Modellprojekts. Um den Einfluss der Energieversorgung zu untersuchen, wurden unterschiedliche Versorgungsarten und Energiemixe verglichen.

Erläuterung Vorgehensweise

LCA-Erstellung des
Modellprojekts
Szenario A-C



- Unsaniert
- Seriell saniert
- Konventionell saniert

LCA-Variantenuntersuchung mit
Konstruktionsvergleich und Optimierungen

- Varianten Anlagentechnik
- Varianten Sanierungsmaßnahmen mit unterschiedlichen Baustoffen
- Varianten Energieversorgung



Schlusspräsentation 07.07.2026
Abschlussbericht 28.07.2026

Abbildung 19: Vorgehensweise, eigene Darstellung

Erläuterung Szenarien

Überblick Szenarien

Das Ausgangsszenario des Modellprojekts zeigt ein unsaniertes Gebäude mit einer Gas-Nahwärmeversorgung (Szenario: C.Bestand). Davon ausgehend werden in den C-Szenarien die TGA und die Betriebsenergie in Varianten betrachtet (vgl. Abb. 20). In den A- und B-Szenarien werden Fassadensanierungen mit verschiedenen Materialoptionen bei gleichem Energiemix verglichen (vgl. Abb. 20).

A-Szenarien

In den Szenarien A.1a und A.1b werden die beiden Gebäude des Modellprojekts untersucht. Die Konstruktion ist in beiden Szenarien gleich: An den Längsseiten handelt es sich um eine serielle Fassadensanierung mit vorgefertigten gedämmten Holzständerelementen, an den Giebelseiten um eine konventionelle Sanierung. Der Anteil der Giebelfassaden an der gesamten Fassadefläche beträgt rund 18 %. Dach, Keller und Sockel werden konventionell mit mineralischen und synthetischen Dämmstoffen gedämmt.

Die beiden Szenarien unterscheiden sich in ihrem TGA-Konzept: Bei Szenario A.1a handelt es sich um das Gebäude Suthwiesenstraße, bei dem die Warmwasserversorgung zentral über eine Wärmepumpe erfolgt, bei Szenario A.1b um das Gebäude Schäferkamp, dessen Warmwasserversorgung dezentral über Boiler in den Wohnungen funktioniert. Bei beiden Varianten kann der gewonnene Strom aus der PV-Anlage direkt im Gebäude zur Warmwasserbereitung genutzt werden. Das Gebäude in der Suthwiesenstraße mit der Wärmepumpe verfügt über einen Pufferspeicher, der die Wärme speichert und die zeitliche Entkopplung von Wärmeerzeugung und Wärmeverbrauch ermöglicht. Die Batterie im Gebäude Schäferkamp speichert den erzeugten Solarstrom und ermöglicht so eine zeitversetzte Nutzung. Die Heizenergie wird in beiden Szenarien über den durchschnittlichen deutschen Fernwärmemix bezogen.

Bei den Szenarien A.2a und A.2b handelt es sich um eine reine serielle Fassadensanierung, das heißt, auch die Giebelfassaden werden mit gedämmten Holzständerelementen saniert. Alle weiteren Aspekte sind identisch zu den A.1-Szenarien.

Erläuterung Szenarien

B-Szenarien

Bei den B-Szenarien handelt es sich um konventionelle Fassadensanierungen mit Wärmedämmverbundsystem. In den Szenarien B.1a und B.1b wird ein WDVS mit Mineralwolldämmplatten und Putzsystem betrachtet; alle weiteren Punkte sind identisch zu den A-Szenarien. Bei den Szenarien B.2a und B.2b wird ein WDVS mit EPS-Dämmung (expandiertes Polystyrol) berechnet.

A opt.-Szenarien

Ausgehend von den A-Szenarien werden in den A-opt.-Szenarien Optimierungsmöglichkeiten in der Konstruktion untersucht. In den Szenarien A opt.1a und A opt.1b werden mineralische und synthetische Materialien in Dach, Keller, Fenstern und Balkonen durch biobasierte Baustoffe substituiert. In den Szenarien A opt.2a und A opt.2b werden zusätzlich an sinnvoller Stelle neue Materialien durch Re-Use-Bauteile ersetzt. Bei der Substitution werden die energetischen Sanierungsparameter (U-Werte) eingehalten.

C-Szenarien

In den C-Szenarien wird der unsanierte Bestand mit verschiedenen Energiekonzepten untersucht. Das Szenario C.Bestand stellt hierbei die Ausgangssituation des Modellprojekts dar: ein unsaniertes Gebäude mit einer Energieversorgung durch Nahwärme aus einer Gasanlage und Gasdurchlauferhitzer zur dezentralen Warmwasserbereitung. Im Vergleich dazu wird im Szenario C.Bestand mix für eine bessere Vergleichbarkeit zu anderen Gebäuden sowie zu den Sanierungsvarianten der durchschnittliche deutsche Fernwärmemix betrachtet. In den Szenarien C.2a und C.2b wird analysiert, wie sich der Energiebedarf verändert, wenn die Energieversorgung bei dem Modellprojekt über die Nahwärme aus einem Gaswerk bestehen bleibt, das TGA-Konzept aber auf Wärmepumpe und Warmwasserboiler umgestellt wird. Die Szenarien C.1a und C.1b beziehen sich auf die standortspezifische Fernwärme aus der Abwärme eines Stahlwerks des Modellprojekts und sind damit nicht vergleichbar mit anderen Standorten. In den Szenarien C.1a mix und C.1b mix werden die unsanierten Gebäude mit einer Energieversorgung auf Basis des deutschen Fernwärmemix betrachtet. Für die Szenarien werden die jeweils zugrunde liegenden TGA-Konzepte berücksichtigt, sodass die Berechnungen auf den entsprechenden Ausstattungen basieren.

Landkarte Szenarien

		A Serielle Sanierung				B Konventionelle Sanierung				A _{opt} Serielle Sanierung materialopt.				C Bestand unsaniert							
Varianten		A.1a	A.1b	A.2a	A.2b	B.1a	B.1b	B.2a	B.2b	Aopt.1a	Aopt.1b	Aopt.2a	Aopt.2b	C.1a.mix	C.1b.mix	C.1a	C.1b	C.2a	C.2b	C. Bestand	C. Bestand mix
KG 300	KG300																				
	A.1 Modellprojekt (serielle San. Giebel WDVS)	x	x																		
	A.2 Modellprojekt (reine serielle San.)			x	x																
	B.1 konventionelle San. WDVS HWB					x	x														
KG 400 + PV	B.2 konventionelle San. WDVS EPS							x	x												
	A _{opt} .1 Optimiert									x	x										
	A _{opt} .2 Optimiert Reuse											x	x								
	C. Unsaniert																				
	KG 400 + PV																				
	Stufwiesen: Sockel, WP, Fundament WP, Pufferspeicher	x		x		x		x		x		x		x		x		x			
	Stufwiesen: Übergabestation FW	x		x		x		x		x		x		x		x		x			
	Stufwiesen: Nahwärme																				
	Stufwiesen: PV nach Eigennutzungsanteil - zu A und A _{opt}	x		x						x		x									
	Stufwiesen: PV nach Eigennutzungsanteil - zu B							x													
Betrieb	Stufwiesen: PV nach Eigennutzungsanteil - zu C.1																				
	Stufwiesen: PV nach Eigennutzungsanteil - zu C.2																				
	Schäferkamp: Sockel, Batterie		x		x		x		x		x		x		x		x		x		
	Schäferkamp: Übergabestation FW		x		x		x		x		x		x		x		x		x		
	Schäferkamp: Nahwärme																				
	Schäferkamp: PV nach Eigennutzungsanteil - zu A und A _{opt}		x		x																
	Schäferkamp: PV nach Eigennutzungsanteil - zu B							x													
	Schäferkamp: PV nach Eigennutzungsanteil - zu C.1																				
	Schäferkamp: PV nach Eigennutzungsanteil - zu C.2																				
	Schäferkamp: PV nach Eigennutzungsanteil - zu C.2																				
Abzug PV	Betriebsenergie																				
	Stufwiesen: Betriebsenergie - zu A und A _{opt}	x		x		x		x		x		x									
	Stufwiesen: Betriebsenergie - zu B							x													
	Stufwiesen: Betriebsenergie - zu C.1																				
	Stufwiesen: Betriebsenergie - zu C.2																				
	Betriebsenergie - zu C. Bestand																				
	Betriebsenergie - zu C. Bestand mix																				
	Schäferkamp: Betriebsenergie - zu A und A _{opt}		x		x		x		x		x		x								
	Schäferkamp: Betriebsenergie - zu B							x													
	Schäferkamp: Betriebsenergie - zu C.1																				
Energienmix	Schäferkamp: Betriebsenergie - zu C.2																				
	Abzug PV																				
	Stufwiesen: PV Abzug - zu A und A _{opt}	x		x		x		x		x		x									
	Stufwiesen: PV Abzug - zu B							x													
	Stufwiesen: PV Abzug - zu C.1																				
	Stufwiesen: PV Abzug - zu C.2																				
	Schäferkamp: PV Abzug - zu A und A _{opt}		x		x		x		x		x		x								
	Schäferkamp: PV Abzug - zu B							x													
	Schäferkamp: PV Abzug - zu C.1																				
	Schäferkamp: PV Abzug - zu C.2																				
Energienmix	Energieversorgung Mix																				
	Nahwärmemix lokal Modellprojekt																				
	Fernwärmemix lokal Modellprojekt																				
	Fernwärmemix deutscher Durchschnitt																				
Energienmix	Wärmepumpe	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Abbildung 20: Landkarte betrachteter Szenarien, eigene Darstellung

5. LCA Hüllsanierung

Sanierungsszenarien Hülle

Im diesem Kapitel liegt der Fokus auf den Konstruktionsszenarien (vgl. Abb. 21) und den Bauteilaufbauten der Gebäudesanierung (vgl. Abb. 22-28) sowie der entsprechenden Lebenszyklusanalyse auf Bauteil- und Gebäudeebene (vgl. Abb. 29).

Erläuterung Szenarien

Szenario A.1 bildet das Modellprojekt ab. Dabei werden die Längsseiten der Gebäudehülle mittels vorgefertigter Holzständer-elemente mit Zellulose-Einblasdämmung und einer Holzfassade seriell saniert. Die Giebelseiten werden konventionell mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aus Mineralwolldämm-platten und Putz ausgeführt. Im Sockelbereich kommt eine XPS-Dämmung (extrudiertes Polystyrol) zum Einsatz, die Dämmung der Kellerdecke und der Kellerwände erfolgt mit Mineralwolle und die Dämmung des Dachs wird mit einer PIR-Aufsparrendämmung (Polyisocyanurat) realisiert. Die neuen Fenster werden mit PVC-Rahmen (Polyvinylchlorid) und Dreifachverglasung ausgeführt. Balkone, Träger und Brandbleche bestehen aus Stahl. Da die Holzelemente in der Fassade auf Stahlkonsolen auflagern und im Modellprojekt zusätzlich bei den geschlossenen Loggien Stahlträger zur Lastabtragung zum Einsatz kommen, weist das Modellprojekt einen recht hohen Stahlanteil auf. Das Szenario A.2 ist identisch zum Szenario A.1, jedoch werden hier auch die Giebfassaden seriell saniert.

Das Szenario B.1 zeigt eine konventionelle Fassadensanierung mit einem WDVS aus Mineralwolle. Alle weiteren Bauteile sind analog zu den A-Szenarien. In Szenario B.2 wird ein WDVS mit EPS-Dämmung verwendet (Brandriegel aus Mineralwolle bleiben hierbei unberücksichtigt).

Szenario A opt.1 zeigt Optimierungspotenziale in der Konstruktion auf. Der Sockel wird mit Schaumglasplatten gedämmt, Kellerdecke und Kellerwände werden mit Holzfaserdämmplatten realisiert. Das Dach erhält anstelle der synthetischen PIR-Dämmung eine Zwischensparrendämmung mit Zellulose und eine Aufdachdämmung mit einer druckfesten Holzfaserplatte. Die Stahlkonstruktion der Balkone sowie die PVC-Rahmen der Fenster werden durch Holz substituiert. In Szenario A opt.2 werden zusätzlich zu den Optimierungen aus Szenario A opt.1 an sinnvoller Stelle neue Materialien durch wiederverwendete (Re-Use) Baustoffe ersetzt. In der Holzständerwand sind die Konterlattung und die Holzschalung aus Re-Use-Holz, im Dach die Konterlattung sowie die Dachziegel aus Re-Use-Bauteilen vorgesehen. Ebenso werden die Balkonkonstruktion und die Stahlträger aus wiederverwendeten Materialien angenommen. Die Re-Use-Bauteile werden nach dem DGNB-Ansatz berechnet, das heißt, sowohl das GWP als auch das CSP werden mit 0 kg CO₂e gerechnet.

Sanierungsszenarien Hülle

Gebäudekonstruktion

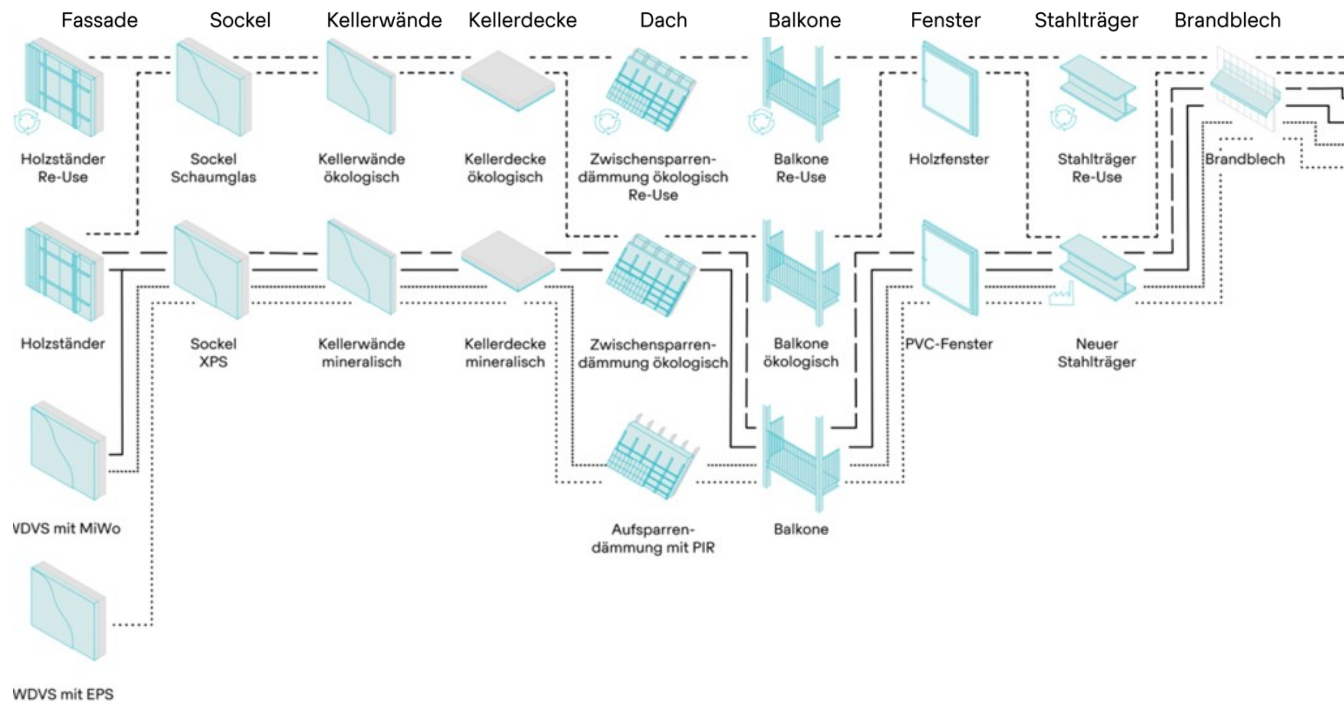


Abbildung 21: Sanierungsszenarien Gebäudekonstruktion, eigene Darstellung

Erläuterung Fassade

Bei dem Bauteil „Holzfassade Seriell“ (vgl. Abb. 22) handelt es sich um den Aufbau, wie er im Modellprojekt zum Einsatz kommt. Die Dämmung erfolgt über ein Holzständerwerk, das mit Zellulose-Einblasdämmung ausgefacht ist; der Fassadenabschluss wird durch eine Lärchenschalung gebildet. Da das Bauteil zu einem großen Anteil aus nachwachsenden Rohstoffen besteht, weist es mit $25,65 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteil ein niedriges GWP und mit $-103,45 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteil ein sehr hohes CSP auf. Bei der „Holzfassade Seriell Re-Use“ werden die Konterlattungen sowie die Holzschalung aus Wiederverwendung angesetzt und in der LCA mit $0 \text{ kg CO}_2\text{e}$ gerechnet. Dadurch sinkt das GWP auf $22,13 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteil. Da bei den Re-Use-Bauteilen auch die Kohlenstoffspeicherefähigkeit nicht angerechnet werden kann, sinkt auch das CSP auf $-73,14 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteil.

Bei der Fassadensanierung „WDVS Mineralwolle“ (vgl. Abb. 23) wird von einem klassischen WDVS-Aufbau mit Mineralwoll-dämmung und Putz ausgegangen. Die Mineralwolle weist nach Angaben von B&O Seriell eine Rohdichte von $100 \text{ kg} / \text{m}^3$ auf, sodass mit dem Herstellerdatensatz „Mineralwolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebereich“¹⁷ vom FMI Fachverband Mineralwolle-industrie e. V. gerechnet wird.

Das GWP liegt mit $47,43 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteil bei 185 % mehr als bei der „Holzfassade Seriell“ und das Bauteil weist keine Kohlenstoffspeicherefähigkeit auf, weil nur mineralische und synthetische Materialien zum Einsatz kommen. Ersetzt man die Mineralwolle durch eine EPS-Dämmung, so erhöht sich das GWP auf $66,11 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteil, also auf das 2,5-Fache im Vergleich zur „Holzfassade Seriell“. Grund hierfür ist, dass bei der EPS-Dämmung von einer thermischen Verwertung in Modul C3 ausgegangen wird – das heißt, CO_2e wird freigesetzt. Bei der Mineralwolle hingegen wird am Ende des Lebensweges von einer Deponierung ausgegangen, wie es in Deutschland überwiegend der Fall ist¹⁸. Demzufolge weist das Modul C3 der Mineralwolle in der EPD (Environmental Product Declaration) zwar ein Treibhaus-potenzial von $0 \text{ kg CO}_2\text{e}$ auf, jedoch ergeben sich ökologische Folgewirkungen aus der nicht vorhandenen Abbaubarkeit des Materials und der damit verbundenen Beanspruchung von Deponiekapazitäten.

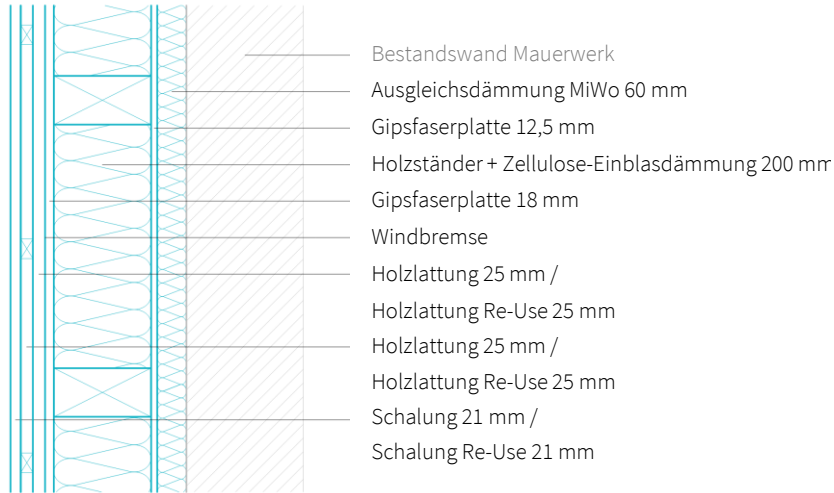
Wenngleich die Variante „Holzfassade Seriell Re-Use“ ein niedrigeres CSP im Vergleich zur „Holzfassade Seriell“ aufweist, ist sie aufgrund des geringsten Treibhauspotenzials (GWP) sowie der Rohstoffeinsparung durch Wiederverwendung als die ökologisch nachhaltigste Fassadensanierung einzustufen.

¹⁷ FMI Fachverband Mineralwolleindustrie e. V. (2023): *Mineralwolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebereich*, ÖKOBAUDAT-Datensatz

¹⁸ UBA (2026): *Weiterentwicklung des Produktportfolios des Umweltzeichens Blauer Engel – Dämmstoffe und Dämmsysteme für die Wärmewende*

Bauteilaufbau Fassade

Holzfassade Seriell / Holzfassade teilweise Re-Use



Holzfassade Seriell

GWP: 25,65 kg CO₂e / m²

CSP: -103,45 kg CO₂e / m²

Holzfassade Seriell Re-Use

GWP: 22,13 kg CO₂e / m²

CSP: -73,14 kg CO₂e / m²

Fassade WDVS Mineralwolle / WDVS EPS



WDVS Mineralwolle

GWP: 47,43 kg CO₂e / m²

CSP: 0,00 kg CO₂e / m²

WDVS EPS

GWP: 66,11 kg CO₂e / m²

CSP: 0,00 kg CO₂e / m²

Abbildung 22-23: Bauteilaufbauten – Fassade, eigene Darstellung

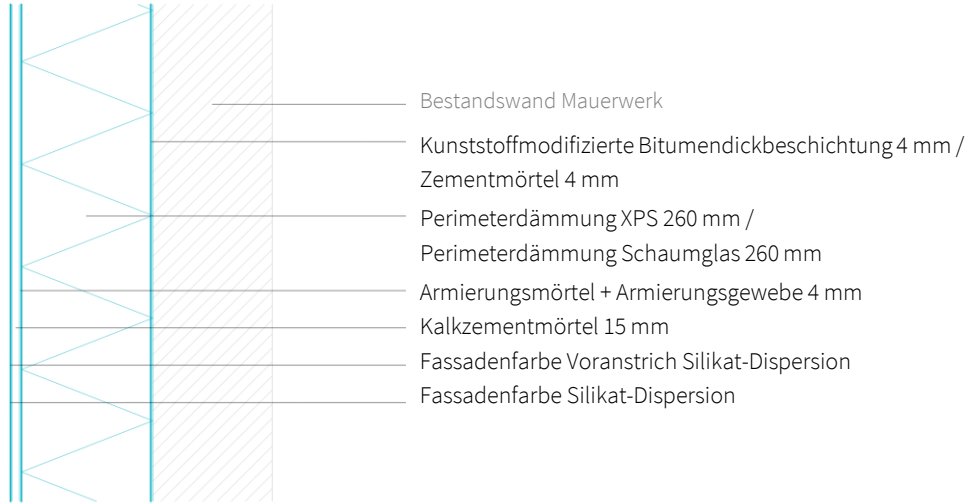
Erläuterung Sockel

Da es sich bei dem Bauteil „Sockel“ (vgl. Abb. 24) um ein erdberührtes Bauteil handelt, kommen hier Abdichtungen und Dämmungen aus nicht nachwachsenden Rohstoffen zum Einsatz. Bei dem Modellprojekt wird der Sockel mit 260 mm XPS-Dämmung und Putz ausgeführt. Das GWP liegt bei 76,18 kg CO₂e / m² Bauteil und weist kein CSP auf. Ersetzt man die XPS-Dämmung durch eine druckfeste Schaumglasdämmung, so reduziert sich das GWP um 25 % auf 57,24 kg CO₂e / m² Bauteil. Der LCA-Berechnung liegt der herstellereinspezifische Datensatz aus der ÖKOBAUDAT für das Produkt FOAMGLAS® S3¹⁹ zugrunde. Auch diese Bauteilvariante kann keine Kohlenstoffspeicherfähigkeit (CSP) nachweisen, da sie ausschließlich aus mineralischen und synthetischen Materialien besteht, punktet aber durch ihr geringeres GWP.

¹⁹ Pittsburgh Corning Europe NV / IBU (2021): FOAMGLAS® S3, ÖKOBAUDAT-Datensatz

Bauteilaufbau Sockel

Sockel XPS / Sockel Schaumglas



Sockel XPS

GWP: 76,18 kg CO₂e / m²

CSP: 0,00 kg CO₂e / m²

Sockel Schaumglas

GWP: 57,24 kg CO₂e / m²

CSP: 0,00 kg CO₂e / m²

Abbildung 24: Bauteilaufbauten – Sockel, eigene Darstellung

Erläuterung Keller

Im Modellprojekt werden die Kellerinnenwände (vgl. Abb. 25) und die Kellerdecke (vgl. Abb. 26) mit Mineralwolle gedämmt und verputzt. Das GWP liegt bei den Kellerinnenwänden bei 20,55 kg CO₂e / m² Bauteil und bei der Kellerdecke bei 21,63 kg CO₂e / m² Bauteil. Verwendet man anstelle der Mineralwoll-dämmung EPS-Platten, so erhöht sich das GWP bei den Kellerwänden um 27 % auf 26,17 kg CO₂e / m² Bauteil und bei der Kellerdecke um 21 % ebenfalls auf 26,17 kg CO₂e / m² Bauteil. Bei beiden Bauteiloptionen liegt das CSP bei 0 kg CO₂e / m² Bauteil.

Substituiert man die Mineralwolldämmung durch eine Holzfaserdämmplatte, so reduziert sich das GWP bei den Kellerinnenwänden um 25 % auf 15,42 kg CO₂e / m² Bauteil und bei der Kellerdecke um 20 % auf 17,43 kg CO₂e / m² Bauteil. Zusätzlich weisen die Bauteile ein hohes CSP auf: Bei den Kellerinnenwänden liegt der Wert bei -32,47 kg CO₂e / m² Bauteil, bei der Kellerdecke bei -38,97 kg CO₂e / m² Bauteil. Die Bauteiloptionen mit der Holzfaserdämmung stellen folglich die ökologisch nachhaltigste Lösung dar.

Bauteilaufbau Kellerinnenwände

Kellerinnenwand Mineralwolle / EPS / Holzfaser



Kellerinnenwand MiWo

GWP: 20,55 kg CO₂e / m²

CSP: 0,00 kg CO₂e / m²

Kellerinnenwand EPS

GWP: 26,17 kg CO₂e / m²

CSP: 0,00 kg CO₂e / m²

Kellerinnenwand Holzfaser

GWP: 15,42 kg CO₂e / m²

CSP: -32,47 kg CO₂e / m²

Abbildung 25: Bauteilaufbauten – Kellerinnenwände, eigene Darstellung

Bauteilaufbau Kellerdecke

Kellerdecke



Kellerdecke MiWo

GWP: 21,63 kg CO₂e / m²

CSP: 0,00 kg CO₂e / m²

Kellerdecke EPS

GWP: 26,17 kg CO₂e / m²

CSP: 0,00 kg CO₂e / m²

Kellerdecke Holzfaser

GWP: 17,43 kg CO₂e / m²

CSP: -38,97 kg CO₂e / m²

Abbildung 26: Bauteilaufbauten – Kellerdecke, eigene Darstellung

Erläuterung Dach

Ein erhebliches Optimierungspotenzial weist die Dachkonstruktion auf: Die im Modellprojekt gewählte Variante „Dach PIR-Dämmung“ (vgl. Abb. 27) sieht eine Aufdachdämmung aus Polyisocyanurat (PIR) vor. Diese Dämmung hat den Vorteil, dass sie bereits mit 160 mm den erforderlichen U-Wert von $<0,15 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K})$ erreicht. Allerdings ist das GWP bei diesem Bauteilaufbau mit $64,10 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteil sehr hoch und das CSP mit $-31,05 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteil relativ gering.

Zur Erreichung des erforderlichen U-Werts auf Basis nachwachsender Rohstoffe kombiniert die Variante „Dach Holzfaser“ (vgl. Abb. 28) eine 160 mm dicke Zellulose-Einblasdämmung (Zwischensparrendämmung) mit einer druckfesten, 120 mm starken Holzfaserdämmplatte als Aufsparrendämmung.

Durch diese Umstellung reduziert sich das GWP um 41 % auf $38,03 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteil. Zudem weist diese Ausführung mit $-87,88 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteil ein nahezu dreifach höheres CSP im Vergleich zur Referenzvariante „Dach PIR-Dämmung“ auf. Bei zusätzlicher Verwendung von Re-Use-Materialien für die Dacheindeckung und die Konterlattung sinkt das GWP gegenüber der Ausgangsvariante um 71 % auf $18,70 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteil. Das CSP verringert sich in diesem Fall gegenüber der Variante „Dach Holzfaser“ auf $-56,83 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$ Bauteil, da für die wiederverwendete Konterlattung bilanztechnisch der CSP mit $0 \text{ kg CO}_2\text{e}$ angesetzt wird.

Bauteilaufbau Dach

Dachaufbauten

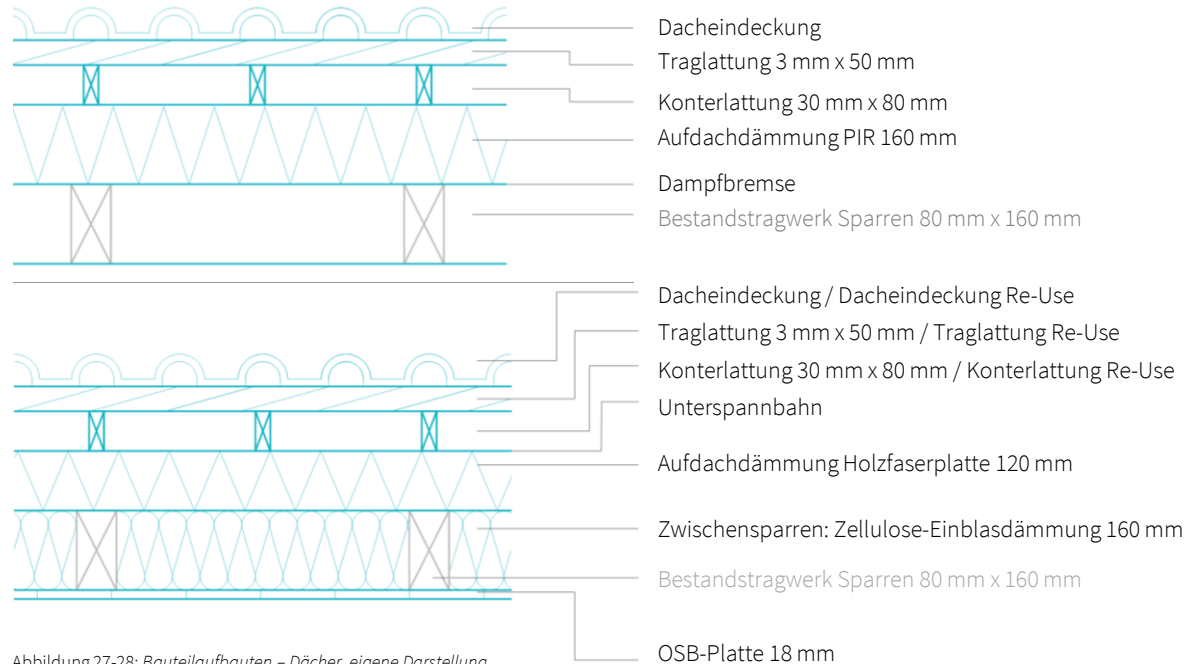


Abbildung 27-28: Bauteilaufbauten – Dächer, eigene Darstellung

Dach PIR-Dämmung

GWP: 64,10 kg CO₂e / m²

CSP: -31,05 kg CO₂e / m²

Dach Holzfaser

GWP: 38,03 kg CO₂e / m²

CSP: -87,88 kg CO₂e / m²

Dach Holzfaser + Re-Use Lattung und Dacheindeckung

GWP: 18,70 kg CO₂e / m²

CSP: -56,83 kg CO₂e / m²

Ergebnisse LCA Hüllsanierung

Zur Bestimmung der LCA-Ergebnisse auf Gebäudeebene für die unterschiedlichen Szenarien wird das GWP je Bauteileinheit mit den jeweiligen Massen- bzw. Flächenansätzen multipliziert. Die anschließende Gesamtauswertung ermöglicht die Identifikation der wesentlichen Treiber sowie die Ableitung von Optimierungspotenzialen zur gezielten GWP-Reduktion (vgl. Abb. 29).

Szenario A.1 und A.2

Das GWP bleibt in Szenario A.2 im Vergleich zu Szenario A.1 unverändert bei $1,3 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$. Das macht deutlich, dass die Substitution des Mineralwolle-WDVS durch vorgefertigte Holzständerelemente in den Giebelfassaden aufgrund der geringen Flächenanteile bilanziell nicht ins Gewicht fällt. Gleichzeitig zeigt sich beim CSP durch den höheren Einsatz nachwachsender Rohstoffe ein leichter Anstieg von $-0,92 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$ bei Szenario A.1 auf $-1,05 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$ bei Szenario A.2.

Szenario B.1 und B.2

Das Szenario B.1 „WDVS Mineralwolle“ weist bei den Sanierungsszenarien mit $1,41 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$ 8 % mehr

THG-Emissionen im Vergleich zu Szenario A.1 auf, das Szenario „WDVS EPS“ mit $1,6 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$ rund 23 % mehr. Gleichzeitig liegt das CSP durch den geringen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen bei beiden Szenarien nur bei $-0,1 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$.

Szenario A opt.1 und A opt.2

Durch die Substituierung der synthetischen und mineralischen Dämmstoffe in Dach und Keller kann das GWP bei Szenario A opt.1 auf $1,06 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$ um 18,5% im Vergleich zu Szenario A.1 reduziert werden. Ersetzt man an sinnvoller Stelle, wie bei der Konterlattung oder den Stahlkonsolen, die neuen Materialien durch Re-Use-Materialien, erreicht man in der Konstruktion eine Reduktion des GWP um 40 % auf $0,78 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$.

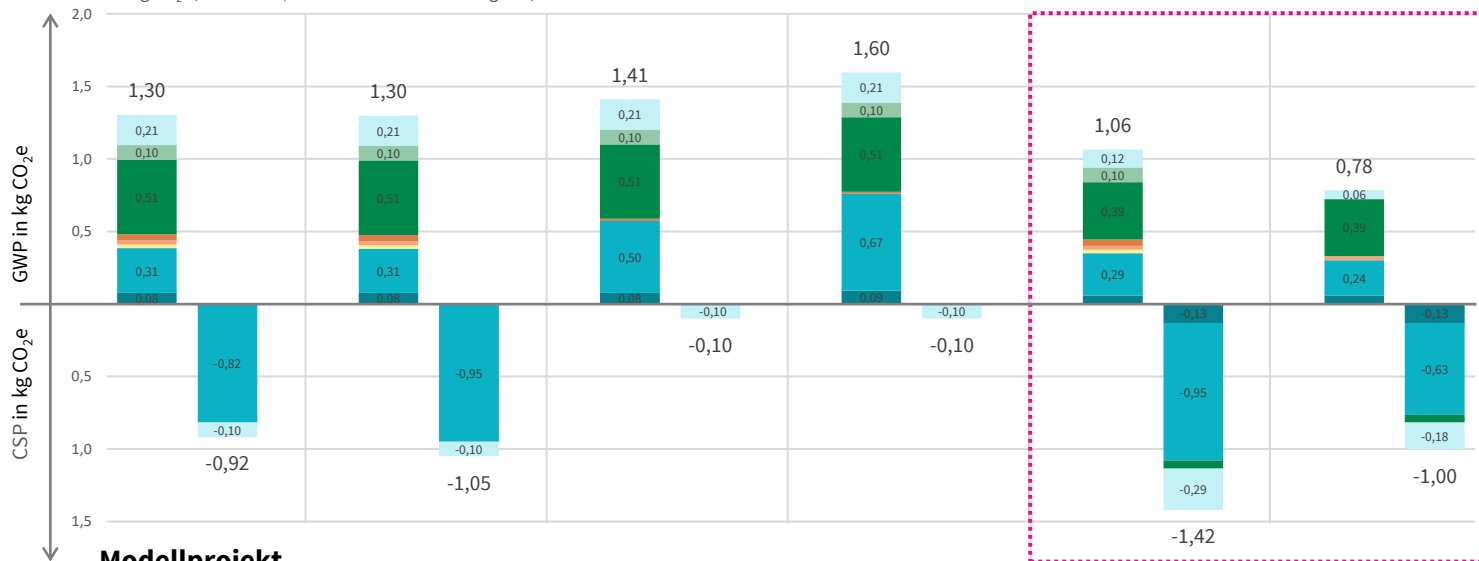
In Szenario A opt.1 steigt das Kohlenstoffspeicherpotenzial (CSP) durch den verstärkten Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Vergleich zu Szenario A.1 um 54 % auf $-1,42 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$. Durch den hohen Anteil an Re-Use-Materialien (auch bei den nachwachsenden Rohstoffen) sinkt die Kohlenstoffspeicherfähigkeit bei Szenario A opt.2 auf $-1,00 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$.

Ergebnisse LCA Hüllsanierung

Szenarien Gebäudesanierung (KG 300)*

GWP in kg CO₂e / m² NRF a (Module A1-A3, B4, C3-C4)

CSP in kg CO₂e / m² NRF a (Module A1-A3 aus GWPbiogenic)



Fazit:

Beide Ziele sind anzustreben: so wenig wie möglich GWP zu verursachen sowie möglichst viel CSP zu erreichen.

*Ohne KG 400 (Technische Gebäudeausstattung), PV und Betriebsenergie

Modellprojekt

Szenario A.1
(Serielle San., Giebel WDVS)

Szenario A.2
Serielle Sanierung Holz

Szenario B.1
WDVS MiWo

Szenario B.2
WDVS EPS

Szenario A opt.1
optimiert

Szenario A opt.2
optimiert Re-Use

■ Keller ■ Außenwände ■ Brandschutzbleche ■ Befestigungswinkel Fassade ■ Kragkonsolen Fassade ■ Fenster ■ Balkone ■ Dach

Abbildung 29: Ergebnisse LCA – Szenarien Gebäudesanierung (KG 300), eigene Darstellung

Gesamtfazit LCA Hüllsanierung

Hinsichtlich der wesentlichen Treiber auf Bauteilebene zeigt sich, dass die Fassaden und Fenster mit 63 % (Szenarien A1 und A2) bis 81 % (Szenario A opt.2) den Hauptanteil des Treibhausgaspotenzials (GWP) verursachen (vgl. Abb. 29). Je stärker das GWP der Fassadensanierung durch den Einsatz biobasierter Materialien reduziert wird, desto höher wird der relative Anteil der Fenster. Dies begründet sich darin, dass zwar die PVC-Fensterrahmen durch Holz substituiert werden können, die Verglasung jedoch nicht durch nachhaltigere Alternativen ersetzbar ist und aufgrund des energieintensiven Herstellungsprozesses ein hohes GWP aufweist.

Den dominanten Beitrag zum Kohlenstoffspeicherpotenzial (CSP) leistet bei den seriellen Sanierungsszenarien die Fassade mit rund 90 % bei den Szenarien A.1 und A.2 sowie mit etwa 65 % bei den Szenarien A opt.1 und A opt.2. In den optimierten Szenarien trägt zudem das Dach durch den Einsatz nachwachsender Rohstoffe in

der Dämmung mit 18 % (Szenario A opt.1) und 20 % (Szenario A opt.2) maßgeblich zum CSP bei.

Als Gesamtfazit für die Szenarien in Bezug auf die Hüllsanierung (KG 300) lässt sich festhalten, dass das Szenario A opt.2 mit $0,78 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF}$ a das geringste GWP aller Sanierungsoptionen aufweist. Das Szenario A opt.1 verfügt durch den sehr hohen Einsatz neuer biobasierter Baustoffe mit $-1,42 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF}$ a über das höchste CSP. Wenngleich das Szenario A opt.2 ein etwas niedrigeres CSP im Vergleich zu Szenario A opt.1 besitzt, ist es aufgrund des geringsten GWP-Werts in Kombination mit der Rohstoffeinsparung durch Wiederverwendung als die ökologisch nachhaltigste Sanierungsoption einzustufen.

6. Ergebnisse LCA gesamt

Ergebnisse LCA gesamt

In diesem Kapitel werden die kumulierten THG-Emissionen (GWP) aus Betrieb, Anlagentechnik, Photovoltaik und Konstruktion sowie der Abzug durch den Eigenenertrag aus Photovoltaik (PV) in den verschiedenen Szenarien „seriell saniert“ (A-Szenarien), „konventionell saniert“ (B-Szenarien) und „unsaniert“ (C-Szenarien) dargestellt und verglichen. Zusätzlich werden die Kohlenstoffspeicherkapazität (CSP) der Konstruktion sowie das Modul D2, das die GWP-Einsparungen aufgrund der Substitution des konventionellen Stroms durch den gewonnenen Solarstrom ausweist, berücksichtigt. Um die Vergleichbarkeit zu den anerkannten Berechnungsmethoden zu erhalten, werden sie nur informativ dargestellt und nicht miteinander verrechnet.

Erläutert werden die Ergebnisse anhand des Gebäudes Suthwiesenstraße, bei dem die Warmwasserversorgung in den modifizierten Szenarien über eine Wärmepumpe erfolgt. Da das GWP des Gebäudes Schäferkamp, bei dem das Wasser über elektrische Warmwasserboiler erwärmt wird, in allen Szenarien lediglich um 2 bis 9 % höher ausfällt, wird auf eine detaillierte Betrachtung verzichtet.

Ergebnisse LCA Sanierung

Ergebnisse LCA serielle Sanierung (A) und konventionelle Sanierung (B)

In Szenario A.1a, das dem Sanierungsszenario des Modellprojekts entspricht, beläuft sich das Gesamttreibhauspotenzial (GWP) vor Anrechnung des Photovoltaik-Ertrags auf $9,2 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$. Unter Berücksichtigung des anrechenbaren PV-Ertrags (Eigenverbrauch) reduziert sich dieser Wert auf $5,5 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$. Für das Szenario A.2a, das lediglich eine Optimierung der Giebfassaden beinhaltet, ergeben sich identische Kennwerte (vgl. Abb. 30).

Das Szenario B.1a verzeichnet inklusive PV-Abzug mit $6,6 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$ ein leicht höheres GWP gegenüber den Varianten A.1a und A.2a. Dies begründet sich primär durch die etwas höhere Treibhausgasintensität der Konstruktion sowie höhere Transmissionswärmeverluste. Ein nochmals geringfügiger Anstieg ist bei Szenario B.2a festzustellen ($6,8 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$), was auf den Einsatz einer EPS-Dämmung (mit thermischer Verwertung in Modul C3) anstelle von Mineralwolle in der Hülle zurückzuführen ist.

Demgegenüber erzielt Szenario A opt.1a infolge der konstruktiven Optimierung mittels biobasierter Baustoffe einen reduzierten Wert von $5,3 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$ (inklusive PV-Abzug).

Den besten Gesamtwert über alle Sanierungsoptionen hinweg erreicht Szenario A opt.2a, das ein GWP von $5,0 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$ aufweist. Grund hierfür ist der Einsatz von Re-Use-Materialien in der Konstruktion.

Ergebnisse LCA Sanierung

Sanierungsszenarien Suthwiesenstraße

GWP in kg CO₂e / m² NRF a (LCA nach DIN 15978: Module A1-A3, B4, B6.1, C3-C4 sowie dargestellt Modul D2 PV und CSP)

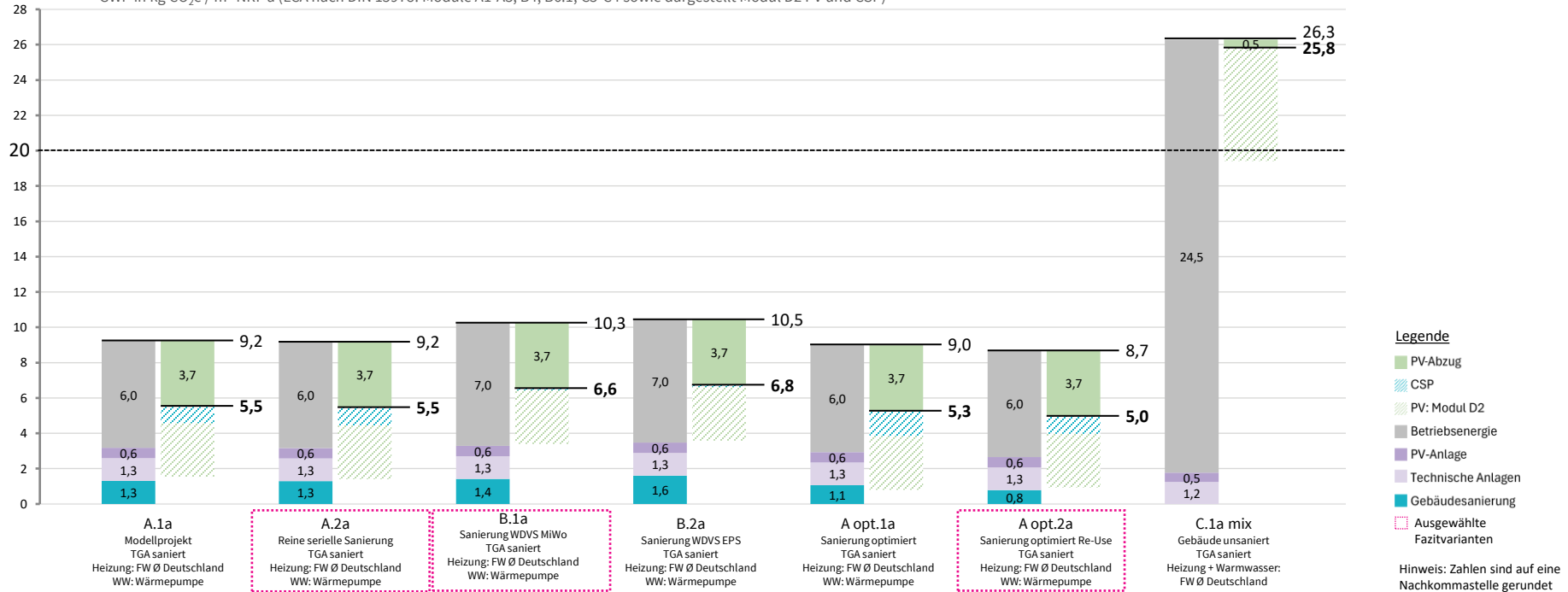


Abbildung 30: Ergebnisse LCA – Sanierungsszenarien Suthwiesenstraße, eigene Darstellung

Ergebnisse LCA Sanierung

Sanierungsszenarien Schäferkamp

GWP in kg CO₂e / m² NRF a (LCA nach DIN 15978: Module A1-A3, B4, B6.1, C3-C4 sowie dargestellt Modul D2 PV und CSP)

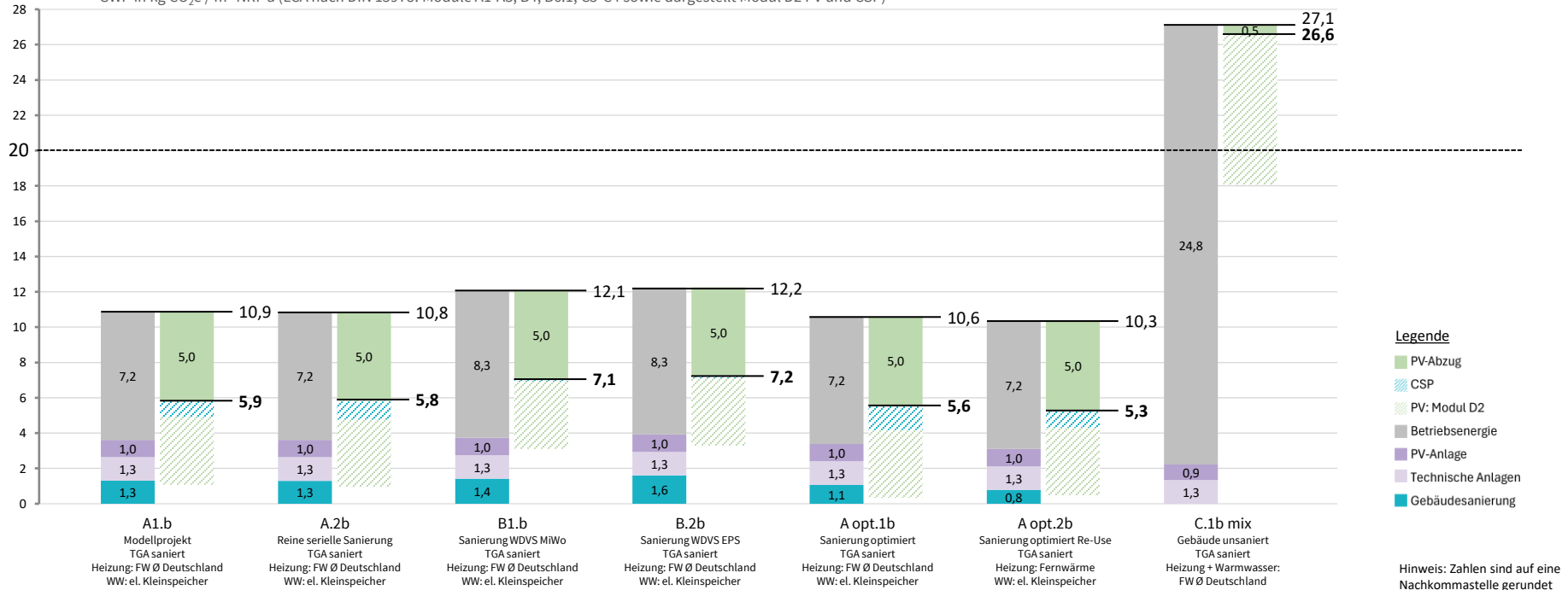


Abbildung 31: Ergebnisse LCA – Sanierungsszenarien Schäferkamp, eigene Darstellung

Ergebnisse LCA Bestand

Ergebnisse LCA Szenarien Bestand (C)

Im Rahmen der Lebenszyklusanalyse auf Gebäudeebene zeigen die C-Szenarien – die den unsanierten Bestand unter Variation der Energieversorgungskonzepte betrachten – deutliche Unterschiede im Treibhausgaspotenzial (GWP).

Die Ausgangssituation des Modellprojekts (C.Bestand) auf Basis von Nahwärme aus einer Gasanlage und dezentralen Gasdurchlauferhitzern (vgl. Abb. 32) weist dabei mit $48,7 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$ den höchsten Emissionswert auf. Angenommen, die Energie für Heizung würde über den durchschnittlichen deutschen Fernwärmemix erfolgen (C.Bestand mix), ließe sich das GWP um 47 % auf $25,8 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$ reduzieren. Wird bei fortbestehender Nahwärmeversorgung über das Gaswerk lediglich die Warmwasserversorgung durch eine Wärmepumpe optimiert und durch Photovoltaik ergänzt (Szenario C.2a) (wie auf Seite 28 erläutert), sinkt das GWP auf $43,9 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$, was einer Minderung um 10 % entspricht. Die in Szenario C.1a betrachtete industrielle Abwärme eines lokalen Stahlwerks ermöglicht zwar eine maximale GWP-Minderung um 89 % auf $5,6 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$, stellt aber eine standortspezifische Besonderheit dar, die nicht repräsentativ für alle deutschen Sanierungsprojekte ist.

Eine Reduktion um 47 % auf $25,8 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF a}$ wird im Szenario C.1a mix erreicht, bei dem der durchschnittliche deutsche Fernwärmemix in Kombination mit modifizierter Anlagentechnik und PV-Ertrag angesetzt wird.

Die Energiebedarfe der betrachteten C-Szenarien liegen dabei auf einem vergleichbaren Niveau, sodass die Unterschiede im Treibhausgaspotenzial nur zu einem geringen Teil auf variierende Verbrauchswerte zurückzuführen sind. Ausschlaggebend sind vielmehr die unterschiedlichen Emissionsfaktoren der jeweils zugrunde gelegten Energieträger.

Ergebnisse LCA Bestand

Bestand mit Energiemix und Szenarien TGA Suthwiesenstraße

GWP in kg CO₂e / m² NRF a (LCA nach DIN 15978: Module A1-A3, B4, B6.1, C3-C4 sowie dargestellt Modul D2 PV und CSP)

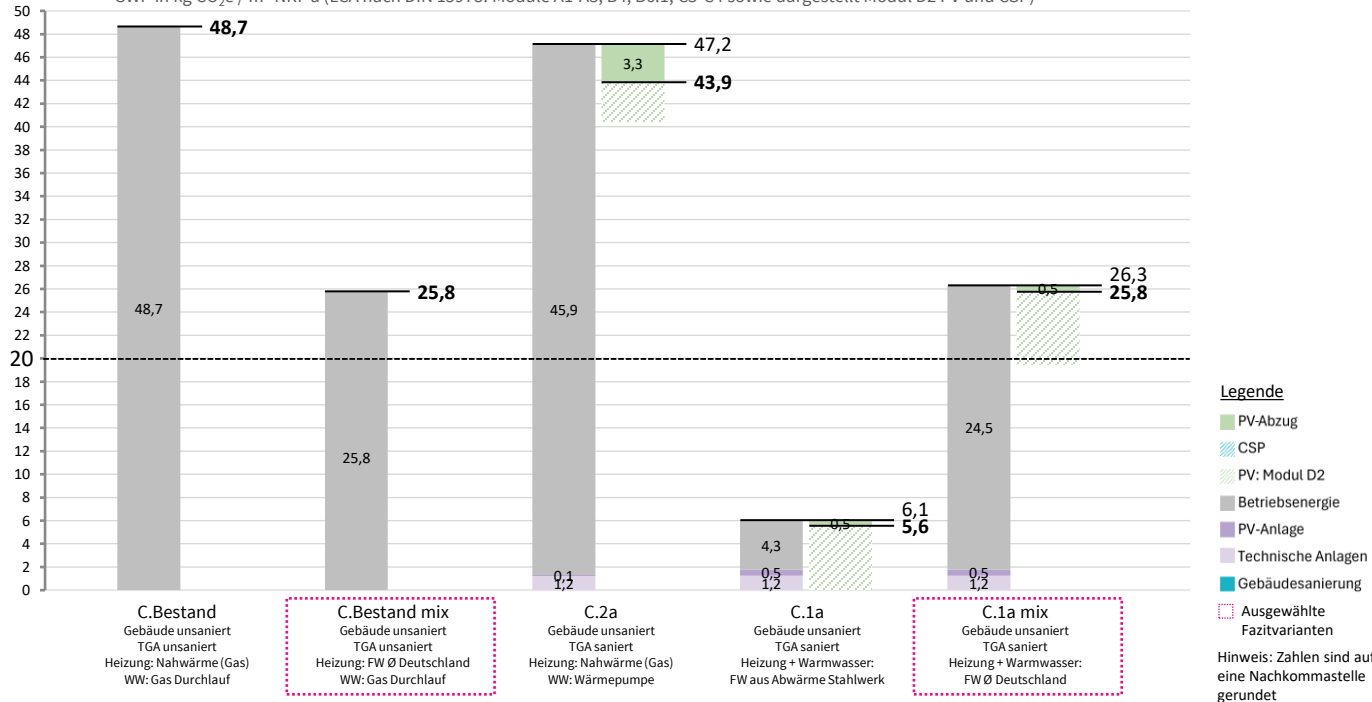


Abbildung 32: Ergebnisse LCA – Bestand mit Energiemix und Szenarien TGA Suthwiesenstraße, eigene Darstellung

Fazit:

Die verursachten THG-Emissionen sind – bei ähnlich hohem Energiebedarf – maßgeblich abhängig von dem zur Verfügung gestellten Energiemix.

Der Endenergiebedarf liegt in all diesen Varianten zwischen 470 und 510 kWh / a, während das GWP eine hohe Streuung aufweist und von 5,6 bis 48,7 CO₂e / m² NRF a reicht. Das Szenario C.1a mit der unvermeidbaren Abwärme stellt dies markant dar. Dennoch bleiben der Energiebedarf und damit die Betriebskosten des Gebäudes trotz emissionsarmer Energieversorgung unverändert hoch.

Das letzte Szenario zeigt ein unsaniertes Gebäude mit durchschnittlichem bundesweiten Fernwärme-Energiemix und wird in der weiteren Betrachtung als Vergleichsvariante herangezogen.

Ergebnisse LCA Bestand

Bestand mit Energiemix und Szenarien TGA Schäferkamp

GWP in kg CO₂e / m² NRF a (LCA nach DIN 15978: Module A1-A3, B4, B6.1, C3-C4 sowie dargestellt Modul D2 PV und CSP)

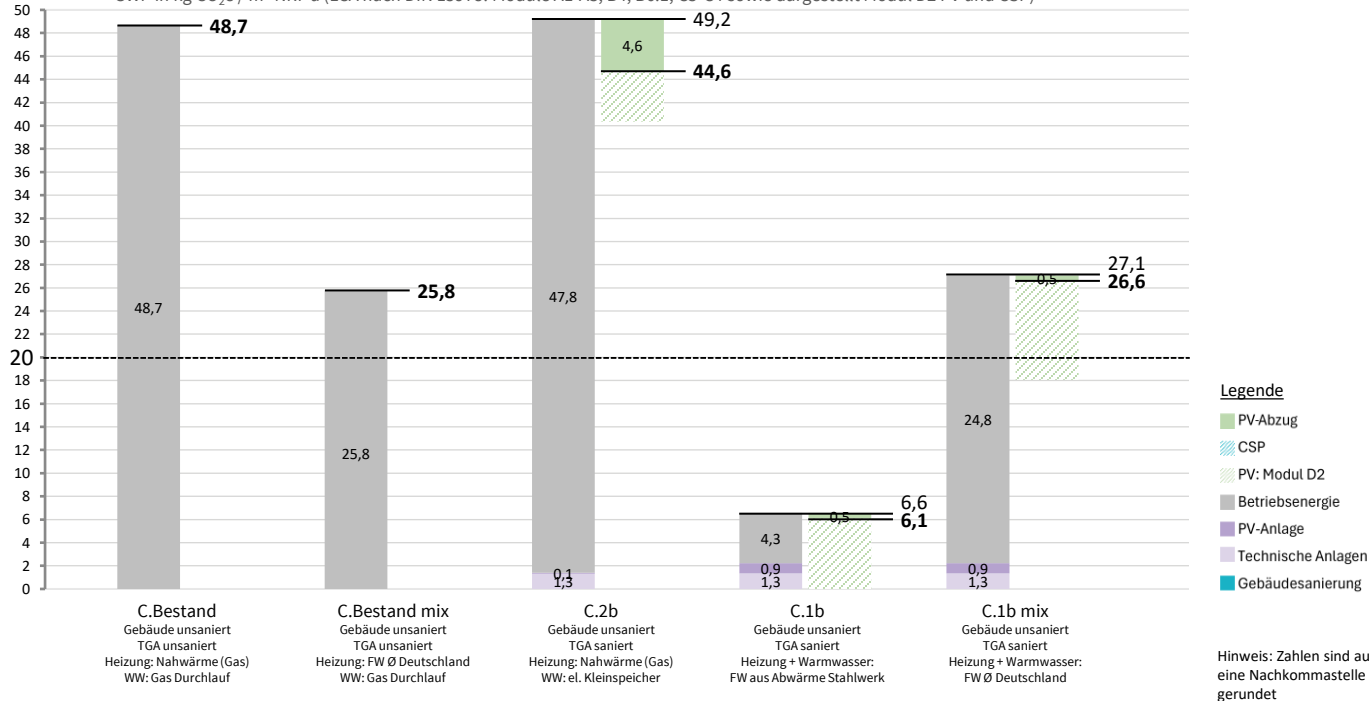


Abbildung 33: Ergebnisse LCA – Bestand mit Energiemix und Szenarien TGA Schäferkamp, eigene Darstellung

Fazit:

Beide Gebäude, Suthwiesenstraße und Schäferkamp, sind baugleich. Die wenigen Unterschiede finden sich in der TGA. Zum einen unterscheidet sich die Warmwasserzubereitung: Im Gebäude Suthwiesenstraße erfolgt diese über Gas-Durchlauferhitzer; im Gebäude Schäferkamp gibt es elektrische Kleinspeicher.

Ein weiterer Unterschied liegt in den PV-Anlagen, sie sind verschieden ausgerichtet und haben daher unterschiedliche Wirkungsgrade.

- Legende**
- PV-Abzug
 - CSP
 - PV: Modul D2
 - Betriebsenergie
 - PV-Anlage
 - Technische Anlagen
 - Gebäudesanierung

Hinweis: Zahlen sind auf eine Nachkommastelle gerundet

Ergebnisse LCA gesamt

Gesamtvergleich

Für einen abschließenden Gesamtvergleich werden repräsentative Szenarien aus den bisherigen LCA-Betrachtungen ausgewählt und vergleichend gegenübergestellt.

Als Referenz dient das Szenario C.Bestand mix, das auf dem durchschnittlichen deutschen Fernwärmemix für die Heizung sowie einer dezentralen Warmwasserbereitung über Gasdurchlauferhitzer basiert. Dieses Szenario weist ein GWP von $25,8 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF}$ auf (vgl. Abb. 34).

Die drei untersuchten Sanierungsszenarien ermöglichen signifikante Treibhausgaseinsparungen gegenüber dem Referenzzustand von 74 % (Szenario B.1a), 79 % (Szenario A.2a) und 81 % (Szenario A opt.2a).

Mit $5,0 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ NRF}$ stellt das Szenario A opt.2a die ökologisch nachhaltigste Option dar, was auf den consequenten Einsatz von biobasierten und Re-Use-Materialien in der Konstruktion sowie auf die Minderung der Transmissionswärmeverluste durch die serielle Sanierung (im Vergleich zu den WDVS-Sanierungen) zurückzuführen ist. Unter ergänzender Einbeziehung des Kohlenstoffspeicherpotenzials der biobasierten Baustoffe sowie der operativen PV-Gutschriften in Modul D2 nähert sich das GWP dem Netto-Null-Ziel an.

Die Ergebnisse der Sanierungsszenarien unterstreichen die hohe ökologische Relevanz baulicher und anlagentechnischer Sanierungsmaßnahmen zur Erreichung signifikanter Treibhausgasreduktionen.

Ergebnisse LCA gesamt

Fazit in kg CO₂e relativ zur NRF

GWP in kg CO₂e / m² NRF a (LCA nach DIN 15978: Module A1-A3, B4, B6.1, C3-C4 sowie dargestellt Modul D2 PV und CSP)

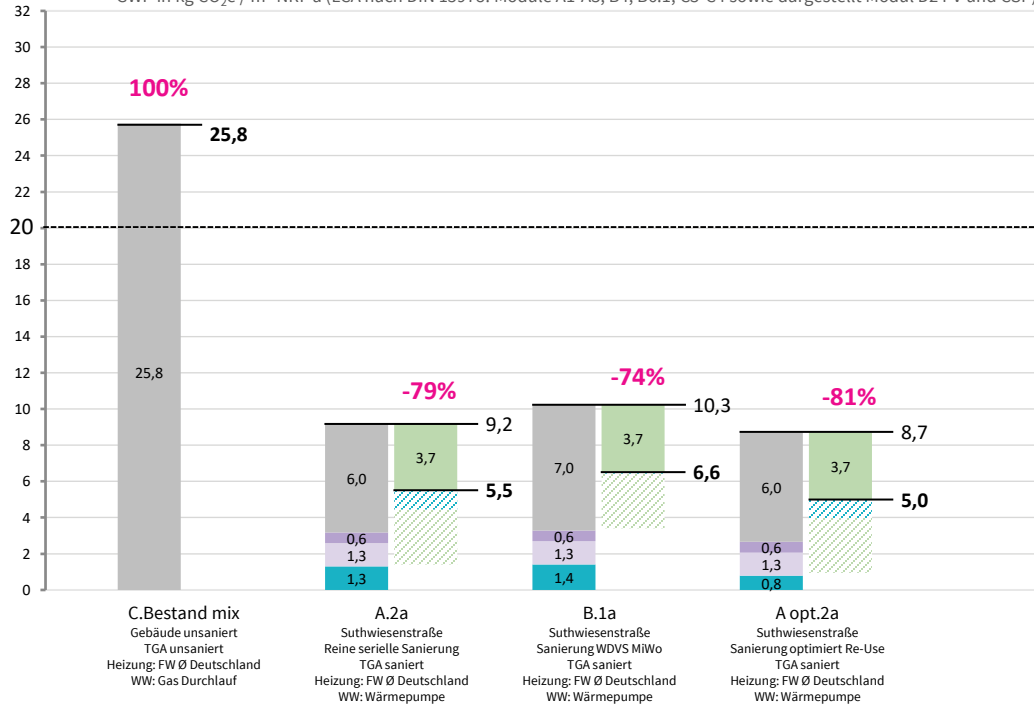


Abbildung 34: Ergebnisse LCA – Fazit in kg CO₂e relativ zur NRF, eigene Darstellung

Fazit:

Mit einer Gebäudesanierung wird bereits ein Großteil der THG-Emissionen durch die Reduktion der Betriebsenergie eingespart.

Das Szenario der seriellen Sanierung führt dabei zu einer leicht größeren THG-Reduktion im Vergleich zur konventionellen Sanierung aufgrund von geringeren Transmissionswärmeverlusten und THG-Emissionen der Konstruktion.

Wenn zusätzlich Re-Use-Bauteile in der Gebäudesanierung verwendet werden, können die THG-Emissionen durch eine Sanierung um > 80 % im Gegensatz zum unsanierten Gebäude gesenkt werden.

Legende

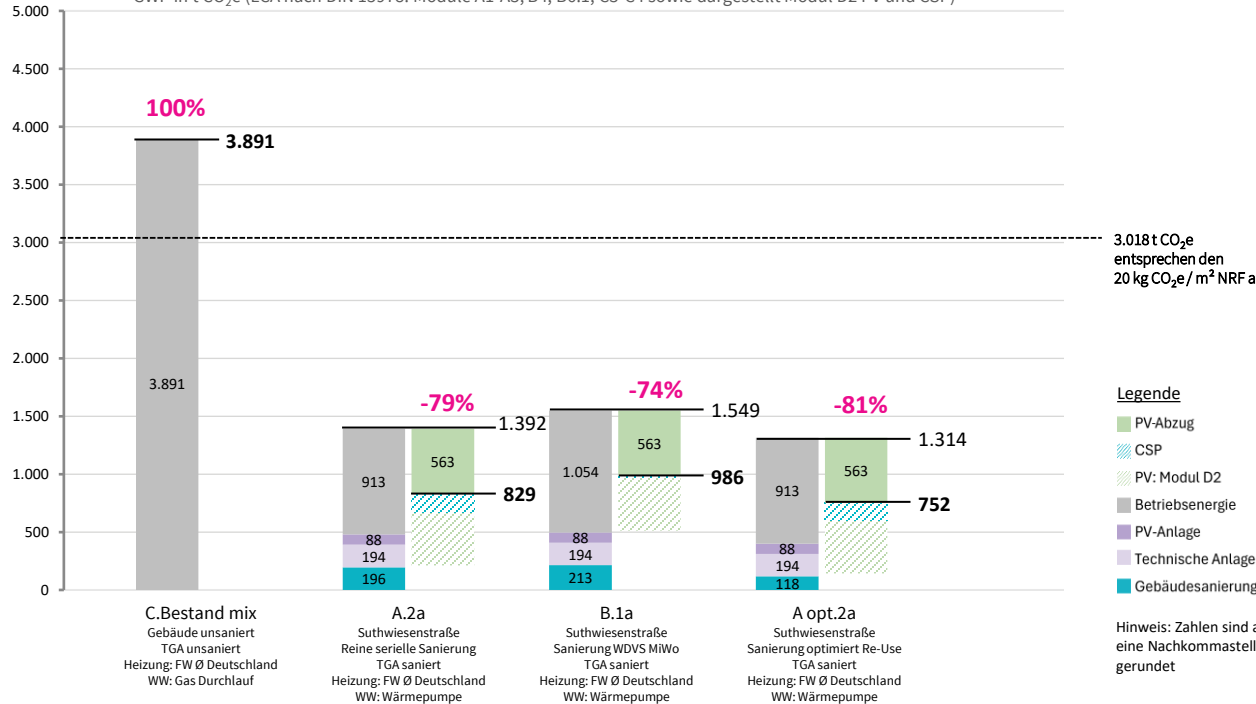
- PV-Abzug
- CSP
- PV: Modul D2
- Betriebsenergie
- PV-Anlage
- Technische Anlagen
- Gebäudesanierung

Hinweis: Zahlen sind auf eine Nachkommastelle gerundet

Ergebnisse LCA gesamt

Fazit in t CO₂e absolut

GWP in t CO₂e (LCA nach DIN 15978: Module A1-A3, B4, B6.1, C3-C4 sowie dargestellt Modul D2 PV und CSP)



Legende

- PV-Abzug
- CSP
- PV: Modul D2
- Betriebsenergie
- PV-Anlage
- Technische Anlagen
- Gebäudesanierung

Hinweis: Zahlen sind auf eine Nachkommastelle gerundet

Fazit:

Aufgrund der großen Ähnlichkeit beider Gebäude werden hier nur die Ergebnisse der Suthwiesenstraße miteinander verglichen.

Insgesamt können durch Sanierungen rund 3.000 t CO₂e eingespart werden.

Abbildung 35: Ergebnisse LCA – Fazit in t CO₂e absolut, eigene Darstellung

Zeitdiagramm ohne Betrieb

Die Zeitdiagramme veranschaulichen die Entwicklung der Treibhausgasemissionen der drei ausgewählten Sanierungsvarianten – WDVS-Sanierung (B.1a), serielle Sanierung (A.2a) und serielle Sanierung mit Re-Use (A opt.2a) – im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren. In dem Zeitdiagramm werden die Umweltwirkungen jährlich kumuliert. Da die energiebedingten Emissionen in jedem Jahr erneut anfallen und ein konstanter Energiebedarf angenommen wird, ergibt sich über den Betrachtungszeitraum ein annähernd linearer Anstieg der kumulierten Werte.

Szenario Gebäudesanierung ohne Betrieb

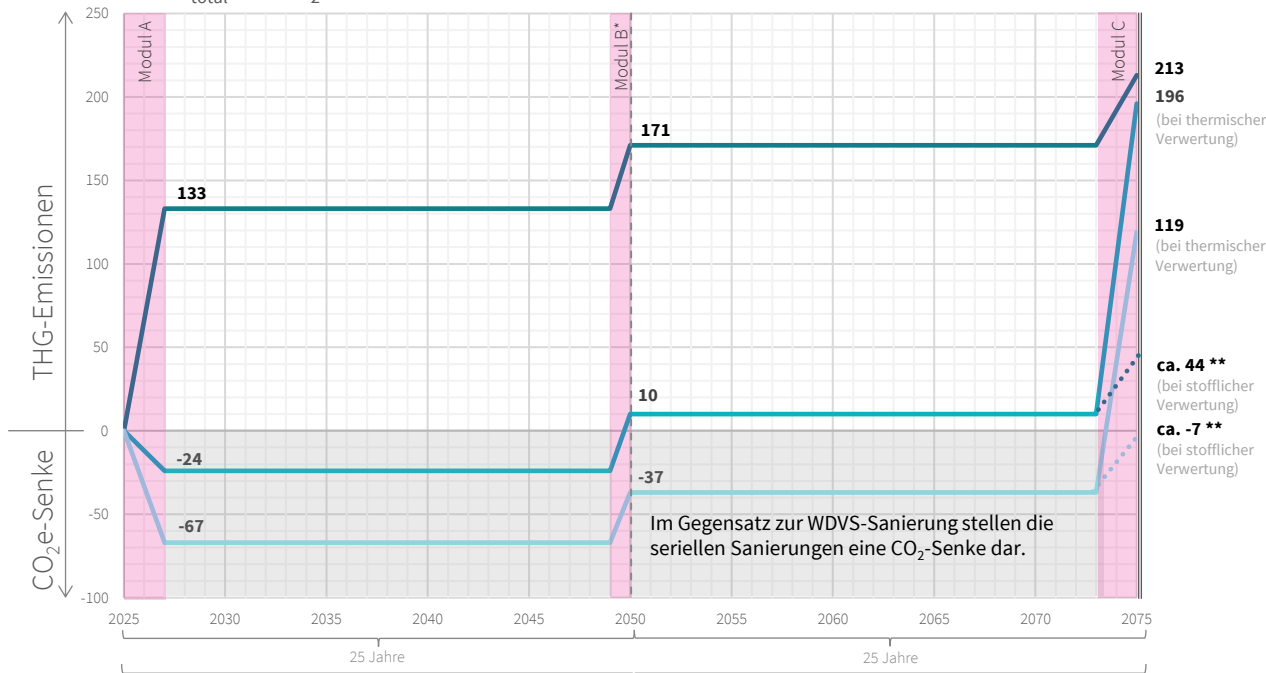
Im ersten Diagramm wird das GWP der drei Szenarien in Bezug auf die Konstruktion verglichen (vgl. Abb. 36). Die Szenarien A.2a und A opt.2a weisen zu Beginn negative Initialwerte auf, was auf die temporäre Kohlenstoffspeicherung der eingesetzten biobasierten Baustoffe zurückzuführen ist. Exemplarisch sind die Instandhaltungs- und Ersatzmaßnahmen (Modul B4) kumuliert nach 25 Jahren dargestellt. Der Austausch der Materialien führt bei Szenario A.2a zu einem Anstieg des GWP auf 10 t CO₂e, das Szenario A opt.2a bleibt mit -37 t CO₂e auch nach der Anrechnung des Moduls B4 im negativen Bereich, das heißt, es wird nach wie vor mehr Kohlenstoff in den Bauteilen eingelagert, als CO₂

verursacht wird. Am Ende der Lebensdauer wird nach DIN-Norm von einer thermischen Verwertung ausgegangen, die in Modul C3 angerechnet wird: Durch die Freisetzung des CO₂ endet das Szenario A.2a bei 196 t CO₂e, das Szenario A opt.2a bei 119 t CO₂e. Würde man hingegen eine zirkuläre Bauweise betrachten, bei der alle Materialien im Stoffkreislauf bleiben, würde das Szenario A.2a nach 50 Jahren Betrachtungszeitraum ca. 44 t CO₂e in der Konstruktion verursachen, das Szenario A opt.2a ca. -7 t CO₂e. Das Szenario B.1a startet hingegen direkt mit einem GWP von 133 t CO₂e, was auf die energieintensiven Materialien in der Herstellung zurückzuführen ist. Nach einem Austauschzyklus nach 25 Jahren und der Betrachtung der Verwertung der Materialien in Modul C erreicht dieses Szenario am Ende des Lebensweges ein GWP von 213 t CO₂e. Der Anstieg in Modul C ist vergleichsweise gering. Grund hierfür ist, dass die Mineralwolle in dem WDVS am Ende des Lebensweges nicht verbrannt, sondern deponiert wird.

THG-Emissionen über 50 Jahre

Gebäudesanierung ohne Betrieb

GWP_{total} in t CO₂e (LCA nach DIN 15978: Module A1-A3, B4, C3-C4)



Fazit:

Die Darstellung zeigt eindrücklich, dass bei einer WDVS-Sanierung deutlich mehr THG-Emissionen verursacht werden – am meisten zu Beginn. Biobasierte Baustoffe speichern den eingelagerten Kohlenstoff während der Nutzungsphase und setzen ihn bei einer thermischen Verwertung erst zum Ende des Lebenszyklus frei.

*Exemplarisch sind die Instandhaltungs- und Ersatzmaßnahmen (Modul B4) gebündelt nach 25 Jahren dargestellt.

** Für die stoffliche Verwertung wurde das Modul B angenommen.

... Annahme stoffliche Verwertung

- WDVS-Sanierung (B.1a)
- Serielle Sanierung (A.2a)
- Serielle Sanierung mit Re-Use (A opt.2a)

Abbildung 36: THG-Emissionen über 50 Jahre – Gebäudesanierung ohne Betrieb, eigene Darstellung

Zeitdiagramm inklusive TGA + PV ohne Betrieb

Szenario Gebäudesanierung inklusive TGA + PV ohne Betrieb

In der nächsten Darstellung werden die drei Szenarien inklusive Technischer Gebäudeausstattung (TGA) und baulicher Anteile der PV-Anlage gegenübergestellt (vgl. Abb. 37). Auch wenn in der Gesamtbetrachtung über 50 Jahre die Szenarien B.1a und A.2a mit 496 t CO₂e und 479 t CO₂e nur geringfügig variieren, zeigen sich in den Herstellungs- und Nutzungsphasen (Module A und B) deutliche Unterschiede im Emissionsverlauf. So verursacht das Szenario B.1a zu Beginn der Erstellung 307 t CO₂e, das Szenario A opt.2a 107 t CO₂e. Vor der thermischen Verwertung liegt das Szenario A opt.2a mit einem GWP von 234 t CO₂e bei rund der Hälfte im Vergleich zu Szenario B.1a mit 496 t CO₂e. Erst durch die finale Anrechnung der thermischen Verwertung in Modul C3 gleichen sich die kumulierten Werte der Szenarien an. Unter dem Gesichtspunkt des Klimaschutzes ist der zeitliche Verlauf entscheidend: Frühzeitig emittierte Treibhausgase entfalten unmittelbar ihre Erwärmungswirkung in der Atmosphäre, wodurch einer raschen Emissionseinsparung zu Beginn des Lebenszyklus eine höhere ökologische Priorität zukommt.

THG-Emissionen über 50 Jahre

Gebäudesanierung inklusive TGA + PV ohne Betrieb

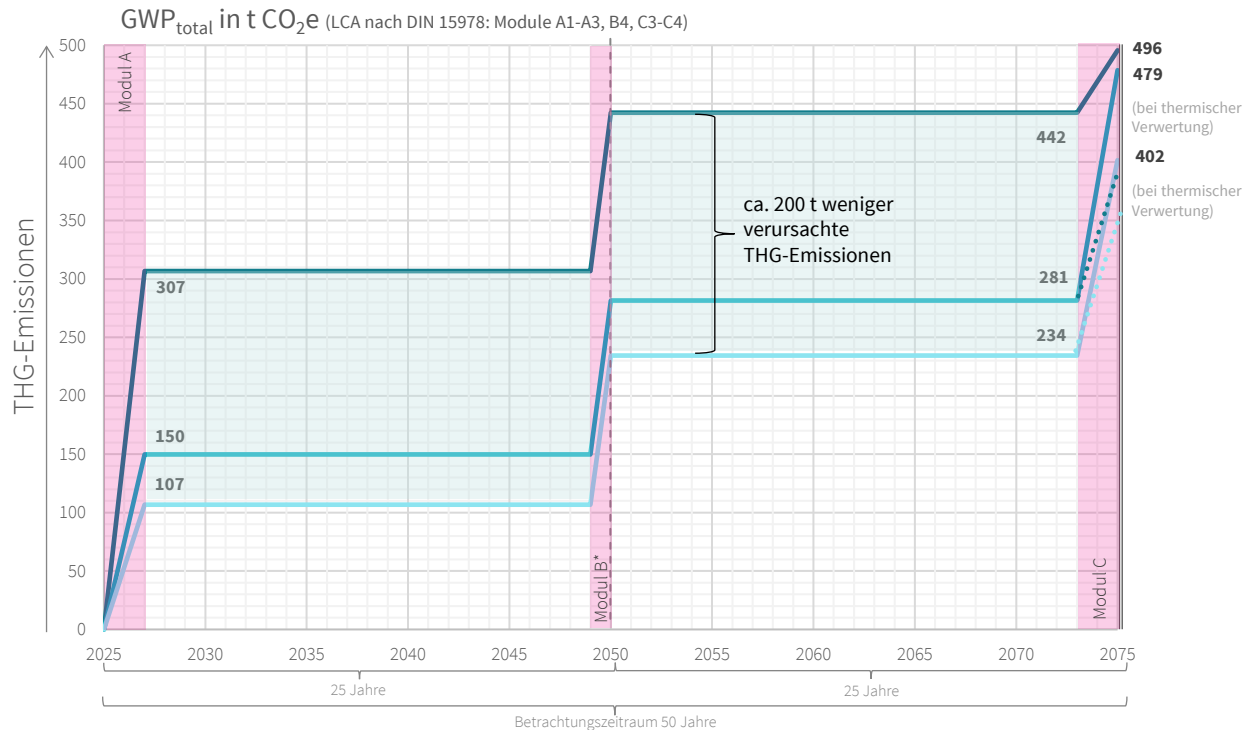


Abbildung 37: THG-Emissionen über 50 Jahre – Gebäudesanierung inklusive TGA + PV ohne Betrieb, eigene Darstellung

Fazit:

Auch wenn in der Gesamtbetrachtung über 50 Jahre die Sanierungen ähnlich abschneiden, wird sichtbar, dass der große Unterschied während der Nutzungsphase besteht.

So verursacht die konventionelle Sanierung mit WDVS in der ersten Hälfte ca. 200 t CO₂e mehr als die Vergleichsszenarien. Die Annäherung der Szenarien erfolgt insbesondere zum Lebenszyklusende, wenn von einer thermischen Verwertung ausgegangen wird.

*Exemplarisch sind die Instandhaltungs- und Ersatzmaßnahmen (Modul B4) gebündelt nach 25 Jahren dargestellt.

** Für die stoffliche Verwertung wurde das Modul B angenommen.

..* Annahme stoffliche Verwertung

■ WDVS-Sanierung (B.1a)

■ Serielle Sanierung (A.2a)

■ Serielle Sanierung mit Re-Use (A opt.2a)

Zeitdiagramm inklusive TGA + PV mit Betrieb

Szenario Gebäudesanierung inklusive TGA + PV mit Betrieb

In den letzten beiden Diagrammen wird zusätzlich der Betrieb dargestellt. Die drei Szenarien werden mit dem Szenario C.Bestand mix (unsaniertes Gebäude mit Energieversorgung über Fernwärme) verglichen. Bei dem unsanierten Gebäude ist ein linearer jährlicher Anstieg zu erkennen, der durch den hohen Energiebedarf sehr hoch ausfällt. Das GWP liegt nach den 50 Jahren Betrachtungszeitraum bei 3.891 t CO₂e (vgl. Abb. 38). Zur besseren Visualisierung der Sanierungsszenarien wurde der entsprechende Ergebnisbereich vergrößert dargestellt (vgl. Abb. 39).

Das konventionelle Sanierungsszenario B.1a weist in der Herstellungsphase (Modul A) ein anfängliches GWP von 327 t CO₂e auf und schließt am Ende des Lebensweges mit 986 t CO₂e ab. Gleichwohl zeigt bereits die konventionelle Sanierung (Szenario B.1a) eine Amortisation der Konstruktionsaufwendungen nach etwa vier Jahren. Während sich das Szenario A.2a schon innerhalb von rund zwei Jahren im Zuge der Errichtung amortisiert, führt das Szenario A opt.2a – bedingt durch ein niedriges GWP in Konstruktion und Betrieb – zu einer sofortigen Amortisation bei Fertigstellung.

Erst am Ende des Betrachtungszeitraums von 50 Jahren gleichen sich die Werte des GWP mit 829 t CO₂e (Szenario A.2a) und 752 t CO₂e (Szenario A opt.2a) dem Szenario B.1a an. Diese Angleichung ist im Wesentlichen auf die bilanzierte thermische Verwertung der eingesetzten biobasierten Materialien am Ende des Lebensweges zurückzuführen. Wenn am Lebenszyklusende der biobasierten Szenarien von einer stofflichen Verwertung ausgegangen wird, können zusätzlich ca. 140 t CO₂e eingespart werden.

THG-Emissionen über 50 Jahre

Gebäudesanierung inklusive TGA + PV mit Betrieb

GWP_{total} in t CO₂e (LCA nach DIN 15978: Module A1-A3, B4, B6.1, C3-C4)

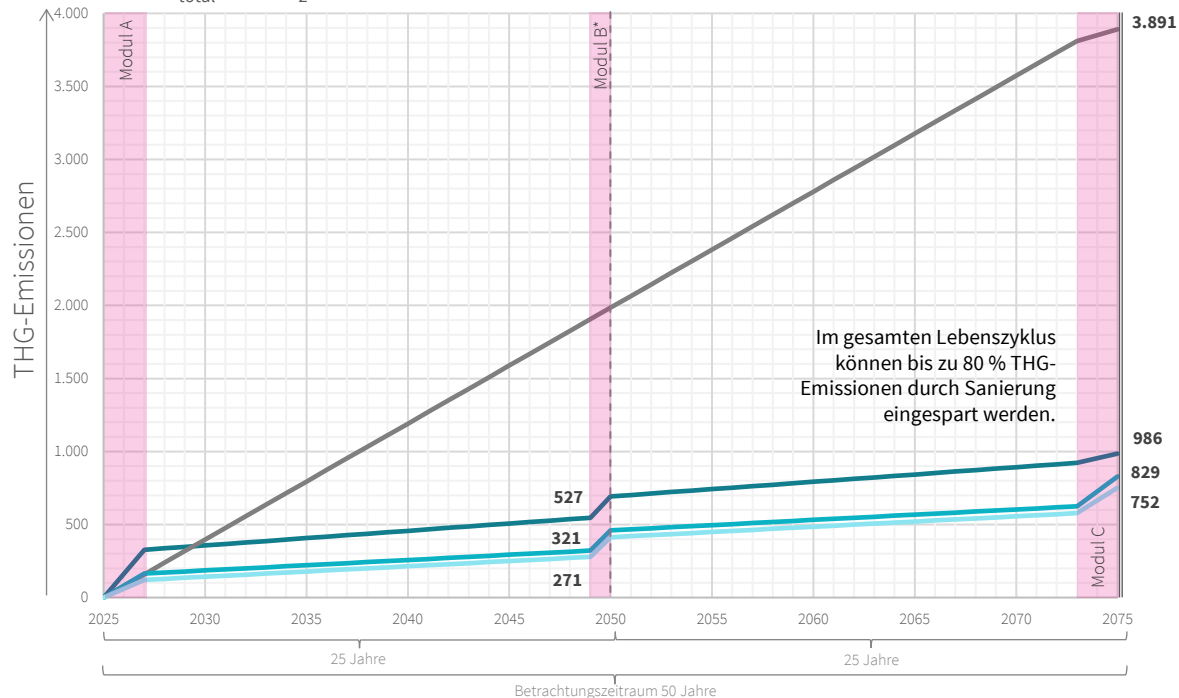


Abbildung 38: THG-Emissionen über 50 Jahre – Gebäudesanierung inklusive TGA + PV mit Betrieb, eigene Darstellung

Fazit:

Der Grafik liegt der deutsche Durchschnittsenergiemix mit einem angenommenen CO₂-Emissionsfaktor von 145 g / kWh zugrunde.

Die betriebsbedingten THG-Emissionen (Modul B6) können in Abhängigkeit zum Beispiel von PV-Erträgen, Strommix, Nutzungsenergie etc. variieren.

Es wird deutlich, wie relevant die Gebäudesanierung im gesamten Lebenszyklus ist.

*Exemplarisch sind die Instandhaltungs- und Ersatzmaßnahmen (Modul B4) gebündelt nach 25 Jahren dargestellt.

- WdVS-Sanierung (B.1a)
- Serielle Sanierung (A.2a)
- Serielle Sanierung mit Re-Use (A opt.2a)
- Bestand mit FW mix (C)

THG-Emissionen über 50 Jahre

Gebäudesanierung inklusive TGA + PV mit Betrieb

GWP_{total} in t CO₂e (LCA nach DIN 15978: Module A1-A3, B4, B6.1, C3-C4)

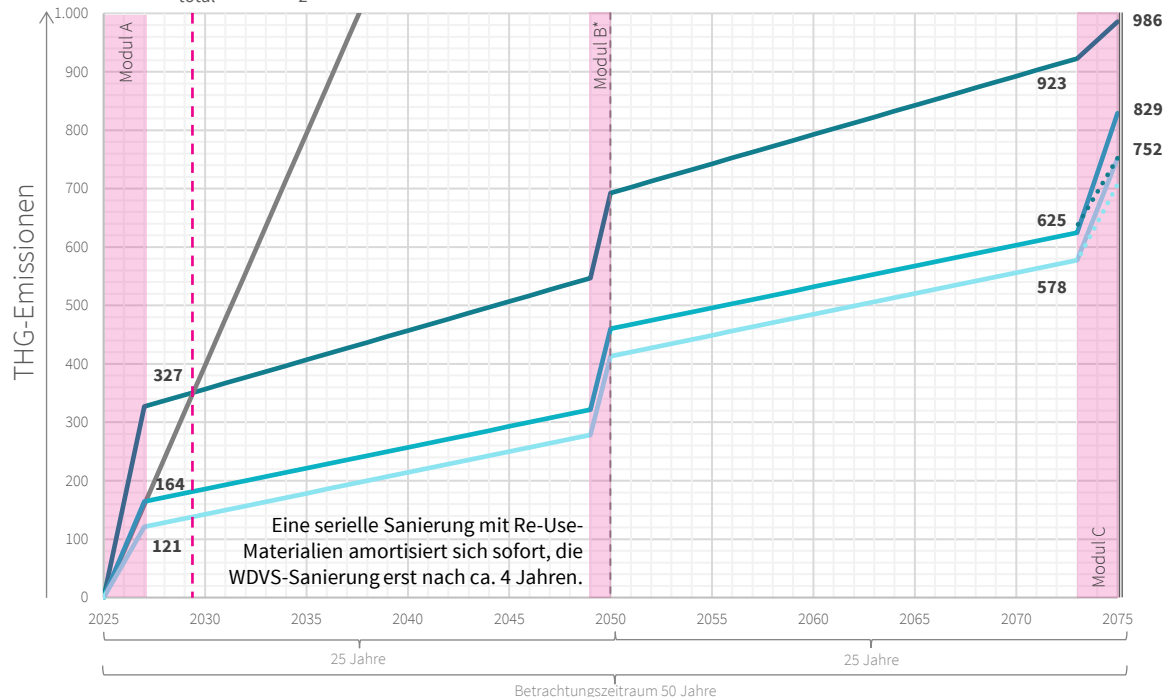


Abbildung 39: THG-Emissionen über 50 Jahre – Gebäudesanierung inklusive TGA + PV mit Betrieb (Detailansicht), eigene Darstellung

Fazit:

Umso früher die THG-Emissionen verursacht werden, umso schädlicher sind sie für das Klima.

Wenn am Lebenszyklusende der biobasierten Szenarien von einer stofflichen Verwertung ausgegangen wird, können zusätzlich ca. 140 t CO₂e eingespart werden.

*Exemplarisch sind die Instandhaltungs- und Ersatzmaßnahmen (Modul B4) gebündelt nach 25 Jahren dargestellt.

** Für die stoffliche Verwertung wurde das Modul B angenommen.

... Annahme stoffliche Verwertung

■ WdVS-Sanierung (B.1a)

■ Serielle Sanierung (A.2a)

■ Serielle Sanierung mit Re-Use (A opt.2a)

■ Bestand mit FW mix (C)

7. Fazit

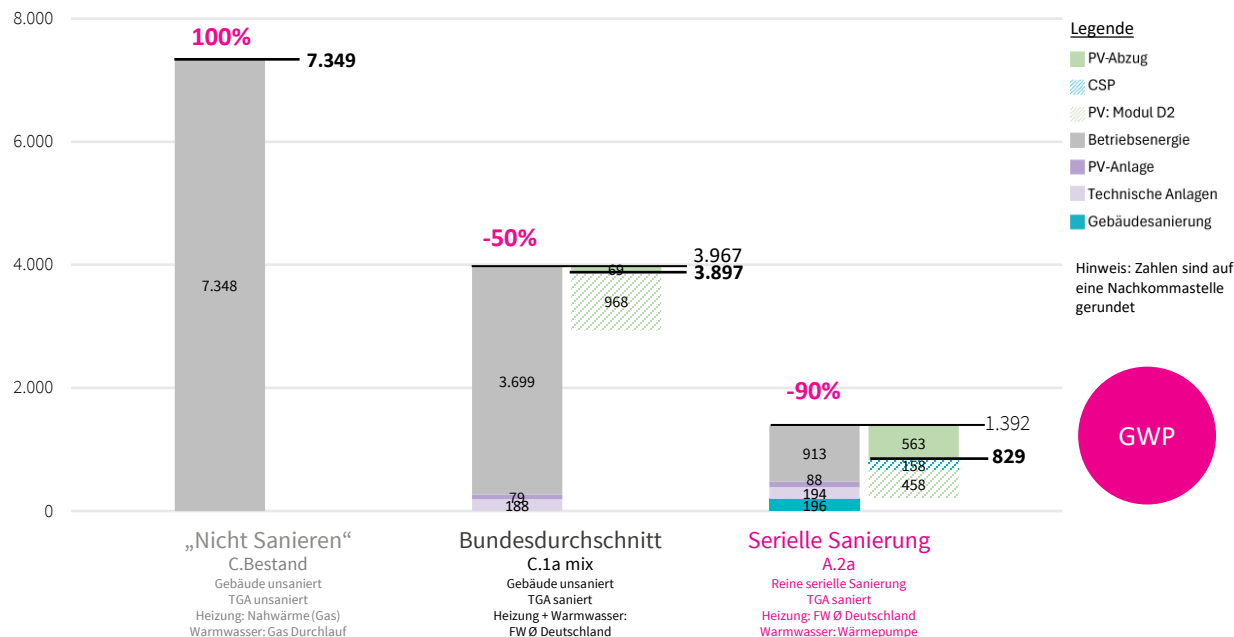
Art der Energieversorgung

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass insbesondere bei den unsanierten Szenarien (C-Szenarien) die Art der Energieversorgung einen entscheidenden Einfluss auf die Treibhausgasbilanz aufweist (vgl. Abb. 40). So zeigt das Szenario C.Bestand mix, bei dem die Raumwärme über den deutschen Fernwärmemix und die Warmwasserbereitung über Gasdurchlauferhitzer erfolgt, gegenüber einer Energieversorgung durch Nahwärme aus einem Gaswerk eine Reduktion des GWP um 47 %. Noch deutlicher fällt der Effekt im Modellprojektszenario aus (Szenario C.1a), bei dem industrielle Abwärme aus einem Stahlwerk genutzt wird. Hier kann das GWP um 89 % reduziert werden. Dies verdeutlicht das Potenzial von Abwärmenutzung. Gleichzeitig handelt es sich dabei um einen standortspezifischen Sonderfall, der nicht generell auf den Gebäudebestand in Deutschland übertragbar ist. Zudem bleiben der Energiebedarf und damit die Betriebskosten des Gebäudes trotz emissionsarmer Energieversorgung unverändert hoch.

Unabhängig von der Art der Energieversorgung sollte das vorrangige Ziel daher stets die Reduzierung des Energiebedarfs sein. Dies kann insbesondere durch eine energetische Sanierung der Gebäudehülle erreicht werden. Neben der Verringerung des Energieverbrauchs trägt eine Hüllsanierung zur Schonung von Ressourcen und Flächen bei und verbessert gleichzeitig den thermischen Komfort, da niedrige Oberflächentemperaturen an den Bauteilen vermieden werden. Darüber hinaus profitieren die Nutzerinnen und Nutzer von dauerhaft geringeren Energiekosten infolge des reduzierten Energiebedarfs.

Art der Energieversorgung

GWP in t CO₂e (LCA nach DIN 15978: Module A1-A3, B4, B6.1, C3-C4 sowie dargestellt Modul D2 PV und CSP)



Erkenntnis 1:

Im Vergleich zum Szenario „Nicht Sanieren“ zeigt sich, dass die CO₂-Bilanz maßgeblich von der Art der Energieversorgung abhängt.

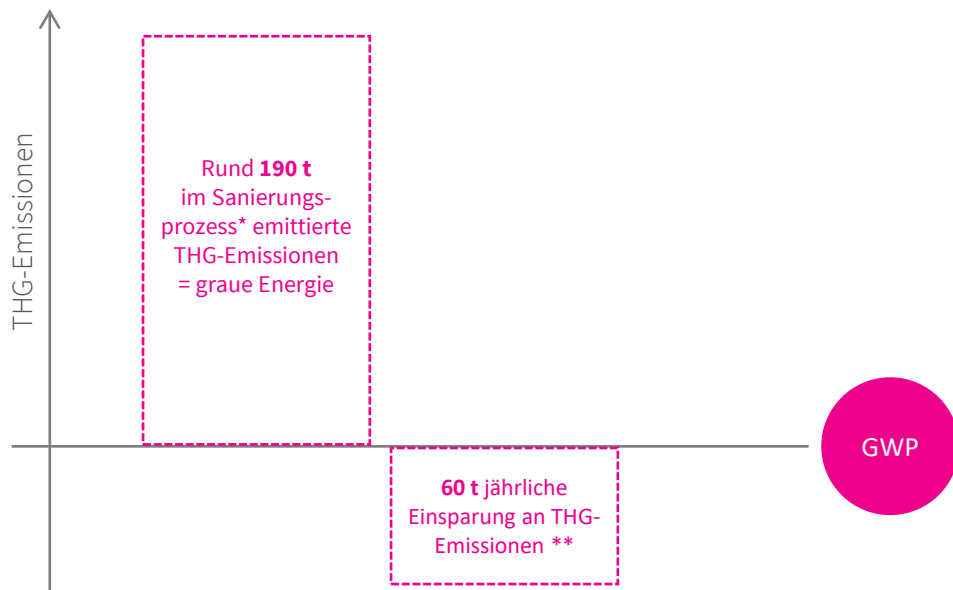
GWP

Abbildung 40: Vergleich unsanierte Szenarien mit serieller Sanierung, eigene Darstellung

Vorteile Gebäudesanierung

Die Ergebnisse belegen, dass eine energetische Sanierung grundsätzlich sinnvoll ist, da sie den Energiebedarf eines Gebäudes erheblich reduziert und damit die Treibhausgasemissionen im Gebäudebetrieb deutlich senkt. Zwar entstehen durch die Herstellung und den Einbau der neuen Baustoffe zunächst zusätzliche Emissionen, diese amortisieren sich jedoch aufgrund der eingesparten Betriebsenergie bereits nach kurzer Zeit. Im optimierten seriellen Sanierungsszenario (Szenario A opt.2) erfolgt diese Amortisation unmittelbar nach der Fertigstellung, während sie im konventionellen Sanierungsszenario (Szenario B) spätestens innerhalb der ersten vier Betrachtungsjahre erreicht wird (vgl. Abb. 41). Die durch die Sanierung verursachten Emissionen in der Konstruktionsphase fallen somit über den gesamten Lebenszyklus betrachtet nur wenig ins Gewicht.

Vorteile Gebäudesanierung



Erkenntnis 2:

Stand der Praxis: Die im Sanierungsprozess emittierten THG-Emissionen werden innerhalb von ca. 2 bis 4 Jahren durch den dekarbonisierten Energieverbrauch im sanierten Gebäude amortisiert.

Annahmen/Parameter:

Betrachtet wird das Szenario A.2a: reine serielle Sanierung.

*GWP serielle Sanierung = GWPtotal Szenario A.2a

** Gesamt unsaniertes Gebäude
= (3.900 t unsaniertes Gebäude - 900 t serielle Sanierung) / 50 Jahre

Abbildung 41: Amortisation der seriellen Sanierung im Vergleich zum Szenario „Unsanieretes Gebäude“, eigene Darstellung

Serielle und konventionelle Sanierung

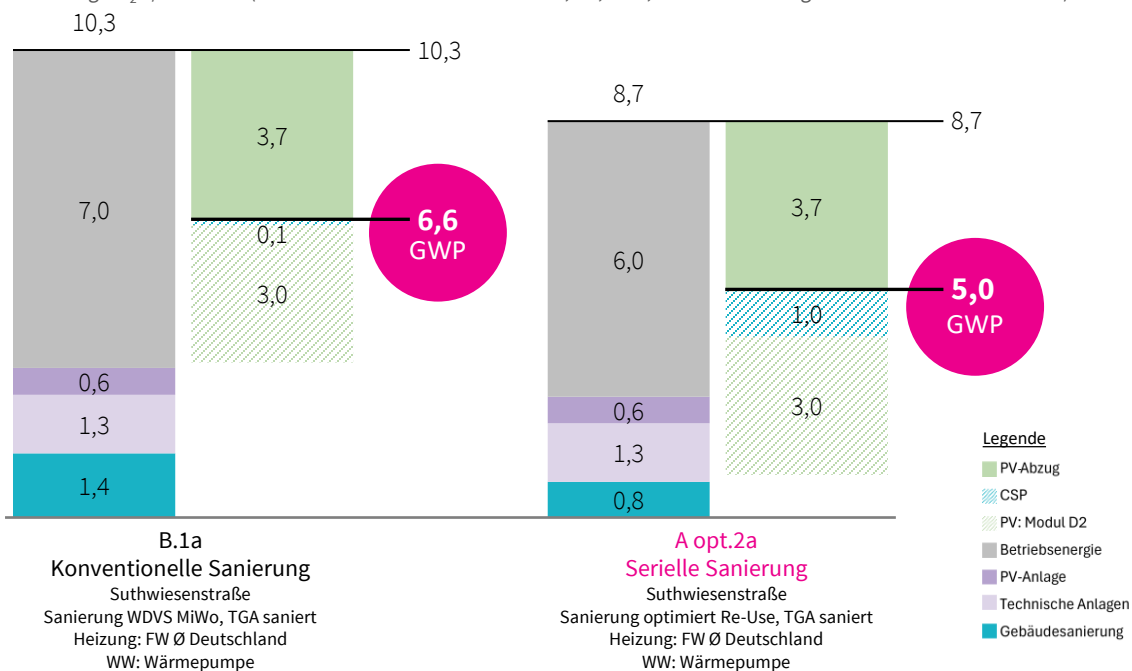
Der Vergleich der Sanierungsvarianten (vgl. Abb. 42) zeigt, dass die seriellen Sanierungen mit nachwachsenden Rohstoffen (A-Szenarien) hinsichtlich des GWP günstiger abschneiden als die konventionellen Sanierungsszenarien (B-Szenarien). Ausschlaggebend hierfür sind zum einen das geringere GWP der eingesetzten biobasierten Materialien in der Konstruktion und zum anderen die verbesserte energetische Qualität der Gebäudehülle. Durch die industrielle Vorfertigung und die Optimierung von Wärmebrücken können die Transmissionswärmeverluste reduziert werden, wodurch der Energiebedarf im Betrieb zusätzlich sinkt.

Hinsichtlich der zeitlichen Emissionsdynamik über den Gebäudelebenszyklus zeigen die seriellen Sanierungsszenarien einen deutlichen Vorteil gegenüber konventionellen Wärmedämmverbundsystemen. Während WDVS-Varianten durch den Einsatz energieintensiver Materialien wie Mineralwolle oder EPS bereits in der Herstellungsphase hohe Treibhausgasemissionen verursachen, fungieren die biobasierten Baustoffe der seriellen Sanierung in der Konstruktionsphase zunächst als Kohlenstoffsenke. Ursache hierfür ist die

Kohlenstoffeinlagerung der biobasierten Materialien während ihrer Wachstumsphase. Aus Klimaschutzperspektive ist dieses Zeitvorteil essenziell: Frühzeitig freigesetzte Treibhausgase entfalten unmittelbar ihre Erwärmungswirkung in der Atmosphäre und verstärken den kurzfristigen Strahlungsantrieb. Der Vermeidung von Emissionen zu Beginn des Lebenszyklus kommt daher eine höhere ökologische Priorität zu als zeitlich verschobenen Freisetzungen am Ende der Nutzungsdauer.

Serielle und konventionelle Sanierung

GWP in kg CO₂e / m² NRF a (LCA nach DIN 15978: Module A1-A3, B4, B6.1, C3-C4 sowie dargestellt Modul D2 PV und CSP)



Erkenntnis 3:

Betrachtet man die CO₂-Bilanz von Sanierungen ganzheitlich mittels LCA, zeigt sich, dass seriell Sanieren im Vergleich zu konventionellem Sanieren mit WDVS (Mineralwolle) besser abschneidet.

Bei der seriellen Sanierung senkt sich zudem die Betriebsenergie, da weniger Wärmebrücken anfallen.

Abbildung 42: Vergleich serielle und konventionelle Sanierung, eigene Darstellung

Bedeutung des zirkulären Bauens

Die niedrigsten Treibhausgasemissionen werden in Szenario A opt.2 erreicht, bei dem nachwachsende Rohstoffe mit sinnvoll eingesetzten Re-Use-Materialien kombiniert werden, wie zum Beispiel Unterkonstruktionen aus Altholz. Zwar fällt das CSP im Vergleich zum optimierten Szenario mit ausschließlich neuen biobasierten Baustoffen (Szenario A opt.1) geringfügig niedriger aus, dennoch ist dieses Konzept aus Nachhaltigkeitsperspektive vorzuziehen, da neben der Reduktion der Treibhausgasemissionen auch der Verbrauch neuer Rohstoffe minimiert wird.

Die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus zeigt außerdem, dass die serielle Sanierung mit einem hohen Anteil nachwachsender Rohstoffe in der Herstellungsphase zunächst mehr Kohlenstoff speichert, als durch die Herstellung emittiert wird. Um diesen initialen Klimaschutzeffekt langfristig zu sichern, muss das Freisetzen des gebundenen Kohlenstoffs am Lebensdauerende vermieden werden. Eine normgemäß angenommene thermische Verwertung in Modul C würde den gespeicherten Kohlenstoff wieder als CO₂ freisetzen und das GWP am Ende des Lebensweges erhöhen.

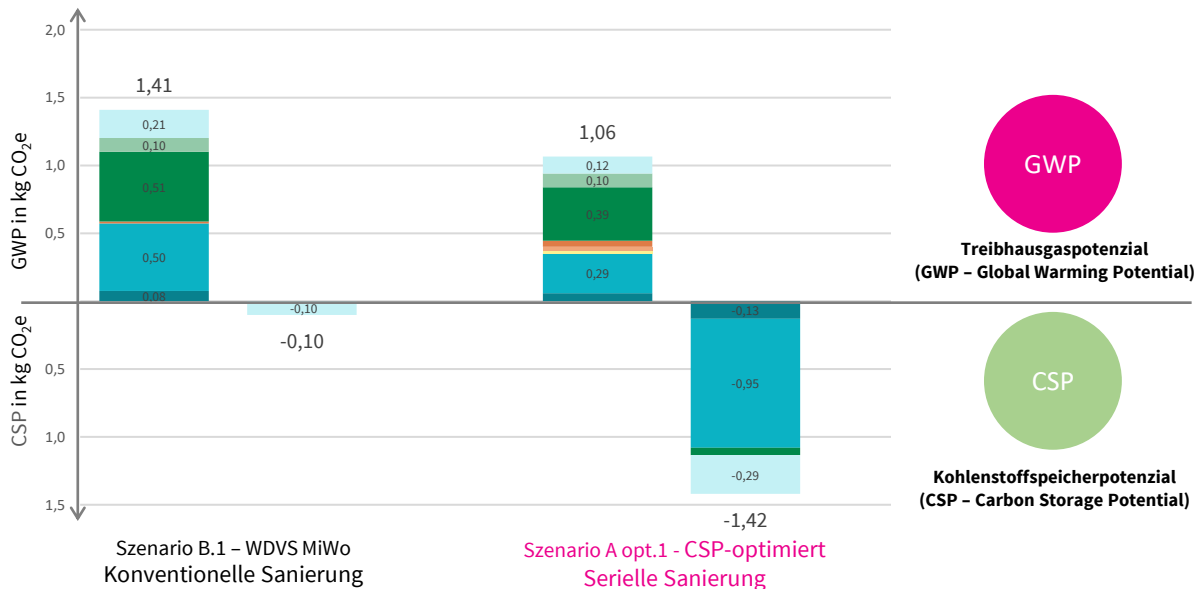
Hierin begründet sich die Notwendigkeit zirkulärer Bauweisen: Durch die Wiederverwendung, die Kaskadennutzung (vgl. Abb. 3) oder das hochwertige Recycling der Bauteile bleibt der gebundene Kohlenstoff dauerhaft der Atmosphäre entzogen. Serielle Sanierungskonzepte bieten hierfür optimale konstruktive Voraussetzungen, da der Einsatz lösbarer mechanischer Verbindungen (z. B. Schraub- oder Steckverbindungen) ein konsequentes Rückbaukonzept im Sinne des Design for Disassembly ermöglicht und somit die Voraussetzung für das zirkuläre Bauen schafft.

Bedeutung des zirkulären Bauens

Szenarien Gebäudesanierung (KG 300)*

GWP in kg CO₂e / m² NRF a (Module A1-A3, B4, C3-C4)

CSP in kg CO₂e / m² NRF a (Module A1-A3 aus GWPbiogenic)



Erkenntnis 4:

Mit dem seriellen Sanieren kann die Sanierung zur Kohlenstoffsенке werden, wenn zirkuläre Prinzipien verfolgt werden.

Seriell und zirkuläres Sanieren ermöglichen, nicht nur THG-Emissionen zu reduzieren, sondern zusätzlich CO₂-Emissionen der Atmosphäre zu entziehen und als Kohlenstoff in der Fassade einzulagern.

*Ohne KG 400
(Technische Gebäudeausstattung), PV und Betriebsenergie

Abbildung 43: Vergleich serielle und konventionelle Sanierung in Bezug auf Zirkularität, eigene Darstellung

LCA Fazit



Das Szenario „Serielle Sanierung“ spart im Vergleich zum unsanierten Szenario **rund 3.000 t CO₂e** über den gesamten Lebenszyklus ein.

Dies entspricht **ca. 2.500** einfachen Flügen (Oneway) einer Einzelperson von Berlin nach New York.*



Durch die Verwendung nachwachsender Rohstoffe werden bei dem Szenario „Serielle Sanierung“ **rund 160 t CO₂e** langfristig als Kohlenstoff gebunden.

Dies entspricht der Speicherleistung von **ca. 160 Buchen** im Alter von 70 Jahren.**

Annahmen/Parameter:

Betrachtet wurde das Szenario A.2a (reine serielle Sanierung, inklusive PV-Abzug) im Vergleich zu C.Bestand mix.

* Gesamtklimawirkung (empfohlen von atmosfair): Berücksichtigt man neben dem reinen CO₂ auch die Klimawirkung in großer Höhe (wie Kondensstreifen und Stickoxide), verursacht ein Oneway-Flug (Economy) von Berlin nach New York etwa 1,2 t CO₂e pro Person.

** Thünen-Institut, Thünen Working-Paper 239 (2024): *Hilfstabellen zur Abschätzung der Kohlenstoffspeicherung in Waldbeständen in Deutschland*. Braunschweig (Berechnungsgrundlage: ca. 1 t CO₂ pro 70-jähriger Buche).

Abbildung 44: Fazit THG-Emissionen und Kohlenstoffspeicherungspotenzial der seriellen Sanierung, eigene Darstellung

8. Ausblick

Potenziale biobasierter und zirkulärer Bauweisen

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass die serielle Sanierung mit biobasierten Baustoffen bereits heute ein erhebliches Potenzial zur Reduktion der Treibhausgasemissionen besitzt. Weitere Optimierungsmöglichkeiten bestehen insbesondere im konsequenten Einsatz nachwachsender Rohstoffe sowie in der verstärkten Verwendung von schnell nachwachsenden Dämmstoffen wie Hanf und Stroh oder Baustoffen aus Paludikulturen²⁰. In Kombination mit einer zirkulären Bauweise und der hochwertigen Wiederverwendung von Bauteilen kann der in den Materialien gebundene Kohlenstoff langfristig im Stoffkreislauf gehalten werden. Dadurch lässt sich sowohl das Kohlenstoffspeicherpotenzial erhöhen als sich auch die lebenszyklusbezogenen Treibhausgasemissionen weiter reduzieren lassen.

²⁰ Gebäudeforum klimaneutral / dena (2023): *Baustoffe als nachhaltige Ökosysteme*

Potenziale biobasierter und zirkulärer Bauweisen



Ausblick – Optimierungspotenzial:
Kommen biobasierte Dämmstoffe zum Einsatz, die ein schnelleres Wachstum und eine hohe CO₂-Speicherfähigkeit haben, kann das Kohlenstoff-speicherpotenzial weiter vergrößert werden.

Abbildung 45: Projekt *Circular Reno*, Energiesprong

Re-Use und Ressourceneffizienz

Ein weiteres Optimierungspotenzial liegt in der systematischen Wiederverwendung von Bauteilen. Neben den in dieser Studie betrachteten Re-Use-Komponenten (vgl. Abb. 46) könnten künftig beispielsweise Stahlkonsolen, Fensterglas oder konstruktive Holzbauteile wiederverwendet werden. Da die energieintensive Herstellung neuer Baustoffe entfällt, können sowohl der Primärrohstoffbedarf als auch die grauen Treibhausgasemissionen weiter reduziert werden. Die serielle Bauweise bietet hierfür besonders günstige Voraussetzungen, da vorgefertigte Fassadenelemente überwiegend mechanisch verbunden werden und somit einen zerstörungssarmen Rückbau im Sinne des Design for Disassembly ermöglichen.

Darüber hinaus bietet die serielle Sanierung das Potenzial, die Ressourceneffizienz zu erhöhen und Bauabfälle zu reduzieren. Durch den hohen Vorfertigungsgrad können Materialzuschnitte optimiert sowie Materialverluste und Baustellenabfälle verringert werden. Gleichzeitig reduziert sich der Umfang der Vor-Ort-Arbeiten.

Diese Potenziale entsprechen den Zielen des Circular Economy Action Plan der Europäischen Union, der die Vermeidung von Bau- und Abbruchabfällen sowie die Schließung von Materialkreisläufen als zentrale Maßnahmen einer klimaneutralen Bauwirtschaft hervorhebt²¹. Da diese Zusammenhänge im Rahmen der vorliegenden Studie nicht quantifiziert wurden, sollten sie Gegenstand zukünftiger Forschungsarbeiten sein. Ein Vergleich realisierter serieller Sanierungen und konventioneller WDVS-Sanierungen hinsichtlich Materialeinsatz, Verschnittmengen und Bauabfällen könnte das Ressourceneinsparpotenzial serieller Sanierungssysteme empirisch nachweisen.

²¹ Europäische Kommission (2020): *EU Circular Economy Action Plan*

Re-Use und Ressourceneffizienz

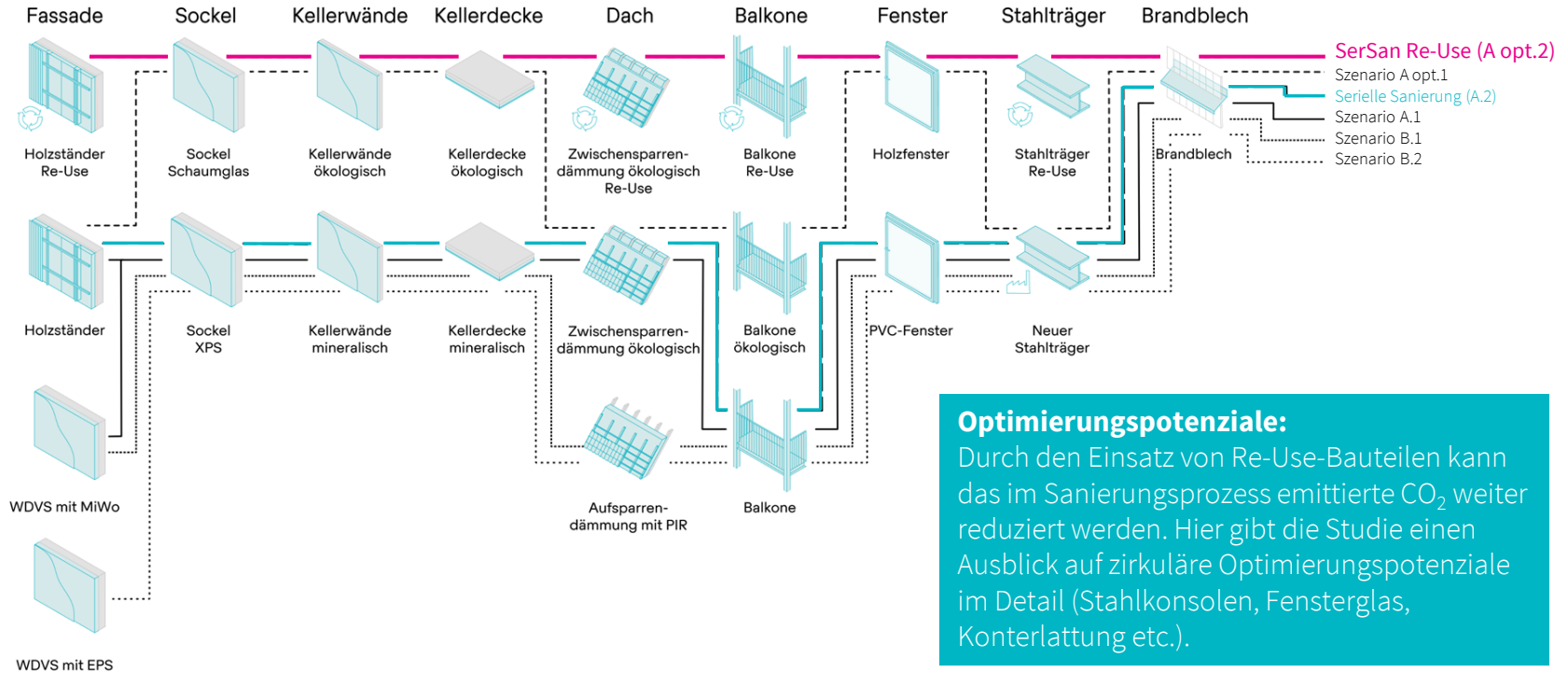


Abbildung 46: Zirkuläre Optimierungspotenziale, eigene Darstellung

Perspektiven für die Praxis

Ein zentrales Ergebnis der Untersuchung ist, dass das betrachtete Modellprojekt den Grenzwert des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG Premium für Neubauten) für das Treibhauspotenzial des Gebäudelebenszyklus unterschreitet. Für neue Wohngebäude beträgt dieser Grenzwert 20 kg CO₂-Äquivalente / m² NRF a²². Damit zeigt sich, dass serielle Sanierungssysteme bereits mit heute verfügbaren Technologien die Anforderungen eines anspruchsvollen Nachhaltigkeitsstandards erfüllen und somit einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung des Gebäudebestands leisten können.

Für zukünftige Untersuchungen erscheint zudem eine differenzierte Betrachtung der Nutzungsdauer biobasierter Fassadensysteme sinnvoll. Die in Ökobilanzen angesetzten Referenznutzungsdauern orientieren sich an normativen Annahmen, während zahlreiche historische Holzgebäude belegen, dass fachgerecht geplante und instand gehaltene Holzkonstruktionen Nutzungsdauern von deutlich über 100 Jahren erreichen können²³.

Eine Verlängerung der angesetzten Materialnutzungsdauer könnte die Umweltbilanz biobasierter Fassadensysteme weiter verbessern und sollte in zukünftigen Forschungsarbeiten untersucht werden.

Darüber hinaus kann der verstärkte Einsatz regional verfügbarer biobasierter Baustoffe wie Holz, Hanf und Stroh oder Biomasse aus Paludikulturen regionale Wertschöpfungsketten stärken, Transportemissionen reduzieren und die Transformation zu einer klimaneutralen und ressourceneffizienten Bauwirtschaft unterstützen²⁴.

²² BMWSB (2023): *Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) – Neubau und Modernisierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden*

²³ Informationsdienst Holz (2024): *Nachhaltig, langlebig und zukunftsfähig*

²⁴ Bauhaus Erde / Natural Building Lab (2025): *Naturbasierte Materialien – Wege zum klimaneutralen Bauen in Deutschland*

9. Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR, 2020): Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland. BBSR-Online-Publikation Nr. 17/2020, Bonn
- [2] Umweltbundesamt (UBA, 2026): Treibhausgasminderungsziele in Deutschland. Fachartikel vom 30.06.2026
- [3] DIN EN 15978:2012-10: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode. Deutsche Fassung EN 15978:2011
- [4] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR, 2026): Nutzungsdauern von Bauteilen
- [5] Gebäudeenergiegesetz (GEG): Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728), in der jeweils gültigen Fassung
- [6] Niedersächsische Bauordnung (NBauO) vom 3. April 2012
- [7+12] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB, 2024). QNG-Anforderungsdokument: Anhang 3.1.1 zur Anlage 3 – Bilanzierungsregeln des QNG für Wohngebäude. Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude, Berlin
- [8] Schneider, A. M. / Friedel, E.-M. / Exton-Smith, F. / Holsten, A. / Li, C. / Reck, B. K. (2025): Carbon Mitigation Potential in Building Design: A Region-Specific LCA Approach for Nature-Based Construction. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science
- [9] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB, 2023): Ökobilanzierung-Rechenwerte 2023, Version 1.3. Stand: 27.03.2024, Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude, Berlin
- [10] DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Sanierung (2021): ENV1.1 Ökobilanz des Gebäudes, S. 11
- [11] Anhang 2 (2026): QE-Kennzahlen. Angaben Energieberater, Stand: 15.06.2026
- [11] Anlage 2: QE-Kennzahlen. Angabe Energieberater, Stand: 15.06.2026
- [13] AGFW – Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (2024): AGFW-Hauptbericht: Zahlen und Statistiken der Fernwärmeversorgung. Online verfügbar unter: <https://www.agfw.de/zahlen-und-statistiken/agfw-hauptbericht> (abgerufen am 23.06.2026)
- [14] Angabe TAG Immobilien AG (2026)
- [15] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB, 2024): Anhangdokument 3.4: Sonderberechnungsvorschrift Fernwärme. Siegeldokument zum Handbuch Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG), Stand: 01.04.2024, Berlin
- [16] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB, 2025): QNG FAQ, Stand: 01.10.2025
- [17] FMI Fachverband Mineralwolleindustrie e. V. (2023): Mineralwolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebereich. ÖKOBAUDAT-Datensatz. Online verfügbar unter: <https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?lang=de&uuid=699e3d57-72b4-402d-a0ee-cebb06f3cdf1&version=00.07.000> (abgerufen am 27.07.2026)
- [18] Umweltbundesamt (UBA, 2026): Abschlussbericht: Weiterentwicklung des Produktportfolios des Umweltzeichens Blauer Engel – Dämmstoffe und Dämmsysteme für die Wärmewende. TEXTE 73/2026, Dessau-Roßlau
- [19] Pittsburgh Corning Europe NV / IBU (2021): FOAMGLAS® S3. ÖKOBAUDAT-Datensatz. Online verfügbar unter: <https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?lang=de&uuid=f0b20a40-b4cb-4c34-9f2e-145e3d9af024&version=00.03.000> (abgerufen am 27.07.2026)

Literaturverzeichnis

- [20] Gebäudeforum klimaneutral / dena (2023): Baustoffe als nachhaltige Ökosysteme. In: Gebäudeforum Newsletter, Ausgabe 03/2023. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
- [21] Europäische Kommission (2020): Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft – Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, COM (2020) 98 final, Brüssel, 11.03.2020
- [22] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB, 2023): Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) – Neubau und Modernisierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden. Broschüre, Berlin, Stand: Juli 2023
- [23] Informationsdienst Holz (2024): Nachhaltig, langlebig und zukunftsfähig. Fachartikel vom 11.03.2024
- [24] Bauhaus Erde / Natural Building Lab (2025): Naturbasierte Materialien – Wege zum klimaneutralen Bauen in Deutschland. Studie im Auftrag von Built by Nature, Potsdam/Berlin

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: THG-Emissionen nach Sektoren. Darstellung nach Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland. BBSR-Online-Publikation Nr. 17/2020, Bonn, 2020

Abb. 2: THG-Emissionen verschiedener Materialien. CINARK – Centre for Industrialized Architecture (2019): The Material Pyramid. Royal Danish Academy – Architecture, Design, Conservation, Kopenhagen. Online verfügbar unter: <https://materialepyramiden.dk/> (abgerufen am: 27.07.2026)

Abb. 3: Kaskadennutzung am Beispiel von Holz. Weidner, S. / Mrzigod, A. / Bechmann, R. / Sobek, W. (2021): Graue Emissionen im Bauwesen – Bestandsaufnahme und Optimierungsstrategien. In: Beton- und Stahlbetonbau

Abb. 4-11: Eckdaten und Plangrundlagen. Daten und Bilder von TAG Immobilien AG: Modellprojekt in Salzgitter

Abb. 12-16: Baustellenbesichtigung. Marie Heyer, weberbrunner pischetsrieder architektur: Modellprojekt in Salzgitter, Stand: 16.04.2026

Abb. 17: Kohlenstoffspeicherpotenzial, eigene Darstellung

Abb. 18: Betrachtete Module, Darstellung nach Djahanschah, S. et al. (2022): Lebenszyklus eines Gebäudes nach DIN EN 15978 und DIN EN 15804, DBU Bauband 4, Wohnquartier in Holz

Abb. 19: Vorgehensweise, eigene Darstellung

Abb. 20: Landkarte betrachteter Szenarien, eigene Darstellung

Abb. 21: Sanierungsszenarien Gebäudekonstruktion, eigene Darstellung

Abb. 22-23: Bauteilaufbauten – Fassade, eigene Darstellung

Abb. 24: Bauteilaufbauten – Sockel, eigene Darstellung

Abb. 25: Bauteilaufbauten – Kellerinnenwände, eigene Darstellung

Abb. 26: Bauteilaufbauten – Kellerdecke, eigene Darstellung

Abb. 27-28: Bauteilaufbauten – Dach, eigene Darstellung

Abb. 29: Ergebnisse LCA – Szenarien Gebäudesanierung (KG 300), eigene Darstellung

Abb. 30: Ergebnisse LCA – Sanierungsszenarien Suthwiesenstraße, eigene Darstellung

Abb. 31: Ergebnisse LCA – Sanierungsszenarien Schäferkamp, eigene Darstellung

Abb. 32: Ergebnisse LCA – Bestand mit Energiemix und Szenarien TGA Suthwiesenstraße, eigene Darstellung

Abb. 33: Ergebnisse LCA – Bestand mit Energiemix und Szenarien TGA Schäferkamp, eigene Darstellung

Abb. 34: Ergebnisse LCA – Fazit in kg CO₂e relativ zur NRF, eigene Darstellung

Abb. 35: Ergebnisse LCA – Fazit in kg CO₂e absolut, eigene Darstellung

Abb. 36: THG-Emissionen über 50 Jahre – Gebäudesanierung ohne Betrieb, eigene Darstellung

Abb. 37: THG-Emissionen über 50 Jahre – Gebäudesanierung inklusive TGA + PV ohne Betrieb, eigene Darstellung

Abb. 38: THG-Emissionen über 50 Jahre – Gebäudesanierung inklusive TGA + PV mit Betrieb, eigene Darstellung

Abb. 39: THG-Emissionen über 50 Jahre – Gebäudesanierung inklusive TGA + PV mit Betrieb (Detailansicht), eigene Darstellung

Abbildung 40: Vergleich unsanierte Szenarien mit serieller Sanierung, eigene Darstellung

Abb. 41: Amortisation der seriellen Sanierung im Vergleich zu Szenario „Unsanieretes Gebäude“, eigene Darstellung

Abb. 42: Vergleich serielle und konventionelle Sanierung, eigene Darstellung

Abb. 43: Vergleich serielle und konventionelle Sanierung in Bezug auf Zirkularität, eigene Darstellung

Abb. 44: Fazit THG-Emissionen und Kohlenstoffspeicherpotenzial der seriellen Sanierung, eigene Darstellung

Abb. 45: Projekt Circular Reno, Energiesprung

Abb. 46: Zirkuläre Optimierungspotenziale, eigene Darstellung

11. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

CSP	Carbon Storage Potential
dez.	dezentral
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
EH	Effizienzhaus
EPS	Expandiertes Polystyrol
GWP	Global Warming Potential
LCA	Life Cycle Assessment
MiWo	Mineralwolle
PIR	Polyisocyanurat
PV	Photovoltaik
PVC	Polyvinylchlorid
QNG	Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
THG	Treibhausgas
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WW	Warmwasser
XPS	Extrudiertes Polystyrol

12. Anhang

Ergebnisse LCA KG 300

Übersicht Szenarien KG 300 (zu Kapitel 5)

Szenario A.1: Modellprojekt (serielle Sanierung, Giebel)			Szenario A.2: Serielle Sanierung Holz			Szenario B.1: WDVS MIWo			Szenario B.2: WDVS EPS			Szenario A _{opt.} 1: optimiert			Szenario A _{opt.} 2: optimiert ReUse		
Bauteil	GWP	CSP	Bauteil	GWP	CSP	Bauteil	GWP	CSP	Bauteil	GWP	CSP	Bauteil	GWP	CSP	Bauteil	GWP	CSP
Außenwände	46.754	-123.317	Außenwände	46.068	-143.173	Außenwände	75.175	0,0	Außenwände	100.890	0,0	Außenwände	43.793	-143.176	Außenwände	36.631	-95.539
Brandschutzbleche	3.762	0,0	Brandschutzbleche neu	3.762	0,0	keine	-	-	keine	-	-	Brandschutzbleche	3.762	0,0	Brandschutzbleche ReUse	0,0	0,0
Befestigungselemente	4.099	0,0	Befestigungselemente	4.099	0,0	keine	-	-	keine	-	-	Befestigungselemente	4.099	0,0	Befestigungselemente	4.099	0,0
Fenster PVC	77.386	0,0	Fenster PVC	77.386	0,0	Fenster PVC	77.386	0,0	Fenster PVC	77.386	0,0	Fenster Holz	59.521	-8.277	Fenster Holz	59.521	-8.277
Keller MIWo	11.327	0,0	Keller MIWo	11.327	0,0	Keller MIWo	11.327	0,0	Keller EPS	13.761	0,0	Keller Holzfaser	8.927	-19.681	Keller Holzfaser	8.927	-19.681
Dach PIR	31.471	-15.248	Dach PIR	31.471	-15.248	Dach PIR	31.471	-15.248	Dach PIR	31.471	-15.248	Dach Holzfaser	18.675	-43.151	Dach Holzfaser + ReUse	9.181	-27.903
Stahl + Betonfertigteil	15.300	0,0	Stahl + Betonfertigteil	15.300	0,0	Stahl + Betonfertigteil	15.300	0,0	Stahl + Betonfertigteil	15.300	0,0	Stahl + Betonfertigteil	15.300	0,0	Balkone ReUse	-	0,0
Stahlkomponenten	6.600	0,0	Stahlkomponenten	6.600	0,0	Stahlkomponenten	2.600	0,0	Stahlkomponenten	2.600	0,0	Stahlkomponenten	6.600	0,0	Stahlkomponenten ReUse	0,0	0,0
GESAMT	196.699	- 138.565	196.013	- 158.421		213.258	- 15.248		241.408	- 15.248		160.677	- 214.284		118.358	- 151.400	
GESAMT in t	197	-139	196	-158		213	-15		241	-15		161	-214		118	-151	
pro m² BGF/a	1,00	-0,71	1,00	-0,81		1,09	-0,08		1,23	-0,08		0,82	-1,09		0,60	-0,77	
pro m² NRF/a	1,30	-0,92	1,30	-1,05		1,41	-0,10		1,60	-0,10		1,06	-1,42		0,78	-1,00	

QE-Kennzahlen

Überblick Energieberater (zu Kapitel 6)

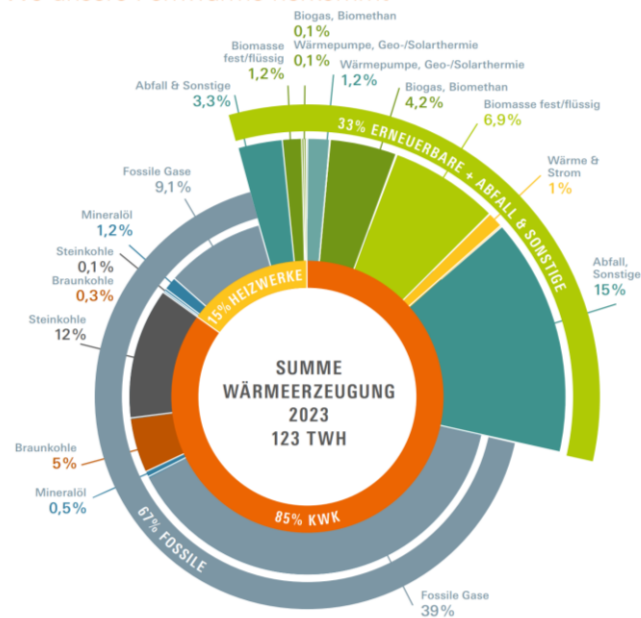
			IST-Zustand		Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4 (wie 3 mit geprüfte Luftdichtheit)		Variante 5 (wie 4 + reduzierte Rohrlängungen)		Variante 6 - GEG 2026					
			ungedämmte Gebäudehülle		ungedämmte Gebäudehülle		ungedämmte Gebäudehülle		EHSS-Wärmeschutz		EHSS-Wärmeschutz		EHSS-Wärmeschutz		EHSS-Wärmeschutz					
			Schäferkamp	Suthwiesen	Schäferkamp	Suthwiesen	Schäferkamp	Suthwiesen	Schäferkamp	Suthwiesen	Schäferkamp	Suthwiesen	Schäferkamp	Suthwiesen	Schäferkamp	Suthwiesen	Schäferkamp	Schäferkamp	Schäferkamp	Suthwiesen
			NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil	NW fossil
Heizung	Wärmewasser	kein HA, Verteilnetz ungedämmt		HA, Verteilnetz optimiert		kein HA, Verteilnetz ungedämmt		HA, Verteilnetz optimiert		kein HA, Verteilnetz ungedämmt		HA, Verteilnetz optimiert		kein HA, Verteilnetz ungedämmt		HA, Verteilnetz optimiert		kein HA, Verteilnetz ungedämmt		
		Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf	Gas-Durchlauf		
des ohne Zirkulation		des ohne Zirkulation		des ohne Zirkulation		des ohne Zirkulation		des ohne Zirkulation		des ohne Zirkulation		des ohne Zirkulation		des ohne Zirkulation		des ohne Zirkulation		des ohne Zirkulation		
Bilanzierungsergebnisse GEG 2024	Nutzfläche A _g	m²	2.067	2.067	2.067	2.067	2.067	2.067	2.645	2.645	2.645	2.645	2.645	2.645	2.645	2.645	2.645	2.645	2.645	
	Bedarf TW	kWh/Jahr	26.276	26.276	26.276	26.276	26.276	26.276	31.840	31.840	31.840	31.840	31.840	31.840	31.840	31.840	31.840	31.840	31.840	
	Bedarf HZ	kWh/Jahr	371.455	365.350	372.399	366.099	372.533	359.057	101.461	86.411	83.351	71.254	87.025	76.434	100.157	83.351	100.157	87.674	87.674	
	Q _g Wärmewasser	kWh/Jahr	28.201	28.201	58.442	58.442	6.785	4.501	8.879	6.341	8.845	6.319	8.613	4.908	14.901	14.509	12.333	12.296	12.296	
	Q _g Hilfsenergie TW	kWh/Jahr	198	198	0	0	0	227	0	293	0	292	0	224	0	0	0	275	275	
	Q _g Heizung	kWh/Jahr	480.876	474.076	458.718	451.817	482.278	465.859	139.323	119.872	116.785	100.696	116.383	102.812	39.601	32.790	35.127	33.243	33.243	
	Q _g Hilfsenergie HZ	kWh/Jahr	3.068	3.068	0	0	917	786	374	301	327	363	335	252	754	666	647	646	646	
	PV	kWh/Jahr			-2.607	-2.602	-25.978	-18.944	-28.532	-21.180	-28.501	-21.146	-28.155	-18.707	-30.225	-29.648	-37.373	-21.946	-21.946	
	Heizwerk Fossil	kWh/Jahr	480.876	474.076			482.278	465.859												
	PW EE	kWh/Jahr			517.161	510.259			139.323	119.872	116.785	100.696	116.383	102.812						
Strom	kWh/Jahr					6.785	4.501	8.879	6.341	8.851	6.319	8.613	4.908	54.502	47.298	47.460	45.489	45.489		
Gas (Nett bezogen, 11%)	kWh/Jahr	31.303	31.303											754	666	647	921	921		
Hilfsenergie	kWh/Jahr	3.236	3.236	0	0	917	1.013	374	594	327	556	335	476							
Photovoltaik gemäß GEG 2024	PV		0	0	OST+WEST	SÜD	OST+WEST	SÜD	OST+WEST	SÜD	OST+WEST	SÜD	OST+WEST	SÜD	OST+WEST	SÜD	OST+WEST	SÜD	SÜD	
	PV-Fläche	m²	169,8+243,7	256	169,8+243,7	256	169,8+243,7	256	169,8+243,7	256	169,8+243,7	256	169,8+243,7	256	169,8+243,7	256	169,8+243,7	350+350	256	
	PV-Leistung	kWp	30,9+44,3	46,6	30,9+44,3	46,6	30,9+44,3	46,6	30,9+44,3	46,6	30,9+44,3	46,6	30,9+44,3	46,6	30,9+44,3	46,6	30,9+44,3	2 x 63,7	46,6	
	PV-Ertrag	kWh/Jahr	49.498	37.793	49.498	37.793	49.498	37.793	49.498	37.793	49.498	37.793	49.498	37.793	49.498	37.793	49.498	84.349	37.793	
	el. Bedarf	kWh/Jahr	2.607	2.602	33.680	24.458	37.778	28.115	37.679	28.013	37.679	28.013	37.103	24.082	85.997	77.613	85.997	67.847	67.847	
	PV-Nutzen	kWh/Jahr	0	0	2.607	2.602	25.978	18.944	28.530	21.180	28.501	21.142	28.155	18.704	30.271	29.648	37.419	21.903	21.903	
	Strom-Autarkie	%	0	0	100%	100%	77%	77%	76%	73%	76%	73%	76%	78%	35%	38%	44%	32%	32%	
	PV-Eigenanteil	%	0	0	5%	7%	52%	50%	58%	56%	58%	56%	57%	49%	61%	60%	44%	58%	58%	
	QP-Gutschrift	kWh/(m²·Jahr)	0	0	2,3	2,3	22,6	16,5	19,4	14,4	19,4	14,4	19,2	12,7	20,6	20,2	25,4	14,9	14,9	
	Angaben Energieausweis	QP	kWh/(m²·Jahr)	320,3	316,0	75,1	74,1	310,0	297,8	21,9	18,3	19,5	15,9	19,3	15,2	kein EH SS	32,6	32,7	31,3	31,3
QE		kWh/(m²·Jahr)	247,9	244,6	250,2	246,9	237,1	228,1	56,2	48,5	48,2	40,7	48,0	40,9	21,1	18,2	18,4	17,5	17,5	
CO2		kg/(m²·Jahr)	97,2	95,9	15,0	14,8	95,4	91,7	5,1	4,2	4,6	3,7	4,5	3,4	11,7	10,2	10,2	9,7	9,7	
QE-TW		kWh/(m²·Jahr)	11,6	11,6	28,3	28,3	3,3	2,2	3,4	2,4	3,3	2,4	3,3	1,9	5,6	5,5	4,7	4,6	4,6	
QE-HZ		kWh/(m²·Jahr)	232,7	229,4	221,9	218,6	233,3	225,4	52,7	45,9	44,7	38,1	44,6	38,9	15,1	12,5	13,4	12,6	12,6	
QE-Hilfe		kWh/(m²·Jahr)	1,6	1,6	(100% über PV)	(100% über PV)	0,4	0,5	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	

Fernwärmemix aus AGFW

Hauptbericht 2024 (zu Kapitel 3)

Die Mischung macht's

Wo unsere Fernwärme herkommt



Wärmeerzeugung für Wärmenetze nach Energieträgern in Deutschland 2023; Quelle: Fraunhofer IFAM mit Daten aus [9a]

13. Impressum

Impressum

Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin
Tel: +49 30 66 777-0
info@dena.de
info@energiesprong.de

Autorinnen und Autoren:

weberbrunner pischetsrieder architektur
Ansprechpartnerin: Elise Pischetsrieder
weberbrunner pischetsrieder architektur
Zehdenicker Straße 21
10119 Berlin
info@wbp-architektur.de

FrieNa

Ansprechpartnerin: Eva-Maria Friedel
FrieNa – Friedel Nachhaltigkeitsberatung
Odenwaldstraße 13
12161 Berlin
info@frienaeu

Stand: 09/2026

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Bitte zitieren als:

Deutsche Energie-Agentur (dena, 2026):
Studie zur Lebenszyklusanalyse im seriellen Sanieren. Berlin.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Die Veröffentlichung dieser Publikation erfolgt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) unterstützt die Bundesregierung in verschiedenen Projekten zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele im Rahmen der Energiewende.

KI-Hinweis: Die Inhalte dieser Publikation wurden von Menschen ausgearbeitet und geprüft. Bei der Erstellung wurde für die folgenden Anwendungen KI verwendet: Recherche, Kürzen und Zusammenfassen von Inhalten und sprachliches Optimieren.