

GUTACHTEN

„Graue Energie und Materialkreisläufe
bei Sanierung statt Abriss und Neubau“

Inhalt

1	Motivation.....	3
2	Grundlagen und Begriffserklärungen	4
2.1	Graue Energie und Ökobilanzierung.....	4
2.2	Materialkreisläufe	14
3	Beispielprojekt.....	22
3.1	Randbedingungen	23
3.2	Bestandsanalyse.....	24
3.3	Graue Energie für Abriss und Neubau	26
3.4	Graue Energie bei Sanierung.....	30
3.5	Vergleich Abriss und Neubau zu Sanierung	33
3.6	Handlungsmöglichkeiten zur Kreislaufwirtschaft/Rückbau am Beispielprojekt	37
4	Entwicklung und Empfehlung von Fördermöglichkeiten	39
4.1	Bewertungs- und Zertifizierungssysteme für Nachhaltiges Bauen.....	39
4.2	Förderkonzepte Graue Emissionen.....	50
4.3	Förderkonzepte Ressourceneinsatz.....	60
5	Entwicklung und Validierung eines Förderwerkzeugs	63
5.1	Entwicklung eines Förderwerkzeugs	63
5.2	Proof-of-Concept der Fördermethodik.....	67
5.3	Fazit und Ausblick.....	72

1 Motivation

Das Bauwesen ist heute für 36% des weltweiten Energieverbrauchs und somit für 37% der Treibhausgasemissionen verantwortlich (UNEP 2021)¹. Dabei entfällt der Großteil der Emissionen (27%) derzeit auf den Betrieb/Nutzungsphase der Gebäude. Durch die fortschreitende Dekarbonisierung (steigender Anteil der Erneuerbaren) des Strom-Mix und effizienteren Gebäudedämmungen reduzieren sich jedoch die Emissionen im Betrieb.

Somit erlangen die Emissionen der Konstruktion eine zunehmende Bedeutung. Diese werden auch „Graue Emissionen“ genannt. Im Allgemeinen enthalten sie alle Emissionen, die zur Herstellung der Gebäudematerialien, bei der Errichtung des Gebäudes und am Ende der Nutzungsphase zur Entsorgung oder Aufbereitung der Materialien entstehen. Zur Betrachtung dieser Emissionen hat sich die Methodik der Ökobilanzierung entwickelt. Sie ist nach DIN EN 14040 und 14044 genormt und definiert die Schritte zu einer ganzheitlichen Bilanzierung der Umweltwirkung von Produkten und Prozessen. Die Methodik wird auch in verschiedenen Zertifizierungen für nachhaltiges Bauen angewendet. Sie bietet die Grundlage für die Berechnungen und Empfehlungen in diesem Gutachten.

Zudem ist das Bauwesen für einen großen Ressourceneinsatz verantwortlich. 60 % des Abfallaufkommens sind Bauabfälle, insbesondere Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfällen². Eine umfassende, hochwertige Kreislaufführung wird dabei jedoch nicht praktiziert. Daher ist eine Optimierung der Stoffströme dringend erforderlich.

In Kapitel 2 werden die Grundlagen und Begriffserklärungen für Graue Emissionen und Materialkreisläufe erläutert. Anschließend wird die Thematik der Grauen Energien im Fall Sanierung gegen Abriss und Neubau an einem Beispielprojekt veranschaulicht. Kapitel 4 beschäftigt sich mit der Entwicklung und Empfehlung von Fördermöglichkeiten. Im letzten Kapitel wird das empfohlene Konzept mit einem Förderwerkzeug ergänzt und validiert.

¹ *United Nations Environment Programme* (2021). 2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi

² *Stoffstrommanagement im Bauwesen*. (2016, 10. Februar). Umweltbundesamt. Abgerufen am 14. April 2022, von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining/stoffstrommanagement-im-bauwesen#verwertung-von-baurestmassen>

2 Grundlagen und Begriffserklärungen

2.1 Graue Energie und Ökobilanzierung

[Verfasser: CAALA]

Unter „Graue Energie“ versteht man die durch die Herstellung und am Lebensende durch die Entsorgung erfolgenden Energie-Aufwendungen eines Produktes. Die daraus resultierenden Emissionen werden „Graue Emissionen“ genannt. Diese werden in der Regel durch eine Ökobilanzierung bestimmt. Besonderer Fokus bei den nachfolgenden Überlegungen und Ausführungen liegt auf den wesentlichen Grundsätzen der Ökobilanzierung nach DIN EN 14040, S.14f, auf die in der folgenden Ausführung immer wieder Bezug genommen wird:

1. Lebenswegbetrachtung
2. Umweltbezogene Ausrichtung
3. Relativer Ansatz und funktionelle Einheit
4. Iterativer Ansatz
5. Transparenz
6. Ganzheitlichkeit
7. Priorität des wissenschaftlichen Ansatzes

Im Folgenden werden die für dieses Gutachten relevanten Aspekte der Ökobilanzierung, bezogen auf die Graue Energie, erläutert.

Normative Grundlage

In der Normenreihe DIN EN 14040 und 14044 ist die Methodik der angewandten Ökobilanzierung definiert. Für Bauprodukte gelten die Grundregeln gemäß DIN EN 15804 und im Kontext von Gebäuden den Berechnungsregeln gemäß DIN EN 15978.

Der Untersuchungsrahmen der Studie orientiert sich an der Methodik gemäß Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. (DGNB) und an den Bilanzierungsregeln des Qualitätssiegel Nachhaltiges Bauen (QNG). Die QNG-Methodik wird voraussichtlich als Bestandteil der zukünftigen nationalen Förderung auch im Zusammenhang mit dem KfW Anwendung finden³.

ÖKOBAUDAT (bzw. Datengrundlage)

Als **Datengrundlage** für sämtliche Berechnungen wird die ÖKOBAUDAT verwendet. Sie wird vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) zur Verfügung gestellt und durch das BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Referat II 6 Bauen und Umwelt) aufbereitet.

Sie unterscheidet zwischen spezifischen, durchschnittliche, repräsentativen und generische Datensätzen. Eine Verwendung der Datensätze erfolgt anhand der nachfolgenden Priorisierung:

³ *Bund setzt energetische Neubauförderung Mitte April fort.* (2022, 2. April). Zeit Online. Abgerufen am 10. April 2022, von <https://www.zeit.de/wirtschaft/2022-04/neubau-eh40-foerderung-kfw-bank>

- Spezifische Datensätze werden vorrangig verwendet. Voraussetzung ist, dass ein Einbau des spezifischen Bauprodukts oder Bauteils bzw. der Anlage in das zu bewertende Gebäude tatsächlich erfolgt.
- Soweit spezifische Datensätze nicht zur Verfügung stehen sollen durchschnittliche, verbandsspezifische Datensätze verwendet werden. Voraussetzung ist, dass ein Einbau des spezifischen Bauprodukts oder Bauteils bzw. der Anlage in das zu bewertende Gebäude tatsächlich erfolgt.
- Soweit weder spezifische noch durchschnittliche Datensätze nicht zur Verfügung stehen, sollen repräsentative Datensätze verwendet werden.
- Für Bauprodukte, Bauteile, Anlagen und Prozesse, die nicht durch oben genannte Datensätze abgebildet werden können, sind generische Datensätze zu verwenden.

Dies entspricht den Anforderungen nach QNG.

Die Anzahl der **Austauschmaßnahmen** (B4) je Bauwerksteil, Bauteil oder Anlage wird der Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)“ mit Stand 24.02.2017 entnommen.

Umweltindikatoren

Um verschiedene Auswirkungen auf die Umwelt zu bemessen, existieren eine Vielzahl an Indikatoren. Die Datenbank ÖKOBAUDAT führt je nach Datensatz über 20 Indikatoren auf. Diese reichen von „Einsatz von Süßwasserressourcen“ über „Globales Erwärmungspotenzial“ bis zu „Entsorgter radioaktiver Abfall“. Es enthält jedoch nicht jeder Datensatz alle Indikatoren. Zudem sind einige Indikatoren in ihrer Interpretierbarkeit insbesondere im Vergleich zu anderen Indikatoren nicht ausreichend definiert. So stellt sich häufig die Frage, welcher Indikator als schwerwiegender zu betrachten ist und welcher Schwellenwert für z.B. das Abbaupotential der stratosphärischen Ozonschicht (ODP) akzeptabel ist. Daher ist eine Reduktion der Indikatoren sinnvoll. In Tabelle 1 und Tabelle 2 findet sich eine Auswahl der Indikatoren der DIN EN 15804 und 15978-1.

Tabelle 1: Wirkungskategorien der ÖKOBAUDAT und deren Einordnung

Wirkungskategorie	Indikator	Einheit
Klimawandel – gesamt	Treibhauspotential, insgesamt (GWP-gesamt) <ul style="list-style-type: none"> • Klimawandel – fossil • Klimawandel – biogen • Klimawandel – Landnutzung und Landnutzungsänderung 	kg CO ₂ -Äq.
Ozonabbau	Potenzial des Abbaus der stratosphärischen Ozonschicht (ODP, en: ozone depletion potential)	kg CFC-11-
Versauerung	Versauerungspotenzial, (AP, en: acidification potential), kumulierte Überschreitung	mol H ⁺ -Äq.
Eutrophierung	Eutrophierungspotenzial (EP), Anteil der Nährstoffe, <ul style="list-style-type: none"> • Süßwasser (EP-Süßwasser) • Salzwasser (EP-Salzwasser) • Land (EP-Land) 	kg PO ₄ -Äq.

Photochemische Ozonbildung	Potenzial für die Bildung von troposphärischem Ozon (POCP)	kg NMVOC-Äq.
Verknappung von abiotischen Ressourcen – Mineralien und Metalle	Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen für nicht fossile Ressourcen (ADP-Mineralien und Metalle)	kg Sb-Äq.
Feinstaubemissionen	potenzielles Auftreten von Krankheiten aufgrund von Feinstaubemissionen (PM)	Auftreten von Krankheiten
ionisierende Strahlung, menschliche Gesundheit	potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235	kBq U235-Äq.
Ökotoxizität (Süßwasser)	potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme	CTUe
Humantoxizität, kanzerogene Wirkungen	potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen	CTUh (en: comparative toxic unit for humans)
Humantoxizität, nicht kanzerogene Wirkungen	potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen	CTUh
Mit der Landnutzung verbundene Wirkungen/Bodenqualität	potenzieller Bodenqualitätsindex	dimensionslos
<i>Bisher keine ausreichende Datengrundlage</i>		

Tabelle 2: Weitere Indikatoren der ÖKOBAUDAT und deren Einordnung

Abkürzung	Indikator	Einheit
PERM	Einsatz erneuerbarer Primärenergie ohne die erneuerbaren Primärenergieträger, die als Rohstoffe verwendet werden	MJ, unterer Heizwert
PERE	Einsatz der als Rohstoff verwendeten, erneuerbaren Primärenergieträger	MJ, unterer Heizwert
PERT	Gesamteinsatz erneuerbarer Primärenergie (Primärenergie und die als Rohstoff verwendeten erneuerbaren Primärenergieträger)	MJ, unterer Heizwert
PENRM	Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie ohne die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger	MJ, unterer Heizwert
PENRE	Einsatz der als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger	MJ, unterer Heizwert
PENRT	Gesamteinsatz nicht erneuerbarer Primärenergie (Primärenergie und die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger)	MJ, unterer Heizwert
SM	Einsatz von Sekundärmaterialien	kg
RSF	Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen	MJ, unterer Heizwert
NRSF	Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen	MJ, unterer Heizwert
FW	Nettoeinsatz von Süßwasser	m ³
HWD	Deponierter gefährlicher Abfall	kg
NHWD	Deponierter ungefährlicher Abfall	kg
RWD	Deponierter radioaktiver Abfall	kg
CRU	Komponenten für die Wiederverwendung	kg
MFR	Materialien für das Recycling	kg

MER	Materialien für die Energierückgewinnung (keine Abfallverbrennung)	kg
EE	Abgeführte Energie	MJ je Energieträger
<i>Bisher keine ausreichende Datengrundlage</i>		

Im Vordergrund dieser Studie steht das Thema des Klimawandels und der Ressourcenknappheit. Als Indikator für die Klimaerwärmung wird das Globale Erwärmungspotenzial (GWP in kg CO₂-Äquivalente (oft geschrieben als CO₂-e oder CO₂-Äq)) herangezogen. Hierbei wird die Menge der Treibhausgase, welche zur Verstärkung des Treibhauseffekts beitragen, bezogen auf CO₂-Äquivalente und über einen Zeitraum von 100 Jahren abgebildet. Dieser Indikator steht in Korrelation mit der globalen Erwärmung.

Des Weiteren kann ebenfalls der Indikator „Total nicht erneuerbare Primärenergie“ (PENRT in kWh) verwendet werden. Er steht als Indikator für die Verwendung von nicht erneuerbaren Energieressourcen und weist damit ebenfalls einen Bezug zu den Treibhausgasemissionen auf. Allerdings besteht in erster Linie ein Emissionsproblem (Klimawandel), welches auch am Ursprung (GWP – Treibhausgase und deren Wirkung) gemessen werden sollte und erst in zweiter Instanz ein Energieproblem (Primärenergie), wie wir die notwendige Energie möglichst emissionsarm bereitstellen können. Im Rahmen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) wird die Primärenergie auf politische Art und Weise und abweichend von der wissenschaftlichen Grundlage berechnet. Dabei handelt es sich um eine „politische Berechnungsgröße“, die in der Regel für Laien und Fachleute nicht nachvollziehbar ist.⁴ Sie ist weder mit dem sonstigen Begriffsgebrauch (z.B. den Statistiken der AG-Energiebilanzen), noch mit international vergleichbaren Kennwerten kompatibel. Daher wird sie im Rahmen dieses Gutachtens nicht verwendet.

Das Thema der Ressourcenknappheit aller Ressourcen (und nicht lediglich der Energieressourcen) wird in Abschnitt 2.2 im Kontext der Wiederverwendung betrachtet.

Weitere Umweltwirkungsindikatoren, Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes und sonstige Umweltinformationen werden im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet. Grund hierfür ist die unzureichende Datenlage für belastbare Aussagen (und die zunehmende Komplexität bei einer Berücksichtigung von zu vielen Indikatoren). So sind diese Indikatoren bisher kaum verbreitet. Beispielsweise enthalten in der ÖKOBAUDAT Version 2016 nur 8 von 1006 Datensätzen einen Wert für „Stoffe zum Recycling“ (MFR). Bei einer Berücksichtigung des Parameters würden daher Produkte/Prozesse, für die diese Werte nicht existieren und daher mit Null angegeben werden, besser dastehen als Produkte/Prozesse, die diese Werte zur Verfügung stellen.

Betrachtungszeitraum

Bei ganzheitlicher Betrachtung des Lebenszyklus spielt der Betrachtungszeitraum eine große Rolle. Im Baubereich wird von einer typischen Lebensdauer eines Gebäudes von 50 Jahren ausgegangen.

⁴ Mahler B., Idler, S., Gantner J. (2019). *Mögliche Optionen für eine Berücksichtigung von grauer Energie im Ordnungsrecht oder im Bereich der Förderung*. Kurztitel: Graue Energie im Ordnungsrecht/Förderung. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Ed.)

Aus Perspektive der Nachhaltigkeit ist es erstrebenswert, Gebäude auch darüber hinaus und insbesondere so lange wie möglich zu nutzen. Die tatsächliche Lebensdauer ist aber zum Planungszeitpunkt eines Gebäudes nicht eindeutig bestimmbar. Um „falschen Versprechungen“ vorzubeugen, wird im Rahmen dieses Gutachtens projektunabhängig die Lebensdauer von 50 Jahren angesetzt.

Lebenswegmodule

Im Rahmen einer Ökobilanz wird der gesamte Lebenszyklus eines Produktes oder Prozesses betrachtet. Für Produkte handelt es sich dabei in der Regel um die Herstellung/Verarbeitung der Rohmaterialien, die Produktion, den Transport, die Nutzung und anschließende Entsorgung.

Diese Phasen werden gemäß der DIN EN 15978 in die in Abbildung 1 dargestellten Lebenswegmodule/-phasen unterteilt. Dabei beschrieben die Lebenszyklusphasen A1-A3 die Herstellung, A4-A5 die Errichtung, B die Nutzung sowie mit C1-C4 die Entsorgung. Eine Betrachtung der Herstellung mit ausgewählten Lebenszyklusphasen der Errichtung, Nutzung oder Entsorgung wird bezeichnet als „von der Wiege bis zum Werkstor (cradle to gate) mit Optionen“.

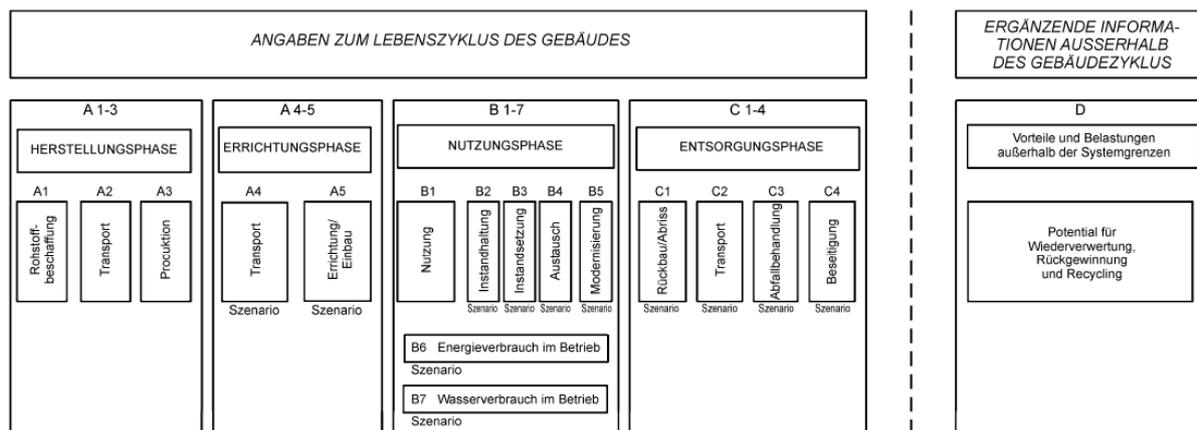


Abbildung 1: Lebenszyklusphasen der Ökobilanz (Bildnachweis: DIN EN 15978)

Das ergänzende Modul D beschreibt potenzielle Vor- und Nachteile außerhalb des Lebenszyklus, weshalb es separat ausgewiesen werden sollte und auch nur so die Ergebnisse adäquat interpretiert werden können. Eine tiefgehende Diskussion zu Modul D findet sich im weiteren Verlauf dieses Kapitels.

Im Rahmen dieses Gutachtens werden folgende Module betrachtet:

1. Herstellungsphase (A1-A3),
2. Austausch während der Nutzung (B4),
3. Energieverbrauch im Betrieb (B6),
4. Abfallbehandlung und Entsorgung (C3, C4)

Diese Auswahl basiert auf den Vorgaben des QNG und entspricht dem aktuellen Stand der Technik und ist dem geschuldet, dass die Errichtungsphase (A4-A5) und die ersten Schritte der Entsorgungsphase (C1-C2) stark von dem gegebenen Projekt abhängen. Allgemeine, belastbare

Daten hierzu sind nicht ausreichend verfügbar. Ebenso fehlt eine konsistente Datengrundlage für die Module B1-B3, B5 und B7.

Auch wenn im Rahmen dieses Gutachtens die Grauen Emissionen im Vordergrund stehen, so sind diese nicht losgelöst von den Emissionen im Betrieb zu betrachten. Grund hierfür ist, dass die Wahl und der Aufbau der Konstruktion maßgeblich den Energieverbrauch in der Nutzung bestimmen.

Als *Graue Emissionen* werden die Emissionen folgender Lebenswegmodule zusammengefasst: A1-A3, B4, C3-C4. *Betriebsemissionen* werden im Modul B6 verortet.

Bilanz-/Systemgrenzen

Die Ökobilanzierung bezieht sich auf ein vordefiniertes **Produktsystem**. Die Lebenszyklusmodule beschreiben die Systemgrenzen hinsichtlich der notwendigen Prozesse. Das physische Gebäudemodell ermöglicht die Quantifizierung der Massen und der Umweltwirkungen. Das Produktsystem Gebäude umfasst dabei sowohl die Baukonstruktion als auch die technischen Anlagen. Für die Berechnung der einzelnen Bestandteile wird auf die Kostenstruktur der DIN 276 (2018) zurückgegriffen. Im Falle von Baukonstruktionen (KG 300) ergibt sich die Bilanzgröße aus den Teilkostengruppen:

- KG 320 Gründung
- KG 330 Außenwänden (inkl. Türen und Fenster)
- KG 340 Innenwänden (inkl. Türen und Stützen)
- KG 350 Decken
- KG 360 Dächer

Systemgrenze bei der Erfassung des zu bilanzierenden Gebäudes ist der komplette Baukörper einschließlich des Kellers / der Tiefgarage. Für die technischen Anlagen (KG 400) werden folgende Bestandteile in die Berechnung einbezogen:

- KG 410 Abwasser- und Wasseranlagen
- KG 420 Wärmeversorgungsanlagen
- KG 430 Raumluftechnische Anlagen
- KG 440 Elektrische Anlagen
- KG 450 Kommunikations-, Sicherheits- und Informationstechnik
- KG 460 Förderanlagen

Hinsichtlich der **Abbildungstiefe** gilt, dass alle Baumaterialien mit einem Anteil größer 1 % an der gesamten Masse des Gebäudes oder größer 1 % des Primärenergieaufwands, nicht erneuerbar des entsprechenden Materials oder größer 1 % der Bilanzgröße GWP_{100} berücksichtigt werden. Außerdem darf die Summe der vernachlässigten Baumaterialien 5 % der Masse des Gebäudes, des Primärenergieaufwands, nicht erneuerbar bzw. der Bilanzgröße GWP_{100} nicht übersteigen. Vor-Ort bzw. werksseitig verarbeitete Kleinstteile (bspw. Nägel, Dübel, Schrauben) und produktspezifische Kleinstmengen (≤ 1 kg) werden vernachlässigt.

Als **Bezugsfläche** dient die (beheizte) Netto-Raumfläche (NRF) nach DIN 277 (2016). Das bedeutet, dass alle Ergebnisse auf die Bezugsfläche bezogen werden (z.B. $\text{kg CO}_2\text{-e/m}^2_{\text{NRF}}$). Insbesondere für

eine Betrachtung der Grauen Energie ist eine derartige Darstellung hilfreich, da eine Variation des Betrachtungszeitraums die Ergebniswerte nicht beeinflusst. Ergänzend hierzu werden die Ergebnisse pro Bezugsfläche und pro Jahr (s. Betrachtungszeitraum) bezogen, um einen Vergleich zwischen Grauer Energie und der Betriebsphase zu ermöglichen (z.B. $\text{kg CO}_2\text{-e}/(\text{m}^2_{\text{NRF}} \cdot \text{a})$). Der Bezug auf die NRF wird auch im QNG vorgeschrieben.

Klimaneutralität

Bezogen auf den Aspekt der Klimaneutralität muss zwischen folgenden Definitionen unterschieden werden:

Klimaneutrale Gebäude werden als solche bezeichnet, wenn über den gesamten Lebenszyklus eine ausgeglichene CO_2 -Bilanz erreicht wird. Dies bedeutet, dass über die gesamte (voraussichtliche) Nutzungsdauer mindestens genau so viel erneuerbare (bzw. treibhausgasfreie) Energie produziert, bzw. damit verbundene Treibhausgasemissionen eingespart werden können, wie bei der Erstellung des Gebäudes und im Betrieb benötigt werden. (Quellen: Definition gemäß dem Rahmenwerk für klimaneutrale Gebäude der DGNB)

Ein klimaneutraler Betrieb zeichnet sich dagegen dadurch aus, dass auf ein Betriebsjahr gerechnet eine ausgeglichene CO_2 -Bilanz vorliegt. (Quellen: Definition gemäß dem Rahmenwerk für klimaneutrale Gebäude der DGNB)

Im Rahmen dieses Gutachtens wird ein klimaneutraler Gebäudebestand als eine Menge von Gebäuden beschrieben, die in Summe einen klimaneutralen Gebäudebetrieb aufweisen. Auf die Gebäude heruntergebrochen kann dies bedeuten, dass jedes Gebäude einen klimaneutralen Betrieb aufweist.

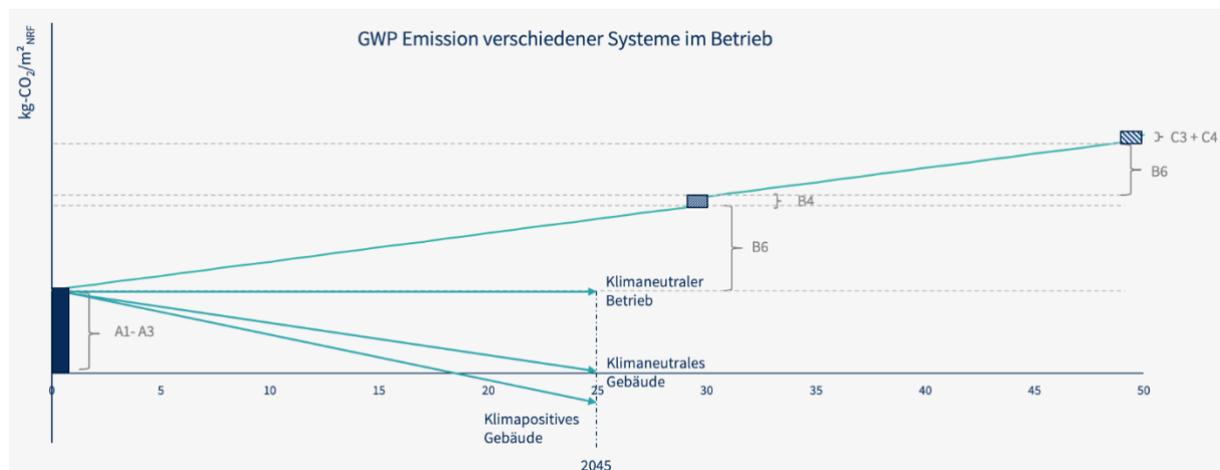


Abbildung 2: GWP Emissionen entlang des Lebenszyklus

Eine Beschreibung des klimaneutralen Betriebs erfolgt insbesondere über die Kenngröße GWP. Dafür müssen die Emissionen im Betrieb (wie in Abbildung 2 dargestellt) in Summe bei $0 \text{ kg CO}_2\text{-e}/\text{m}^2_{\text{NRF}}$ liegen. In der Regel kann dies erreicht werden, wenn der Endenergiebedarf des Gebäudes vollständig durch lokal produzierten PV-Strom gedeckt werden kann. Je niedriger dabei der Endenergiebedarf, desto wahrscheinlicher ist das Erreichen der Gebäudeneutralität. Das Vorschreiben eines

Energieeffizienz-Standards ist allerdings kein Garant für den klimaneutralen Gebäudebestand, da er zwar Teilaspekte berücksichtigt (z.B. H'_T – thermische Qualität der Gebäudehülle) aber mit der politischen Bezugsgröße Primärenergie und Berücksichtigung der lokalen Energieproduktion die Emissionen im Lebenszyklus nicht ausreichend berücksichtigen kann.

CRREM – Carbon Risk Real Estate Monitor

Das gleichnamige Forschungsprojekt CRREM⁵ hat eine Systematik entwickelt, die es erlaubt das globale Emissionsbudget für das 1,5°C- und 2,0°C-Ziel auf Gebäudelevel zu übersetzen. Dabei werden die globalen Budgets entsprechend wissenschaftlichen Ansätzen, auf Länder und Assetklassen übersetzt und entlang eines Betrachtungsrahmens bis 2050 durch Assetklassen-spezifische Zielpfade beschrieben. Auf dieser Grundlage können die jährlichen Betriebsemissionen einer Immobilie (Graue Emissionen werden nicht berücksichtigt) ermittelt werden und dem Zielpfad gegenübergestellt werden. Der Zeitpunkt, an dem der Dekarbonisierungspfad der Immobilie den Zielpfad überschreitet, wird als Stranding Point bezeichnet und beschreibt das Risiko, dass die Immobilie sich dem wissenschaftlich kalkulierten Zielpfad entfernt. Mit entsprechenden Maßnahmen zur Emissionsreduktion kann der Dekarbonisierungspfad wieder unter den Zielpfad gebracht werden.

Berücksichtigung der Altbausubstanz

Für bestehende Gebäude wurden in der Vergangenheit verschiedene Ressourcen wie Zeit, Geld, Arbeit, Energie, Materialien und Treibhausgasemissionen eingesetzt. Dieses Potenzial lässt sich nur beschränkt durch die genannten Indikatoren der Ökobilanzierung darstellen. Die eingesetzte Energie und damit verbundenen Treibhausgasemissionen lassen sich zwar (wenn auch nur als Abschätzung, da für den Bauzeitpunkt in der Regel keine Daten vorliegen) durch eine Ökobilanz berechnen, dies vernachlässigt aber die darüber hinaus entstandene Wertschöpfung. Generell gilt, dass die Grauen Emissionen sowohl bei Sanierung als auch bei einem Abriss und Neubau berücksichtigt werden müssen. Allerdings spielt hier die Systemgrenze eine wesentliche Rolle.

Die absoluten Grauen Emissionen eines Gebäudes unterscheiden sich lediglich hinsichtlich des Zeitpunktes, wann diese anfallen und des damit verbundene Betrachtungszeitraumes. Bei einem Vergleich von Abriss und Neubau gegen Sanierung starten beide mit denselben in der Vergangenheit liegenden Belastungen. Jedoch entsteht beim Abriss und anschließendem Neubau eines Gebäudes ein neues Produktsystem. Die Module C3-C4 des Abrisses müssen dabei dem alten Produktsystems (des Bestandsgebäudes) zugeordnet werden. Bei einer Sanierung wird dagegen nur ein Teil der Materialien entsorgt und durch neue ersetzt. Dadurch ist dies Bestandteil des ursprünglichen Produktsystems. Wird mit Abriss der Lebenszyklus des einen Gebäudes beendet, wird mit Sanierung der Lebenszyklus des bestehenden Gebäudes verlängert und der Abriss damit in die Zukunft verschoben. Der beste Indikator ist damit durch die Grauen Emissionen ausgedrückt pro m² (um die Gebäudegröße zu relativieren) und pro Bezugsjahr, da je länger die Nutzung, desto geringer die Belastung.

⁵ Hirsch; Lafuente; Recourt, et al (2019): Stranding Risk & Carbon. Science-based decarbonising of the EU commercial real estate sector. CRREM report No.1, 2019, Wörgl, Austria.

Bewertung Wiederverwendung, Rückgewinnung-, Recyclingpotential in Ökobilanzen bzw. Bewertungssystemen

Zur Bewertung von Potenzialen außerhalb des Lebenszyklus wie das Recyclingpotential wird in der Ökobilanz das Modul D verwendet. Dieses liefert laut Norm „[...] die Vorteile, die sich insgesamt in Bezug auf exportierte Energie und Sekundärmaterialien, Sekundärbrennstoffe oder Sekundärprodukte aus Wiederverwendung, Recycling und Energierückgewinnung jenseits der Systemgrenze [...]“ in Zukunft ergeben könnten (DIN EN 15978:2012, S. 21).

Zunächst werden nach DIN EN 15978:2012 alle Baustoffe und Materialien, die das Gebäude verlassen, als Abfall betrachtet. Ausnahmen bilden Stoffe, auf die eines der folgenden Kriterien zutrifft:

- Das Produkt besitzt einen Marktwert, das heißt es besteht eine Nachfrage (Beispiel: alte Möbelstücke oder Bodenbeläge, welche als „Vintage“-Produkte verkauft werden)
- Das Material ist gleichwertig mit einem neuwertigen Produkt und erfüllt die gleichen technischen Anforderungen und Regelungen
- Produkt oder Material kann weiter genutzt werden, zum Beispiel können Holzabfälle als Sekundärprodukt in der Holzwerkstoffherstellung genutzt werden
- Die Nutzung des Produktes resultieren nicht in allgemeinen negativen Umweltauswirkungen oder schädlichen Auswirkungen auf den Menschen

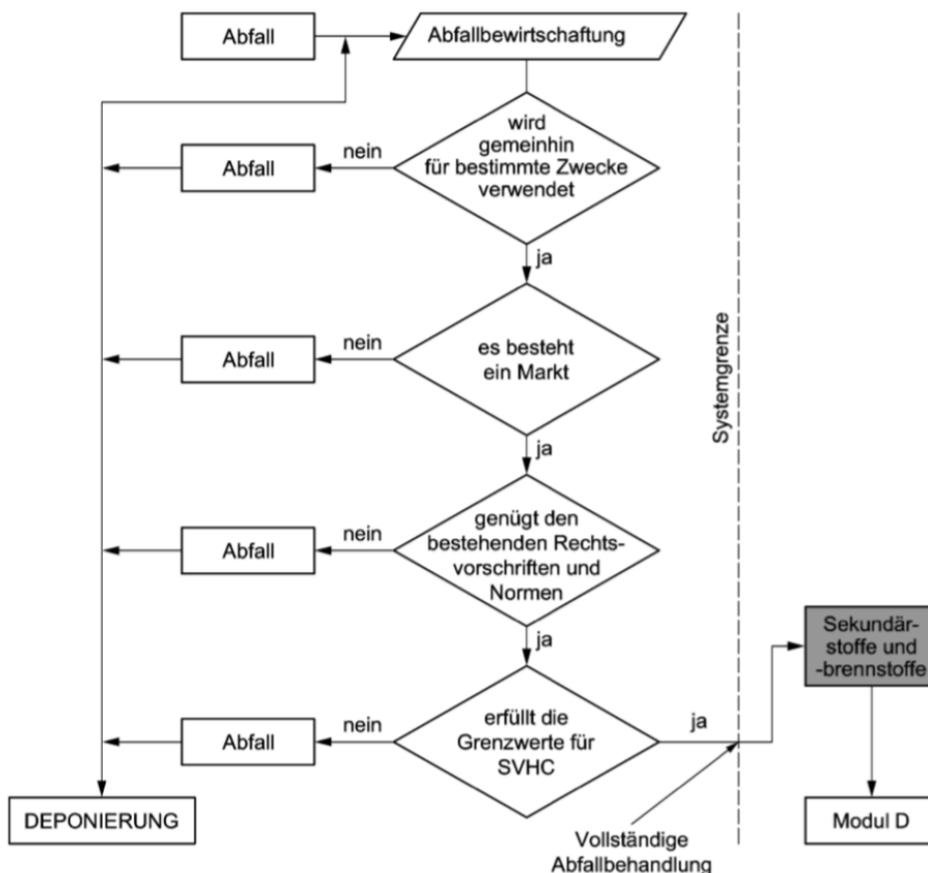


Abbildung 3: Entscheidungsbaum für die vollständige Abfallbehandlung (Bildnachweis: DIN EN 15978)

Sekundärprodukte sind dabei Stoffe oder Materialien, welche aus einer vorangehenden Nutzung gewonnen werden und einen Primärstoff ersetzen können. (DIN EN 15643-1:2010, S. 16)

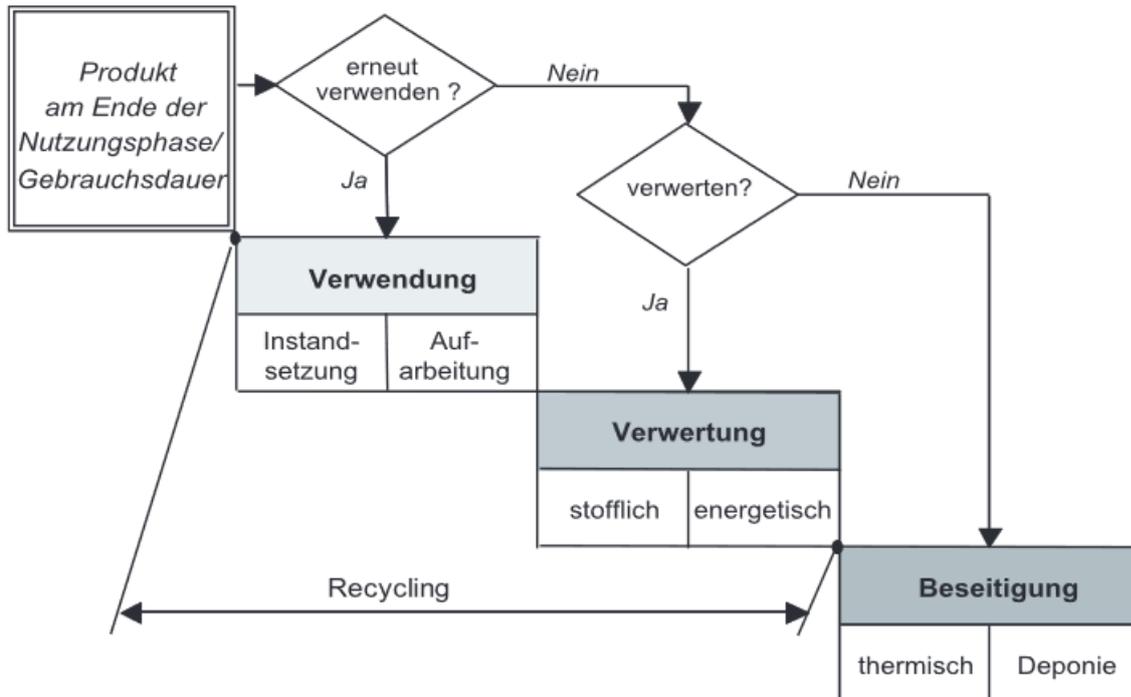


Abbildung 4: Recycling (Bildnachweis: VDI 2243)

Modul D ist Ursache für viele Diskussionen in Expertenkreisen. Während manche Bewertungssysteme wie die DGNB Modul D in ihre Lebenszyklusberechnungen integriert, gibt es die Norm deutlich als zusätzliches Informationsmodul an, welches explizit nicht zum Lebenszyklus gerechnet werden soll. Zu erwarten ist, dass dieser Status in der neuen Fassung der DIN EN 15978 gefestigt wird und klare Regelungen zu der Berechnung gegeben werden (DIN EN 15978-1:2021-09 *Entwurf*).

Eine Problematik ist dabei die Doppelzählung der Vorteile. Bei der Produktherstellung (A1-3) wird bereits die Verwendung von Sekundärstoffen berücksichtigt und anschließend in Modul D ein weiteres Mal deklariert.

Betrachtet man als Beispiel einen Träger aus Holz: Im Datensatz für Holz wird im Modul D als Szenario angenommen, dass dieses verbrannt wird und damit andere Energieträger substituiert bzw. ersetzen kann. Es entsteht somit eine negatives CO₂-Äq. in der Höhe des nicht verbrannten substituierten Brennstoffes. Wird Modul D und damit dieser negative Wert in die Lebenszyklusberechnung inkludiert, würde man sich diesen Vorteil am Gebäude anrechnen lassen. Das Verbrennen stellt allerdings nur ein mögliches zukünftiges Szenario dar, welches so nicht auftreten muss. Auch würde sich der Vorteil, der durch eine spätere fossile Brennstoffsubstitution ergeben würde, in der nationalen Energiebilanz widerspiegeln und nicht im lokalen Gebäude des Holzträgers.

Der Charakter der Szenarien ist dabei explizit hypothetisch, da eine zukünftige Verwertung lediglich nach heutigen Maßstäben abgeschätzt werden kann. Man geht daher davon aus, dass zukünftige

Verwertung und Verarbeitung nach heutigem Stand der Technik erfolgt. Daraus ergeben sich die deklarierten potenziellen Gutschriften und Belastungen.

Zukünftige Techniken oder Recyclingpotentiale können hier nicht abgebildet werden. Unberücksichtigt bleiben auch Fragen nach sortenreiner Trennbarkeit und unterschiedlichen Verwertungsoptionen, welche je nach Anwendung, ganz unterschiedliche Auswirkungen haben können.

① Zusammenfassung Kapitel 2.1

Definition Graue Energie:

Energieaufwendungen (Primärenergie) eines Produktes bei der Herstellung, dem Austausch und der Entsorgung am Lebensende.

Definition Graue Emissionen:

Emissionsaufwendungen eines Produktes bei der Herstellung, dem Austausch und der Entsorgung am Lebensende

Definition Ökobilanz:

Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltauswirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges.

Definition Substitutionspotential:

Höhe der Emissionen, die durch die Differenz bei dem Ersetzen eines alternativen Prozesses/Produktes durch das analysierte System entstehen, und entsprechend „gutgeschrieben“ werden.

Ist GWP eine geeignete Kenngrößen zur Definition des klimaneutralen Gebäudebestands?

Der klimaneutrale Gebäudebestand definiert sich durch die Treibhausgasemissionen. Daher ist das GWP ein geeigneter Indikator.

2.2 Materialkreisläufe

[Verfasser: Concular]

9R

Circular Economy geht im Gegensatz zum deutschen Begriff der “Kreislaufwirtschaft” über das reine Recycling von Material hinaus. Grundlegend ist dabei das 9R Prinzip, das in erster Linie die Vermeidung von Abfall als Strategie ansetzt (z.B. Umnutzung von Bestand) und dann mehrere Wege der hochwertigen Wiederverwendung kennt. Erst dann folgt Recycling und Verwertung z.B. zur Energiegewinnung.

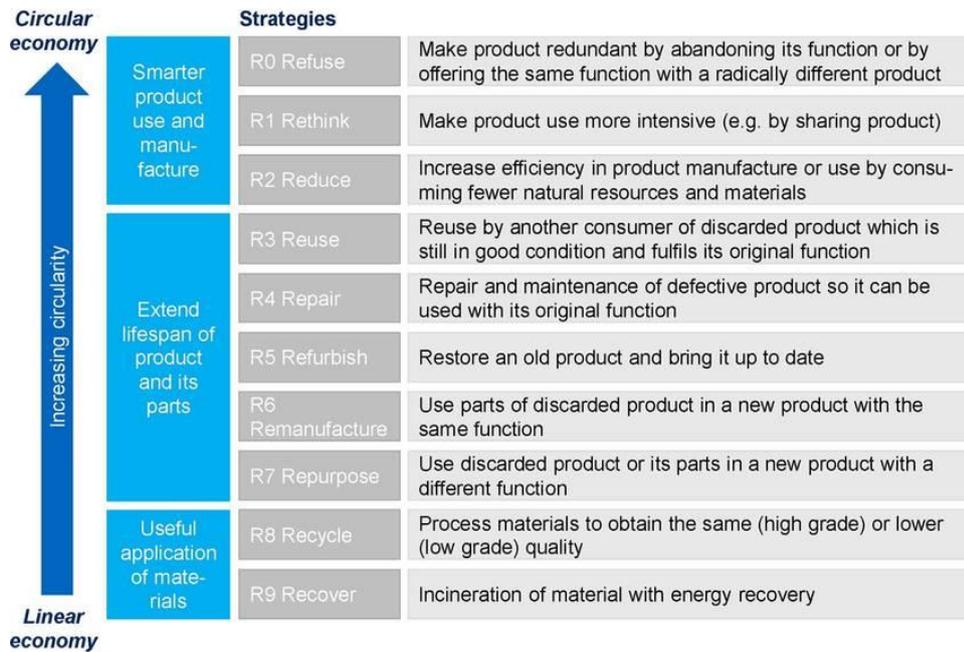


Abbildung 5: The 9R Framework. Source: Adapted from Potting et al. (2017, p.5)

Grundsätzlich kann man sagen, je geringer der Zerstörungsgrad von Gebäude, Bauteil oder Material also je höher in der R-Hierarchie, desto höher die Reduktion von Emissionen und Ressourcenverbrauch. Daher ist es von großem Vorteil effiziente Prozesse für direkte Wiederverwendung und Aufbereitung bestehender Produkte oder Komponenten zu etablieren und Recycling erst dann in den Blick zu nehmen, wenn insbesondere Bauteile sich nicht mehr für eine funktional-hochwertige Weiternutzung eignen.

Design for disassembly (DfD)

Das Kreislaufpotenzial eines Bauwerks wird auf verschiedenen Ebenen bewertet:

1. Gebäude
2. Bauteil
3. Bauelement
4. Bauteilschicht
5. Material
6. Rohstoff

Grundlegend für die hochwertige Weiternutzung von Materialien ist das Prinzip "Design for disassembly". DfD lässt sich sowohl auf Gebäudeebene als auch auf Materialebene betrachten, begrifflich eingeordnet in:

- **Das zirkuläre Bauen**, der reversible Einbau von Material, um einen werterhaltenden Rückbau / Demontage von Materialien zu gewährleisten. Je nach Gebäudeschicht müssen reversible Verbindungen bereits früh im Planungsprozess berücksichtigt werden (z.B. bei Holzbau-Systemen), spätestens aber detailliert in der Werks- und Montageplanung / Bauausführung. Beispiel: Geschraubte oder gesteckte Verbindungen gegenüber Klebeverbindungen

- **Das zirkuläre Bauteil**, die sortenreine Trennbarkeit von Materialien innerhalb eines Bauteils, um die einzelnen Fraktionen wieder einem Recyclingprozess zuführen zu können. Hier geht es vor allem um das Produktdesign, d.h. die Verbindung von Materialien innerhalb eines funktionalen Elements. Beispiel: Ein Fenster, das sich relativ leicht in seine Materialfraktionen Glas, Metall, Holz, Plastik u.a. zerlegen lässt.

Das zirkuläre Bauen und das zirkuläre Bauteil sind gleichermaßen wichtig und vor allem in Kombination effektiv. Wird ein zirkuläres Bauteil oder Material nicht zirkulär verbaut, kann es passieren, dass der zirkuläre Ansatz teilweise bis ganz verloren geht.

Cradle-to-Cradle (C2C)

C2C ist zu unterscheiden in das Cradle-to-Cradle-Prinzip und C2C als Marke. Cradle-to-Cradle-Prinzip ist gleichzusetzen mit der Circular Economy Definition – mit dem Zusatz der Materialgesundheit. C2C als Marke der EPEA - A Drees & Sommer Company zertifiziert Produkte (u.a. Bauprodukte) nach Kreislauffähigkeit und Gesundheit.

Urban Mining

Angesichts steigender Rohstoffkosten und in manchen Bereichen (teils künstlich geschaffenen) Rohstoffknappheiten gewinnt die Wiedergewinnung von Rohstoffen aus städtischem Müll unter dem Begriff „urban mining“ zunehmend an Bedeutung. Hieraus könnten sich Ansätze für weitere Cradle-to-Cradle-Geschäftsmodelle ergeben.

Aus Sicht des Umweltbundesamtes ist Urban Mining die integrale Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers mit dem Ziel, aus langlebigen Produkten, Gebäuden, Infrastrukturen und Ablagerungen Sekundärrohstoffe zu gewinnen. Als langlebig werden all jene Güter bezeichnet, die durchschnittlich ein Jahr oder länger im Nutzungsraum verbleiben und Lager relevanter Größe bilden. Auch wenn die wörtliche Übersetzung von Urban Mining „städtischer Bergbau“ lautet, geht es nicht allein um innerstädtische Lager, sondern vielmehr um alle genannten Güter. Dabei ist es unerheblich, ob die Güter noch aktiv genutzt und erst in absehbarer Zukunft freigesetzt werden, wie im Fall industrieller und kommunaler Bauwerke sowie Elektrogeräten in Haushalten, oder nicht mehr in Verwendung sind, wie etwa stillgelegte Bahntrassen, AbfalldPONien und Halden. Auch spielt es keine Rolle, ob die Güter ortsfest sind (z. B. Windkraftanlagen) oder mobil (z. B. Fahrzeuge). Sie alle sind Teil der Betrachtung.

Anthropogenes Materiallager nach Gütergruppen und Materialien in Deutschland [2010]

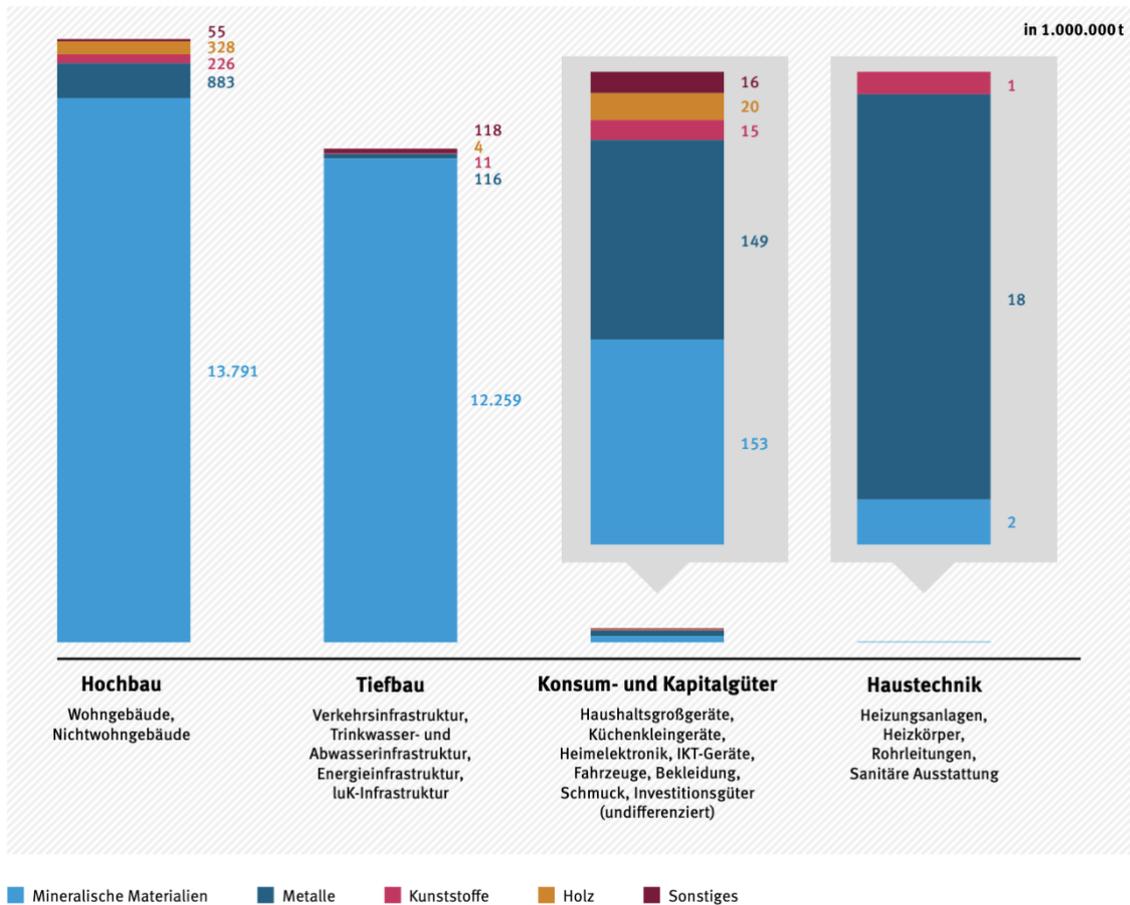


Abbildung 6: Anthropogenes Materiallager in Deutschland

Urbane Minen

Anthropogene Lagerstätten weisen im direkten Vergleich zu natürlichen Rohstofflagerstätten einige Vorteile auf, die deren systematische Bewirtschaftung für die Zukunft als sinnvolle Alternative zum Primärrohstoffabbau darlegen.

Anthropogene Lager enthalten enorme Mengen an wertvollen Stoffen, die inländisch nicht oder nicht mehr aus geologischen Reserven gewinnbar sind. Für viele Rohstoffe, wie beispielsweise Metallerze, übersteigen die im anthropogenen Lager gebundenen Mengen die geologischen Reserven Deutschlands um ein Vielfaches.

Der relative Anteil anthropogener Reserven an den globalen Reserven wird in Zukunft steigen. Zwar werden weiterhin neue geologische Vorkommen erschlossen, doch deren Qualität nimmt in der Tendenz ab, bei steigendem Aufwand zur Gewinnung. Mit jedem produzierten langlebigen Gut werden weitere natürliche Rohstoffe in die Anthroposphäre verlagert.

Anthropogene Lager haben einen hohen Wertstoffgehalt. Viele Metalle etwa liegen in Gütern wie Bauteilen oder Maschinen in Reinform oder hochlegiert vor - in ihren natürlichen Erzlagerstätten

hingegen oftmals nur in geringen Konzentrationen. So entspricht der Goldanteil eines durchschnittlichen Mobiltelefons dem von 16 kg Golderz.

Urbane Minen befinden sich oftmals genau dort, wo Rohstoffe benötigt werden. So liegen etwa Sekundärgesteinskörnungen aus dem Rückbau von Bauwerken meist im innerstädtischen Bereich, während im Vergleich dazu Primärkies aus Steinbrüchen stammt, die mitunter mehr als 30 bis 50 km entfernt sein können.

Materialpässe als zeitlose Informationsquelle

Ein vorausschauendes, geeignetes Instrument zum Urban Mining stellen Materialpässe dar.

Denn um zukünftig ein hochwertiges Recycling zu unterstützen, müssen die notwendigen Daten und Informationen zu Bauwerken vorliegen, bevor ein Umbau, Rückbau oder der Abriss ansteht. Ein Gebäudepass, der neben dem Energieausweis auch einen Materialpass enthält, kann hierfür für Einzelobjekte ein geeignetes Instrument sein. Erforderlich ist eine Bauwerksdokumentation, die über den Lebenszyklus eines Bauwerks dessen Materialinventar strukturiert erfasst. Ganz wesentlich sind dafür einerseits die eingesetzten Baustoffe, sowohl deren Mengen, deren Qualitäten als auch deren Verortung im Bauwerk. Unter der Maßgabe einer recyclinggerechten Konstruktion ist eine Dokumentation der Einbauweisen ebenso wichtig. Diese sollte idealerweise auch Techniken zum Trennen und selektiven Rückbau, beispielsweise bei verschraubten Wärmedämmverbundsystemen, sowie zu Recycling-Anforderungen nach Stand der Technik zum Zeitpunkt des Einbaus enthalten.

Bereits beim Planen und Bauen selbst wird mithin festgelegt, inwieweit die Materialien Jahrzehnte später wieder recycelt werden können. Doch schon darin liegt ein Problem, denn die klassische Bauplanung erlaubt keine vollständige Dokumentation der materiellen Information. Durch eine integrale Planung könnte die Information der einzelnen Ausführungseinheiten (Bauherr, Planer, Bauunternehmen etc.) zusammengeführt werden.

Recyclingeffizienz erhöhen – Downcycling verhindern

Der Erfolg der Kreislaufwirtschaft bemisst sich an der Fähigkeit, die Abflüsse aus einem Materialkreislauf in andere Materialkreisläufe zu reduzieren und das Ausscheiden von Materialien als Abfälle in letzte Senken oder teils dissipative Emissionen zu reduzieren. Als strategischer Ansatz des Stoffstrommanagements kann Urban Mining durch intelligente Logistik und Technik dazu beitragen, die Potenziale der Kreislaufwirtschaft zu nutzen. Eine Materialgruppe, für die zunächst keine größeren Herausforderungen im Urban Mining vermutet werden müssen, sind die Basismetalle wie Stahl, Kupfer und Aluminium. Da diese überwiegend in ihrer metallischen Form verwendet werden, sind sie theoretisch unbegrenzt und ohne Qualitätsverlust durch Schmelzprozesse rohstofflich recycelbar. Das unterscheidet sie maßgeblich von molekular genutzten Materialien wie Kunststoffen, Papier und holzbasierten Werkstoffen. Die meisten Kunststoffe altern durch den Einfluss von Licht und Chemikalien in der Gebrauchsphase. Sie sind empfindlich bei Verunreinigungen und Vermischungen im Recycling. Schon das Erhitzen beim Wiederaufschmelzen von thermoplastischen Kunststoffen kann ein Problem für ein werkstoffliches Recycling ohne Qualitätseinbußen darstellen. Pflanzenfasern wie in Papier und Textilien erfahren im Recycling eine Verkürzung der Faserlängen,

die zu Funktionalitätsverlusten führt. Mineralische und keramische Werkstoffe, aber auch Holz sind für ein Recycling auf gleichem Qualitätsniveau schwierig, da sie formgebunden und nicht umformbar sind. Sie werden daher mit der technischen Verwertung soweit verändert, dass sie in der Regel eine Kaskadennutzung durchlaufen. Damit einher geht ein Downcycling.

Ob der erzielte Nutzen die Höhe der Aufwendungen rechtfertigt, sollte sich in Zukunft viel stärker daran bemessen, wie hoch die Ressourceninanspruchnahmen und Umweltauswirkungen sind, die in der Primärrohstoffwirtschaft anfallen. Im Vergleich zu dem immensen Aufwand, der mit hochtechnisierten Verfahren betrieben wird, um Rohstoffe aus der natürlichen Umwelt zu entnehmen und zu veredeln, erscheinen die für Sekundärrohstoffe eingesetzten Prozesse noch nicht gänzlich ausgereizt. Unter diesem Gesichtspunkt ließe sich der Organisations- und Technisierungsgrad in der Kreislaufwirtschaft noch deutlich steigern.

Das Umweltbundesamt setzt sich für eine strategische und interdisziplinäre Ausrichtung des Urban Mining ein, das sowohl urbane Prospektionen, Explorationen, Erschließung und Ausbeutung anthropogener Lagerstätten sowie die Aufbereitung der gewonnenen Sekundärrohstoffe umfasst. Viele der genannten Funktionen erfordern ganz neue methodische Ansätze, Entwicklungen und Instrumente oder die Integration von bestehenden.

Hierzu zählen:

- Indikatoren, Modelle und Bewertungsschemata für urbane Minen,
- digitale Kataster, Datenbanken, Gebäude- und Güterpässe zur Stärkung der prospektiven Wissensbasis,
- die umsichtige Entwicklung von Sortier-, Trenn- und Recyclingtechniken für komplexe Stoffverbünde und deren Verbreitung,
- das vorausschauende Gestalten logistischer und rechtlicher Rahmenbedingungen für die Gewinnung, Erfassung und Behandlung,
- das Anbahnen marktgerechter Akteurskonstellationen zur Stärkung der Nachfrage für qualitätsgesicherte Sekundärrohstoffe.

All dies kann sich in einer erfolgreichen Urban Mining Strategie zusammenfassen und wird der Kreislaufwirtschaft einen großen Schub verleihen.

Auf lange Sicht könnte eine doppelte Dividende fällig werden. Denn die für das Urban Mining entwickelte Informationsbasis wird wichtige Anreize für das Produktdesign und die Bauplanung geben – für eine recyclinggerechte Konstruktion.

Strategieentwicklung

Urban Mining wird in den kommenden Jahrzehnten bei der Fortentwicklung einer Kreislaufwirtschaft erheblich an Bedeutung gewinnen. Es ist der Schlüssel, um in Zukunft die anfallenden, dynamischen Materialmengen hochwertig und schadlos bewirtschaften zu können. Urban Mining lässt sich an fünf Leitfragen ausrichten:

- Wo sind die Lager?

- Wie viele und welche Materialien sind enthalten, die als Sekundärrohstoffe genutzt werden können?
- Wann werden die Lager für die Rohstoffgewinnung verfügbar?
- Wer ist an der Erschließung beteiligt?
- Wie lassen sich Stoffkreisläufe effektiv schließen?

Für die strategische und langfristige Planung von Stoffströmen ist es notwendig, das Wissen über das anthropogene Lager ständig zu erweitern und dieses zu verwalten, an die beteiligten Akteure weiter zu geben und anzuwenden.

Dazu muss zuerst eine Wissensbasis über die Zusammenhänge zwischen Input- und Outputströmen geschaffen werden, in der Stoffumwandlungen im anthropogenen Lager über lange Zeiträume Berücksichtigung finden. Außerdem bedarf es geeigneter Instrumente des Wissens- und Informationsmanagements. Um die Wissensbasis entlang von Akteurs- und Wertschöpfungsketten teilen zu können, werden Bewertungsschemata für urbane Minen, digitale Kataster sowie Gebäude- und Güterpässe entwickelt und standardisiert. Die Entwicklung von selektiven, hochsensitiven Recyclingtechniken für komplexe Stoffverbünde sowie das vorausschauende Gestalten logistischer und rechtlicher Rahmenbedingungen, mit denen die Nachfrage für qualitätsgesicherte Sekundärrohstoffe gestärkt wird, stellen ein ebenso wichtiges, komplementäres Handlungsfeld dar.

Urban Mining Index

Um die Konstruktionsprinzipien des Urban-Mining-gerechten Bauens berücksichtigen zu können, benötigen Planer neue, quantitative Bewertungsmaßstäbe. Der Urban Mining Index ist eine Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufpotenziale von Baukonstruktionen in der Neubauplanung. Über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks werden alle eingehenden Materialien und alle daraus entstehenden Wert- und Abfallstoffe berechnet und nach den Qualitätsstufen ihrer Nachnutzung bewertet.

In der Post-Use-Phase gilt eine besondere Aufmerksamkeit der Rückbaufähigkeit. Die Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus, gemessen am Restwert der Materialien und dem Arbeitsaufwand für deren sortenreine Rückgewinnung am Ende der Nutzungsdauer, bestimmt die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Material ein hochwertiges oder nachrangiges End-of-Life-Szenario erreicht. Die zirkulär zu führenden Baustoffe beziffern mit ihrem Anteil an der Masse aller im Lebenszyklus des Bauwerks verbauten Materialien das Gesamtergebnis: den Urban Mining Indicator. Um diesen zu berechnen, werden die Zirkularitätsraten von Baumaterialien anhand spezifischer Kennwerte ermittelt: des Anteils an sekundären oder erneuerbaren Rohstoffen und des zukünftigen Recyclingpotenzials. Dabei werden verschiedene Qualitätsstufen der **zirkulären Materialnutzung Pre-Use und Post-Use** (vor und nach der geplanten Nutzung) unterschieden und differenziert gewichtet:

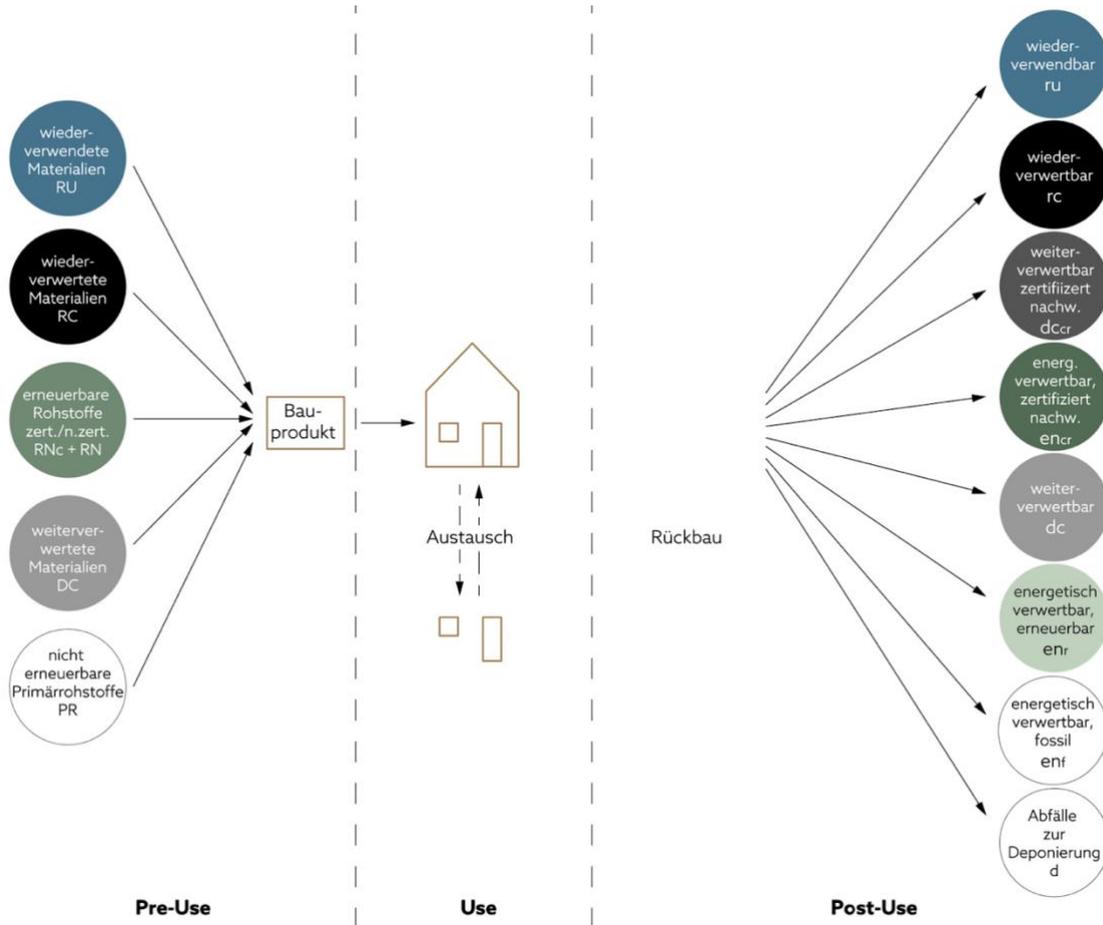


Abbildung 7: Zirkuläre Materialnutzung

Das Closed-Loop-Potenzial

Das Closed-Loop-Potenzial ist der prozentuale Anteil an Materialien und Baustoffen einer Konstruktion, der unter Berücksichtigung definierter Kriterien ohne Qualitätsverlust in geschlossenen Kreisläufen geführt werden kann (Wiederverwendung und Wiederverwertung).

Loop-Potenzial

Zum Loop-Potenzial einer Konstruktion zählen über den prozentualen Closed-Loop-Anteil hinaus auch Anteile an Materialien und Baustoffen, die unter Berücksichtigung definierter Kriterien eine stoffliche Verwertung mit Qualitätsverlust (Weiterverwertung/Downcycling) ermöglichen. Das Loop-Potenzial bildet damit über die geschlossenen Kreisläufe hinaus auch offene Kreisläufe ab.

3 Beispielprojekt

Als Beispielprojekt dient der Gebäudekomplex in der Schwanthalerstraße 111-115 (siehe Abbildung 8). Das Gebäudeensemble wurde im Jahr 1974 gebaut und besteht aus verschiedenen Nutzungen. Die Hausnummer 111 besteht aus einer Kita, NVZ, Büros und Wohnungen. Dieser Teil wurde schon saniert. In der Hausnummer 111a befindet sich ein Hotel. In der Hausnummer 113 findet sich ein Gewerbekomplex mit aufgesetztem Wohnturm (115). Unterhalb des Komplexes befindet sich eine Tiefgarage, die von 111a – 115 genutzt wird.

Die Tragkonstruktion ist in Massivbauweise aus Stahlbeton ausgeführt. Die Außenwände erfüllen die derzeitigen gesetzlichen Mindestanforderungen. Bei den Übergängen zu den Balkonen ist der Mindestwärmeschutz unterschritten. Die Bestandsfenster sind mit $U_w = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ebenfalls unterhalb der Anforderungen.



Abbildung 8: Gebäudekomplex Schwanthalerstraße 111-115 (Bildnachweis: Bayerische Hausbau)

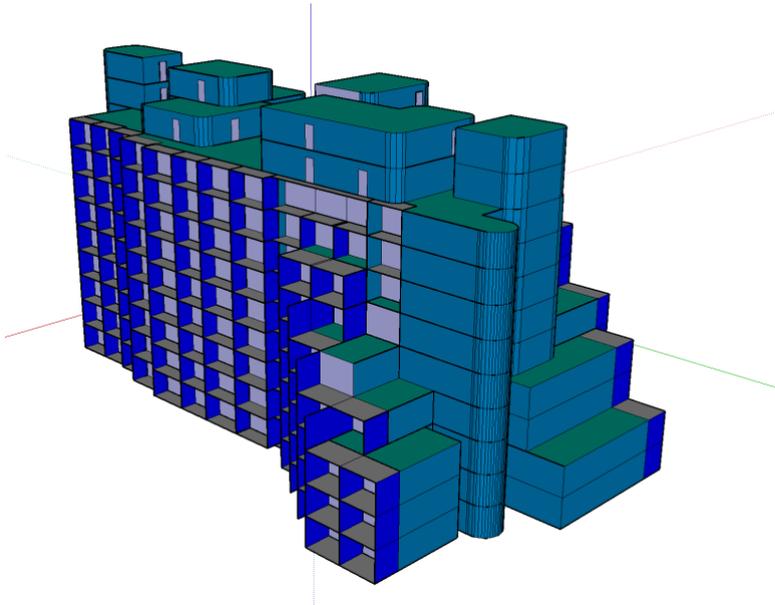


Abbildung 9: Modell des Wohnturms

Da der Schwerpunkt dieses Gutachtens auf Wohngebäuden liegt, wird nur der Wohnturm (Nr. 113, siehe Abbildung 9) mit seinem flächenprozentualen Anteil an der Tiefgarage berücksichtigt (38%). Die Nettogrundfläche (NGF) des Wohnturms beträgt 9.977,71 m². Die Bruttogrundfläche (BGF) beträgt 12.472,14 m². Die nach DIN V 18599 definierte Energiebezugsfläche (A_N) beträgt 11.653,97 m².

3.1 Randbedingungen

[Verfasser: CAALA]

Im Folgenden werden Ökobilanzen für den Bestand und die Szenarien Abriss/Neubau und Sanierung erstellt. Diese folgen den in Abschnitt 2.1 genannten normativen Grundlagen. Als Indikator wird das GWP betrachtet.

Die betrachteten Varianten werden gemäß nachfolgenden Aspekten parametrisch variiert:

1. Bauweise (Stahlbeton, konventionell, nachwachsende Rohstoffe)
2. Dämmstandard (GEG-Standard, EH55-Standard, EH40-Standard, ambitioniert)
3. Technische Anlagen (Gasbrennwertkessel, Fernwärme, Wärmepumpe, Photovoltaik)

Nachweis und Berechnung erfolgten gemäß dem vereinfachten Verfahren der DGNB. Es wurde eine Ökobilanz für die physikalischen Gebäudeteile nach Normenreihe **DIN EN 14040 und 14044**, sowie den Grundregeln für Bauprodukte gemäß **DIN EN 15804** und den Berechnungsregeln im Kontext von Gebäuden gemäß **DIN EN 15978** erstellt. Dabei wurden die Lebenszyklusphasen der der Konstruktion (**A1-A3** Herstellung, **B4** Austausch, **B6** Betrieb, **C3+C4** Entsorgung) betrachtet. Der Wirkungsindikator ist das Treibhausgaspotential (GWP) mit einer betrachteten Nutzungszeit (RSP, Reference Study Period) von 50 Jahren. Die Nutzungsdauern der Bauteile wurde gemäß Expertenliste (Informationsportal Nachhaltiges Bauen) ermittelt. Die Berechnung umfasst die Kostengruppe 300 und 400. Als Datengrundlage wird die **ÖKOBAUDAT** 2016 (oder neuer) verwendet, konform mit der DIN EN 15804.

3.2 Bestandsanalyse

[Verfasser: CAALA]

Die Grundlage der ökobilanzielle Bestandsanalyse sind die in den Planungsunterlagen hinterlegten Bauteile. Dabei werden in allen Varianten folgende Bauteile abgebildet:

Tabelle 3: Übersicht Bauteile

Beschreibung	Bezeichnung in CAALA	Fläche in m ²
Tragende Außenwände aus Stahlbeton	CAALA_A01 Außenwand tragend	4.642,3
Dach aus Stahlbeton Kiesdeckung	CAALA_A03 Dach	1.622,3
Decken in Durchgangsbereichen	CAALA_A09 Fußboden über Außenluft	417,9
Alle Fensterflächen	CAALA_A12 Fenster/Dachfenster	2.686,6
Reguläre Geschossdecken des Gebäudes	CAALA_B01 Decken	10.795,2
Boden zu Gewerbebereichen	CAALA_B01c Decken	1.259,1
Alle tragenden Innenwände aus Stahlbeton	CAALA_B02 Innenwand tragend	11.758,1
Balkontrennwände	CAALA_B04b Außenwand von unbeheizten Räumen	1.294,1
Betonstützen	CAALA_B06 Stützen	61,8 m
Balkonplatten aus Stahlbeton	CAALA_B10 Balkon	1.795,2

Bauteilflächen

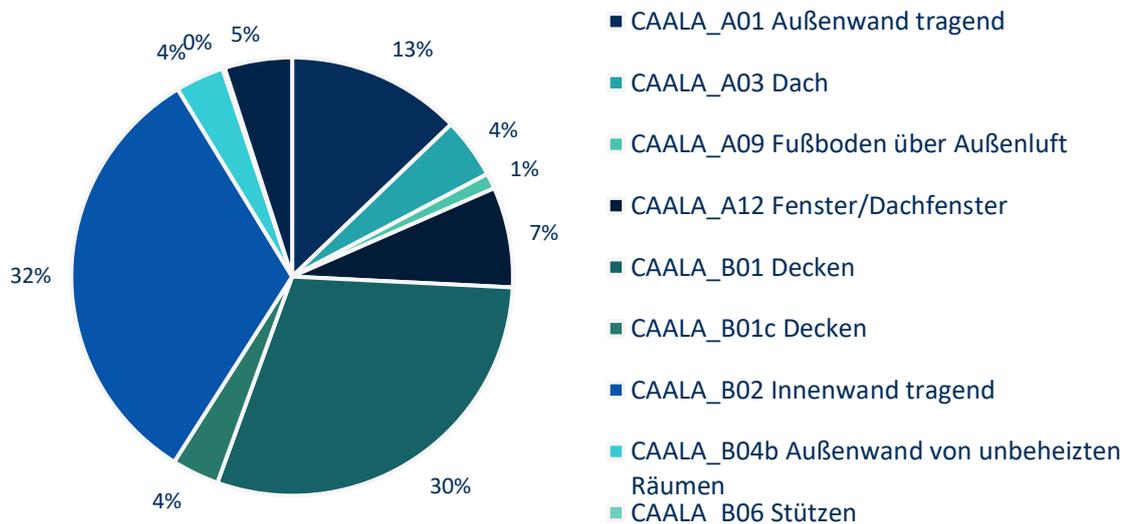


Abbildung 10: Bauteilflächen des Beispielprojekts

An der Verteilung der Bauteile wird deutlich ersichtlich, dass im vorliegenden Beispiel die Decken und tragenden Innenwände den größten flächenbezogenen Anteil haben. Die Auswirkungen der Bauteile

bleiben in allen Modellbetrachtungen allerdings gleich, da nur die Hüllbauteile (hier in Blautönen dargestellt) verändert werden, um unterschiedliche Dämmstandards abzubilden. Dementsprechend sind dort die Bauteile mit dem erwartungsgemäß größten Einfluss auf die Ökobilanzergebnisse die tragenden Außenwände, sowie die Fenster.

Die Ökobilanzwerte für die Materialien dieser Bauteile sind auf Basis der Werte der ÖKOBAUDAT 2016 erstellt. Dies entspricht nicht den tatsächlich verursachten Emissionen, ist aber die beste Annäherung, die derzeit möglich ist.

Die Ergebnisse der Ökobilanz des Bestandes sind in Abbildung 11 und 12 dargestellt.

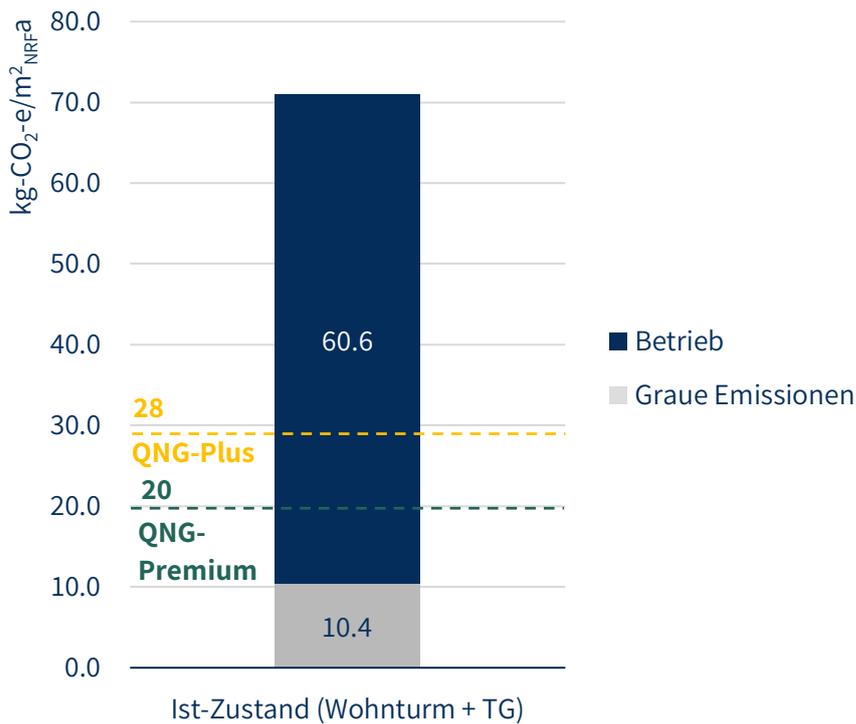


Abbildung: 11 Emissionen Ist-Zustand (Graue Emissionen + Betrieb)

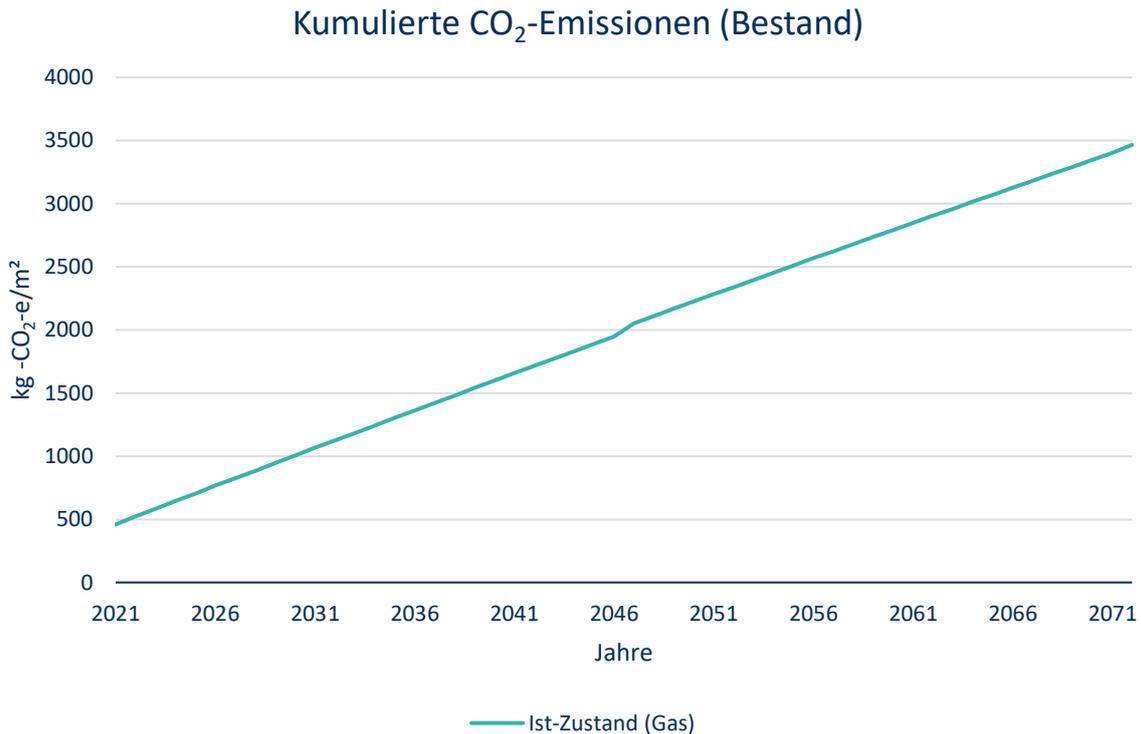


Abbildung 12: Kumulierte Emissionen des Ist- Zustandes über den Lebenszyklus

3.3 Graue Energie für Abriss und Neubau

[Verfasser: CAALA]

In diesem Kapitel soll der Fokus auf den Fall gelegt werden, dass das bestehende Gebäude abgerissen wird und ein vollständig neues Gebäude an dessen Stelle gebaut wird. Für den Fall Abriss und Neubau wird angenommen, dass der Neubau dieselbe Gebäudegeometrie aufweist wie das alte Gebäude. Die Bauteile sind in derselben Bauweise gebaut, wie der Altbau. Jedoch weicht der konkrete Aufbau der Bauteile der Hüllfläche von dem Ursprünglichen ab, um die Bauteile den geltenden Standards anzupassen. Im Folgenden sollen zwei Varianten untersucht werden, zum einen der Neubau nach Effizienzhaus 40 Standard und anschließend eine bestmögliche Variante, die einen klimaneutralen Betrieb anstrebt.

Neubau mit EH40 Standard

Der „Effizienzhaus“ Standard wird definiert durch bauliche und anlagentechnische Maßnahmen zur Verbesserung der energetischen Effizienz gegenüber eines Referenzgebäudes. Für ein Effizienzhaus 40 gilt es den Jahres-Primärenergiebedarf (Q_p) um 60%, sowie den Transmissionswärmeverlust (H'_{τ}) um 45% gegenüber dem Referenzgebäude zu senken.

Um den Transmissionswärmeverlust zu reduzieren wurde die Gebäudehülle gedämmt:

Tabelle 4: Bauteilübersicht für Neubau mit EH40 Standard

Bauteil	Beschreibung Maßnahme	U-Wert
Tragende Außenwände aus Stahlbeton	WDVS, Mineralwolle 22 cm	0,15
Dach aus Stahlbeton Kiesdeckung	Gefälledämmung Mineralwolle 26 cm	0,13
Decken in Durchgangsbereichen	EPS Verkleidung an Deckenunterseite 16 cm	0,19
Alle Fensterflächen	Dreifach-Isolierverglasung, Kunststoffrahmen	0,60

$$H'_T = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Um den Jahres-Primärenergiebedarf zu senken, wurde anstelle der Gasheizung ein Anschluss an die Münchner Fernwärme gewählt. Alternativ dazu wurde auch eine Versorgung mittels Wärmepumpen berechnet. Beide Maßnahmen sorgen für die notwendige Reduktion des Energiebedarfs.

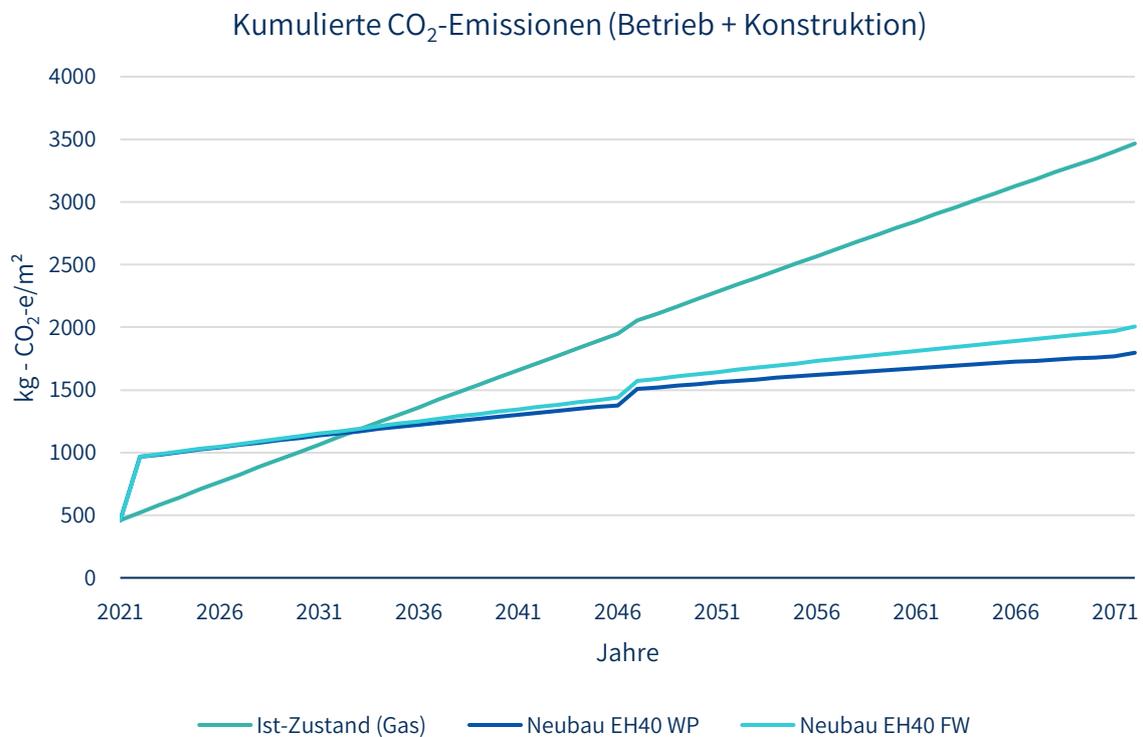


Abbildung 13: Kumulierte Emissionen über den Lebenszyklus

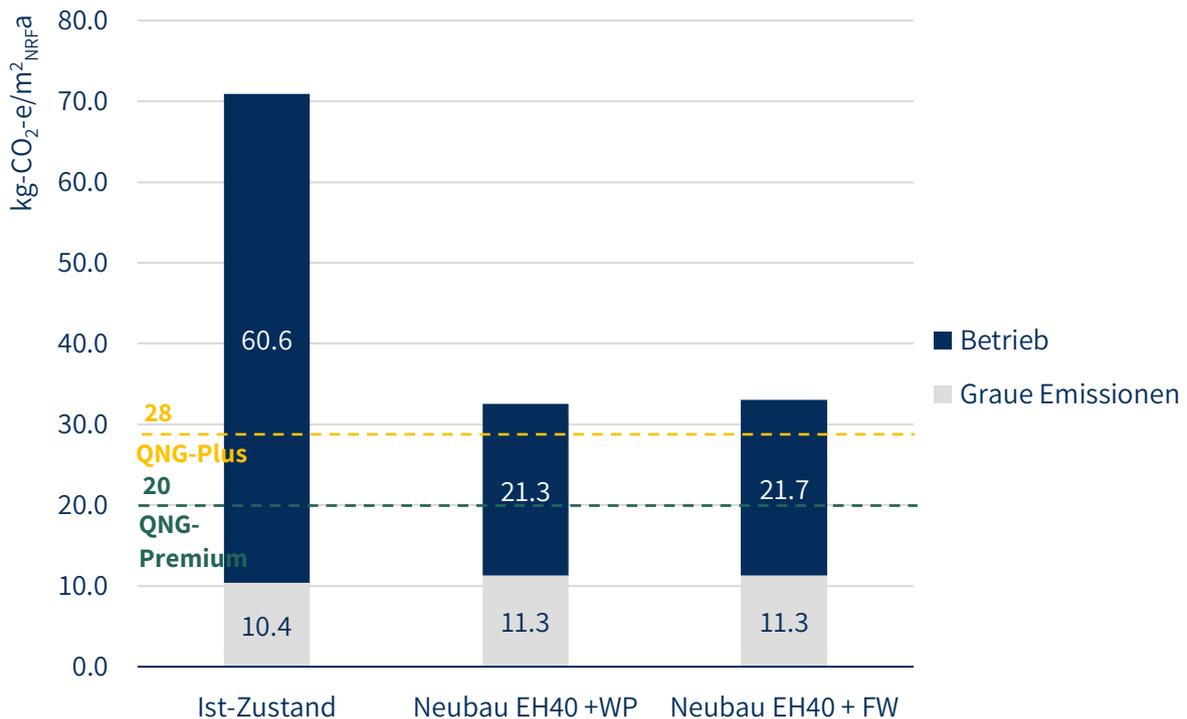


Abbildung 14: GWP Emissionen der Grauen Emissionen und des Betriebs

Die unterschiedlichen Verläufe der beiden Varianten lässt sich dadurch erklären, dass die Wärmepumpe vornehmlich Strom benötigt, um die Wärmeleistung zu liefern. Hier erfolgt die Berechnung der CO₂-Intensität des Stromes nach dem Deutschen Strom-Mix. Dieser wird sich in Zukunft voraussichtlich zu größeren Anteilen aus erneuerbaren Energieträgern zusammensetzen. Es kommt damit zu einer geringeren CO₂-Intensität in der Zukunft. Aus diesem Grund flacht der Verlauf der kumulierten Emissionen über die Jahre ab.

Neubau mit bestmöglichem/klimaneutralem Betrieb

In dieser Variante wird versucht einen für die Geometrie möglichst optimalen Neubau abzubilden. Dieser soll neben einem hohem Dämmstandard und minimalen Jahres-Primärenergiebedarf auch Photovoltaik nutzen, um den Eigenbedarf an Strom möglichst zu decken.

Folgende Annahmen treffen für diese Variante zu:

Tabelle 5: Bauteilübersicht für Neubau mit bestmöglichem Betrieb

Bauteil	Beschreibung Maßnahme	U-Wert
Tragende Außenwände aus Stahlbeton	WDVS, Mineralwolle 30 cm	0,11
Dach aus Stahlbeton Kiesdeckung	Gefälledämmung Mineralwolle 32 cm	0,10
Decken in Durchgangsbereichen	EPS Verkleidung an Deckenunterseite 20 cm	0,15
Alle Fensterflächen	Vakuum-Isolierverglasung, Kunststoffrahmen	0,50

$$H'_T = 0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Als Wärmeerzeugung wurde eine Wärmepumpe mit Erdsonden angenommen, sowie eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Für die PV-Anlage wurde angenommen, dass 70 % der vorhandenen Dachfläche (1.100 m²) sich für Stromerzeugung nutzen lassen. Dies entspräche einer Leistung von 16,8 kWh/m²_{NGfA}. Damit ließe sich der Bedarf des Gebäudes nicht vollständig decken.

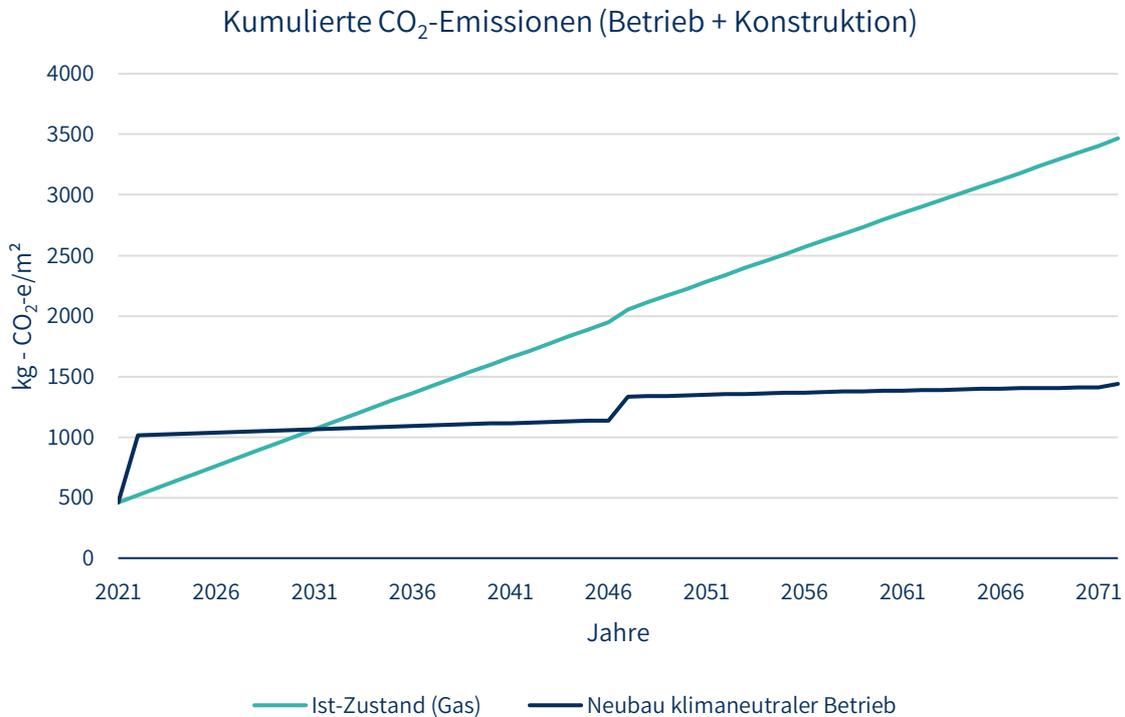


Abbildung 15: Kumulierte Emissionen über den Lebenszyklus

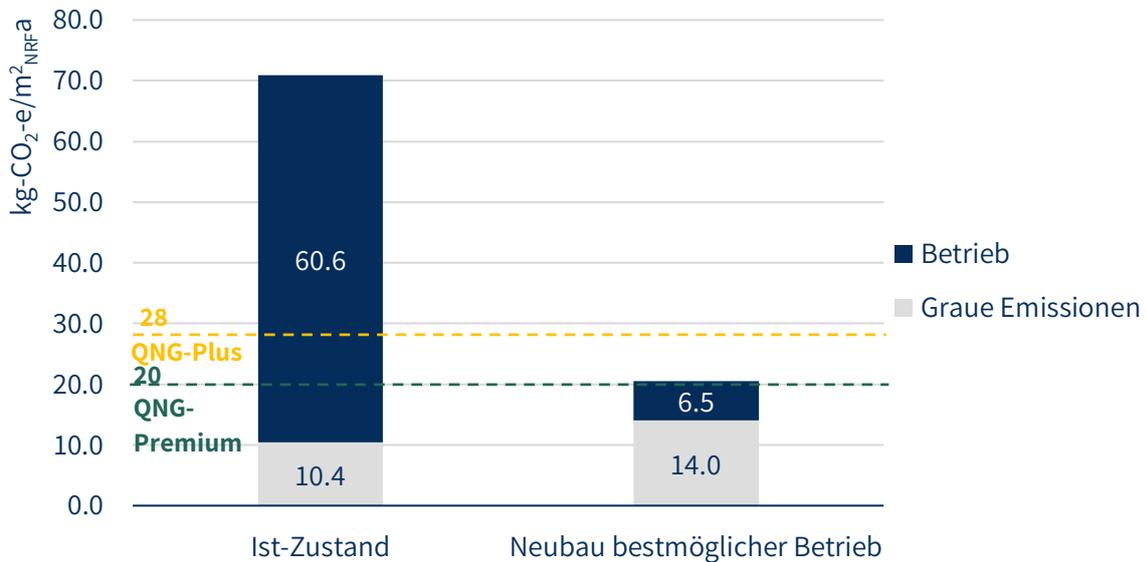


Abbildung 16: GWP Emissionen der Grauen Emissionen und des Betriebs

Trotz höherer Emissionen der Konstruktion kann diese Variante durch sehr geringe Emissionen im Betrieb seine Emissionen über den Lebenszyklus geringhalten. Dies geschieht unter der Annahme, dass der mittels PV erzeugte Strom vollständig vor Ort verwendet werden kann.

3.4 Graue Energie bei Sanierung

[Verfasser: CAALA]

In diesem Kapitel liegt der Fokus auf dem Szenario Sanierung. Dabei wird angenommen, dass das vorliegende Gebäude energetisch saniert wird. Dabei wird sowohl die Gebäudehülle angepasst und gedämmt wie auch die Wärmeversorgungsanlagen ausgetauscht. Der Bestand der Konstruktion bringt dabei keine weiteren grauen Emissionen ein, da diese dem Bestandsgebäude zugeordnet werden.

Im Folgenden wird eine Sanierung auf Effizienzhaus 55 Standard und eine Sanierung, die den bestmöglichen Betrieb darstellt, betrachtet. Zusätzlich wird die Bauweise der Sanierung variiert, um die Effekte von nachhaltigen Rohstoffen auf die grauen Emissionen zu verdeutlichen.

Sanierung mit EH55 Standard

Äquivalent zur Variante „Neubau EH40“ gibt es auch Anforderungen für Bestandssanierungen. Für ein Effizienzhaus 55 gilt es den Jahres-Primärenergiebedarf (Q_p) um 45%, sowie den Transmissionswärmeverlust (H'_T) um 30% gegenüber dem Referenzgebäude zu senken. Um den Transmissionswärmeverlust zu reduzieren wurde die Gebäudehülle gedämmt:

Folgende Annahmen treffen für diese Variante zu:

Tabelle 6: Bauteilübersicht für Sanierung mit EH55 Standard

Bauteil	Beschreibung Maßnahme	U-Wert
Tragende Außenwände aus Stahlbeton	WDVS, Mineralwolle 16 cm	0,21
Dach aus Stahlbeton Kiesdeckung	Gefälledämmung Mineralwolle 18 cm	0,19
Decken in Durchgangsbereichen	EPS Verkleidung an Deckenunterseite 16 cm	0,19
Alle Fensterflächen	Dreifach-Isolierverglasung, Kunststoffrahmen	0,80

$$H'_T = 0,42 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Um den Jahres-Primärenergiebedarf zu senken, wurde anstelle der Gasheizung ein Anschluss an die Münchner Fernwärme gewählt. Als Vergleich wird zusätzlich eine Variante abgebildet, die nach GEG den gesetzlichen Mindeststandard (Referenzgebäude nach GEG; 100% H'_T) entspricht. Diese wird mit Gas beheizt.

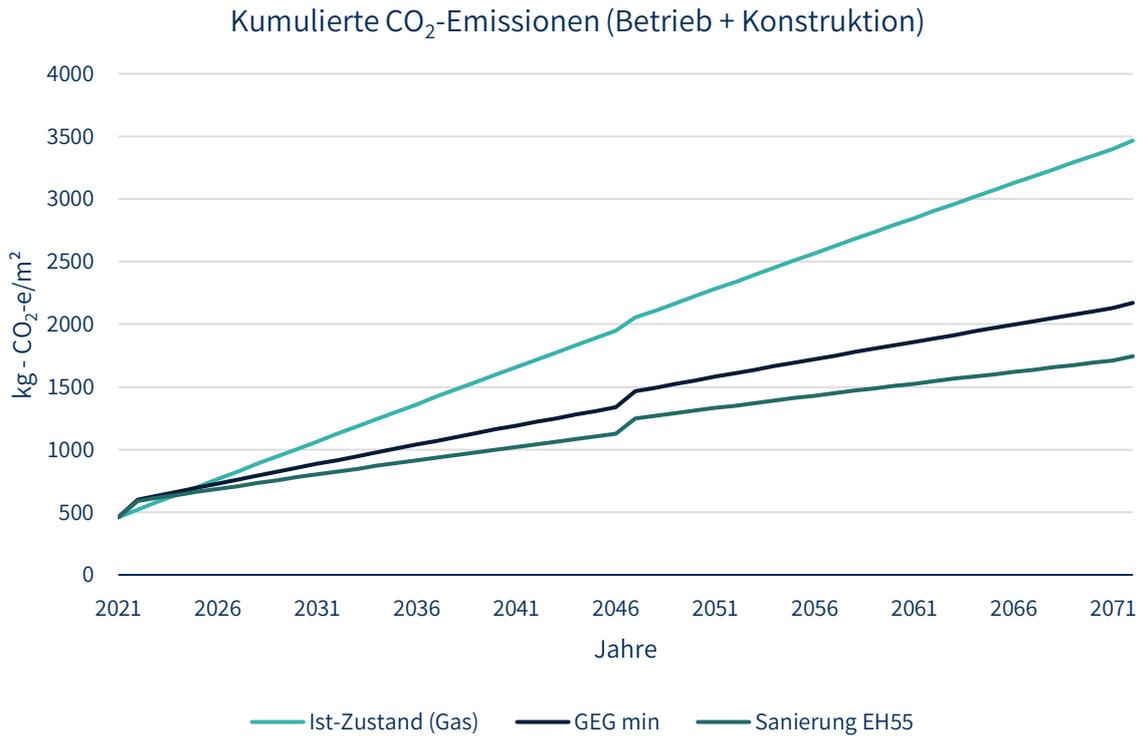


Abbildung 17: Kumulierte Emissionen über den Lebenszyklus

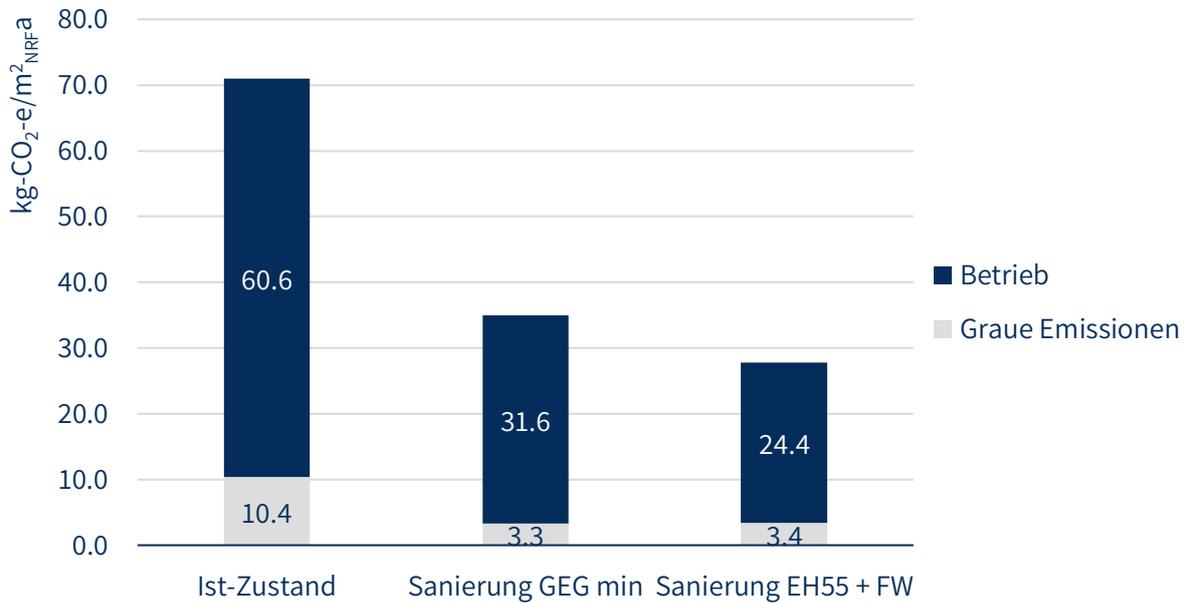


Abbildung 18: GWP Emissionen der Grauen Emissionen und des Betriebs

Sanierung mit bestmöglichem Betrieb und nachwachsenden Rohstoffen

In dieser Variante wird versucht eine für die Geometrie möglichst optimale Sanierung abzubilden. Diese soll neben einem hohem Dämmstandard und minimalen Jahres-Primärenergiebedarf auch



Photovoltaik nutzen, um den Eigenbedarf an Strom möglichst zu decken. Die Variante wird exemplarisch mit nachwachsenden Rohstoffen durchgeführt werden, um die Auswirkungen auf die grauen Emissionen aufzeigen zu können.

Folgende Annahmen treffen für diese Variante zu:

Tabelle 7: Bauteilübersicht für Sanierung mit bestmöglichem Betrieb und nachwachsenden Rohstoffen

Bauteil	Beschreibung Maßnahme	U-Wert
Tragende Außenwände aus Stahlbeton	Holzständer, Zellulose 30 cm	0,14
Dach aus Stahlbeton Kiesdeckung	Gefälledämmung Zellulose 34 cm	0,13
Decken in Durchgangsbereichen	Mineralwolle Verkleidung an Deckenunterseite 16 cm	0,19
Alle Fensterflächen	Dreifach-Isolierverglasung, Holz-Alurahmen	0,80

$$H'_T = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Als Wärmeerzeugung wurde weiterhin eine Gasversorgung angenommen, als Alternative dazu wurde auch ein Anschluss an die Fernwärme München dargestellt.

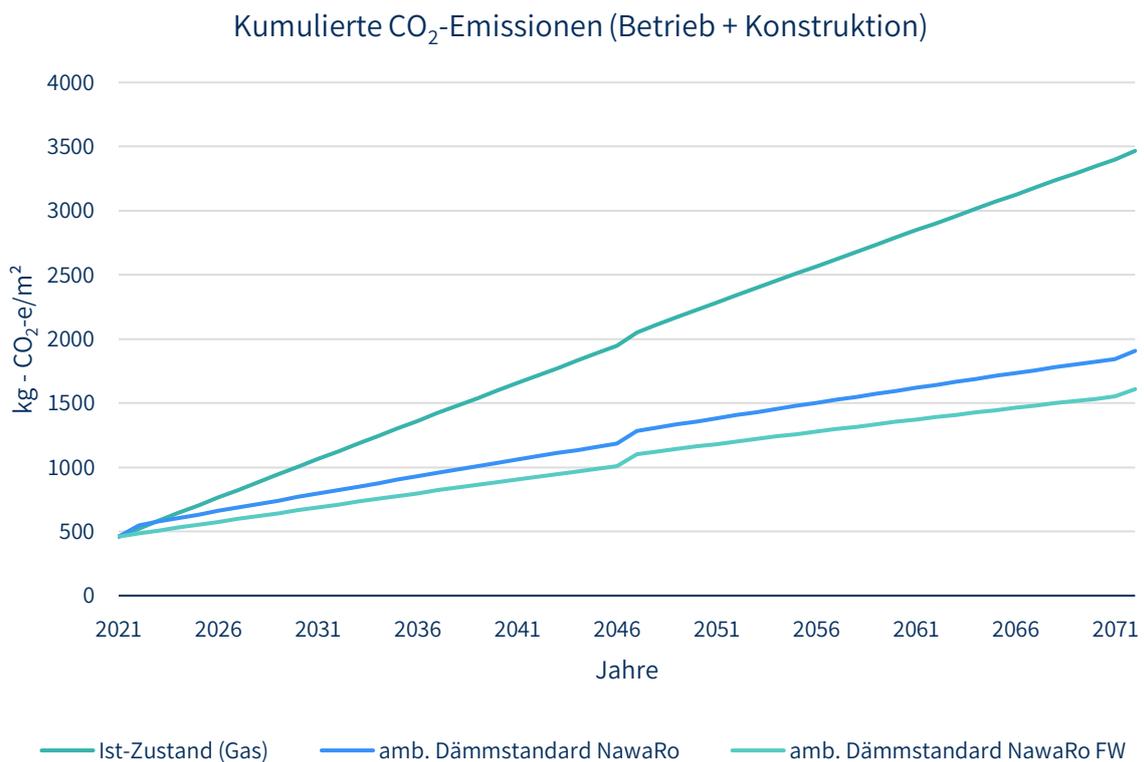


Abbildung 19: Kumulierte Emissionen über den Lebenszyklus

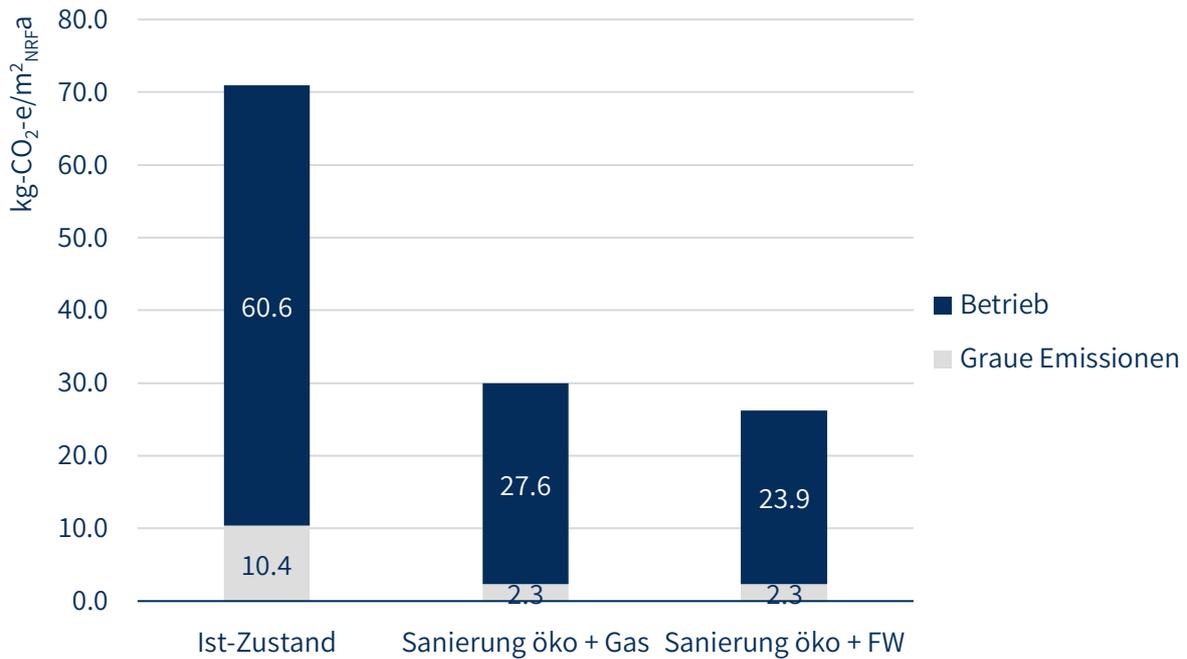


Abbildung 20: GWP Emissionen der Grauen Emissionen und des Betriebs

Durch die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen können die Emissionen der Konstruktion deutlich gesenkt werden. Gleichzeitig wird ein hoher Dämmstandard erreicht, der die Betriebsemissionen senkt.

3.5 Vergleich Abriss und Neubau zu Sanierung

[Verfasser: CAALA]

Nun sollen die Szenarien aus Kapitel 3.3 und 3.4 miteinander betrachtet werden, um mögliche Präferenzen in der direkten Gegenüberstellung treffen zu können. Dabei soll aufgezeigt werden, dass unterschiedliche Szenarien zu unterschiedlichen Schlüssen führen können.

Betrachtet wird zunächst der Fall Sanierung mit Effizienzhausstandard 55 nach BEG im Vergleich zum Bestand und einem Neubau mit Effizienzhausstandard 40.

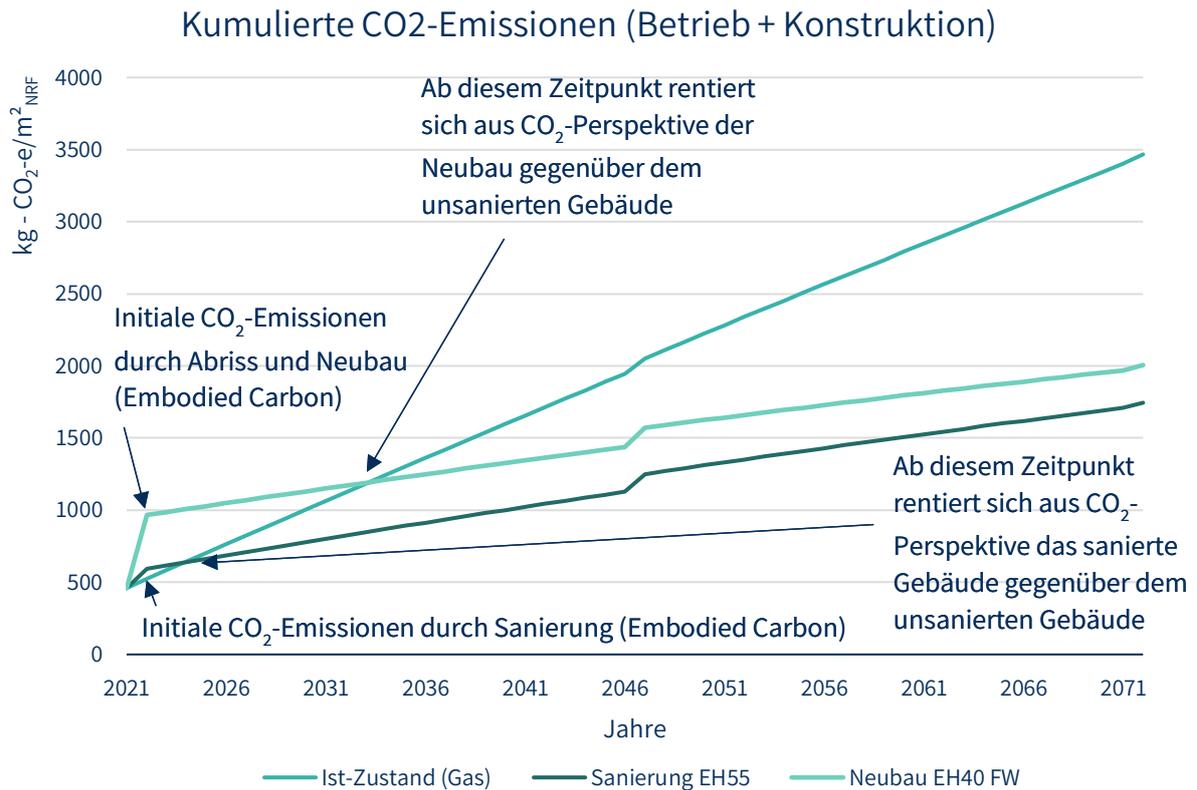


Abbildung 21: GWP Emissionen über den Lebenszyklus im Vergleich (Bestand, Bestandssanierung, Neubau)

In der Herstellungsphase schneidet die Sanierung deutlich besser ab, da die initialen Emissionen im Sanierungsfall deutlich geringer liegen. Dadurch starten beide Kurven auf deutlich unterschiedlichem Niveau. Beide Varianten im Sanierungs- wie auch im Neubauszenario sind zur Wärmeerzeugung an die Fernwärme München angeschlossen. Durch schlechtere Dämmwerte liegt der Verbrauch der EH55 Variante höher, die Kurven nähern sich daher über den zeitlichen Verlauf an. Die große Differenz der grauen Emissionen verhindert allerdings ein Schneiden der Kurven, was den Neubau besser abschneiden lassen würde. Gegenüber dem Bestand rentieren sich beide Varianten, allerdings im Neubau erst nach etwa 10 Jahren.

In diesem Szenario wäre die Variante „Sanierung“ zu präferieren, da über den Lebenszyklus geringere CO₂-Emissionen verursacht werden.

Als weiterer Vergleich wird nun das Szenario der Sanierung nach gesetzlichem Mindeststandard GEG und einem Neubau mit ambitioniertem Dämmstandard und möglichst klimaneutralem Betrieb gegenüber betrachtet.

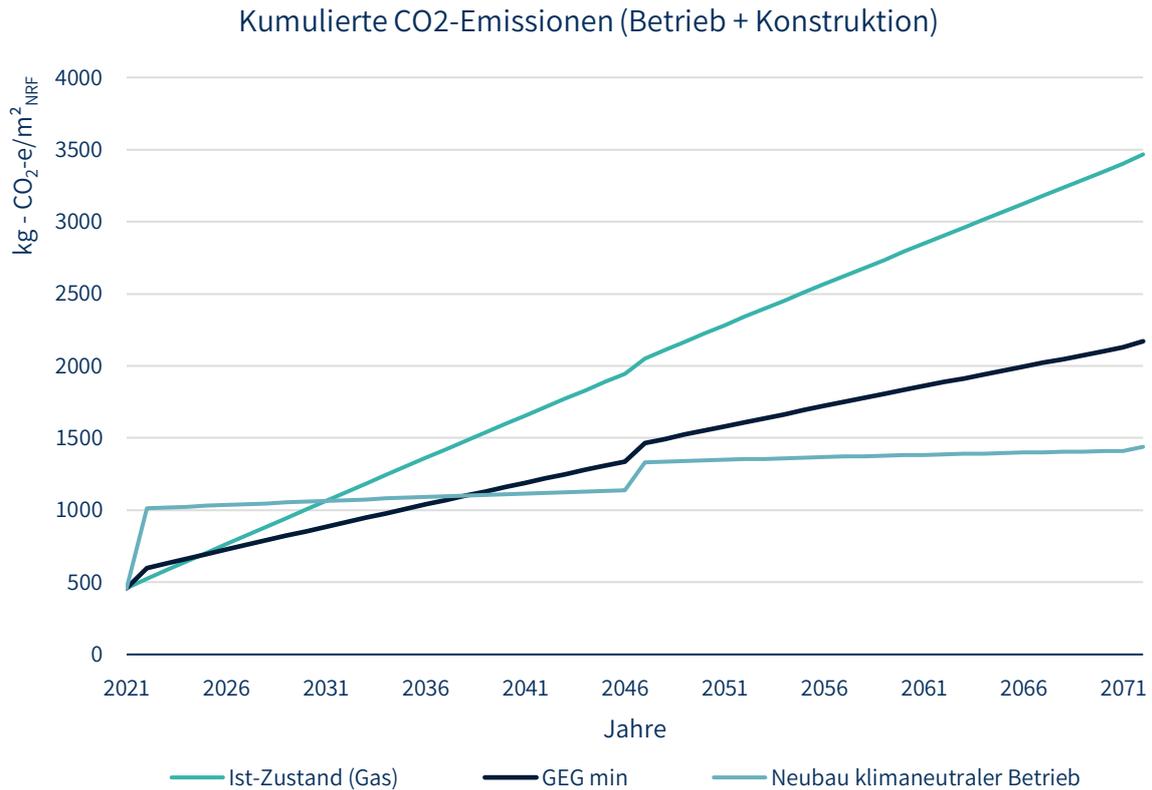


Abbildung 22: GWP Emissionen über den Lebenszyklus im Vergleich (Bestand, Bestandssanierung, Neubau)

Die initialen Emissionen der Herstellung wird hier durch schlechtere Dämmwerte und demzufolge höherem Verbrauch der Sanierungsvariante über den zeitlichen Verlauf kompensiert. Die Kurven schneiden sich bereits nach etwa 15 Jahren. Das bedeutet, dass sich in diesem Szenario der Neubau bereits nach etwa 15 Jahren gegenüber der Sanierungsvariante rentieren würde.

Nachfolgend ist eine Übersicht über die verschiedenen Varianten zu sehen. Dort werden die grauen Emissionen und der Betrieb der einzelnen Varianten gegenübergestellt. Unter anderem wird auf Grundlage dieser Werte Förderkonzepte diskutiert und entwickelt (siehe Kap. 5).

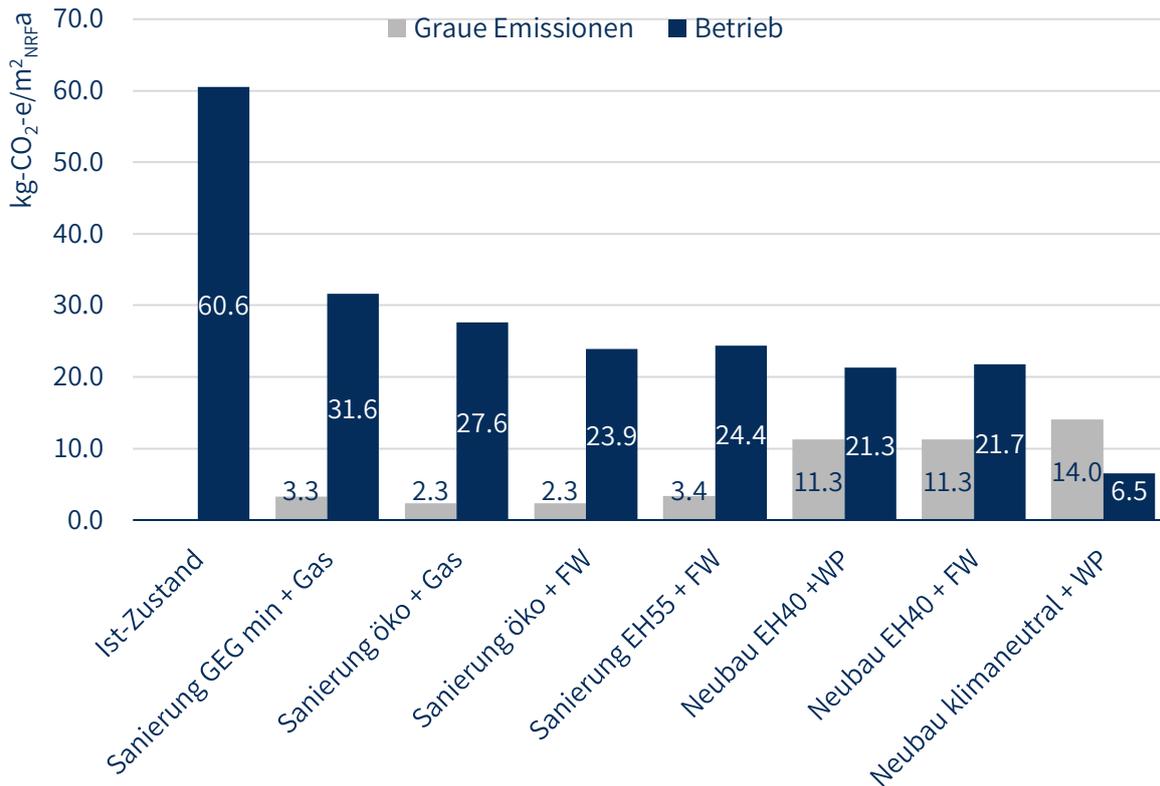


Abbildung 23: GWP Emissionen im Vergleich (Bestand, Bestandssanierung, Neubau)

Diskussion

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass eine allgemeine Präferenz zwischen den Szenarien „Neubau“ oder „Sanierung“ nicht getroffen werden kann. Ist im jeweiligen Fall eine energetische Sanierung auf ein höheres Niveau nicht möglich, ist der Neubau aus Emissionsperspektive zu präferieren. Sollte dies nicht möglich sein gilt es einen möglichst klimaneutralen Neubau zu erzielen.

Auch sollte der zeitliche Aspekt der Emissionen nicht vernachlässigt werden, da zum Erreichen der Klimaziele eine sofortige Reduktion der Emissionen gegenüber einer über die nächsten 50 Jahre kumulierten zu bevorzugen ist.

Zusätzlich spielt der Faktor Ressourceneffizienz eine weitere Rolle, die mit Betrachtung der CO₂-Emissionen nicht abgedeckt ist. So sollte aus Gründen der Ressourcenschonung die Sanierung präferiert werden, da dabei sowohl weniger Materialressourcen eingesetzt werden müssen und zudem weniger Flächenressourcen benötigt werden.

Anhand der diskutierten Szenarien ist erkennbar, dass ein reduzierter Fokus allein auf Graue Emissionen oder den Betrieb nicht ausreicht um die Frage „Sanierung oder Neubau“ zu beantworten. Gerade die kumulierte Betrachtung über den zeitlichen Verlauf zeigt die Wechselwirkung sowohl der initialen Grauen Emissionen wie auch der Betriebsemissionen abhängig von der Wärmeversorgung und PV-Anlage. So ist an den Kurven ablesbar, wann sich welche Variante als rentabel erweist.

❶ Zusammenfassung Kapitel 3.5

*Welcher Energiestandard erlaubt bei diesem Beispielsprojekt einen **klimaneutralen Betrieb**?*

Das konkrete Projekt eignet sich nicht für einen klimaneutralen Betrieb, da die NRF im Verhältnis zu der zur Verfügung stehenden PV-Fläche zu groß ist. Dieses Problem tritt häufig bei hohen Gebäuden mit geringer Grundfläche auf.

Was ist (unter Berücksichtigung der Grauen Emissionen?) zu bevorzugen: Sanierung oder Abriss/Neubau?

Fallspezifisch, „gute Sanierung“ in der Regel zu bevorzugen

Wann kann ein Abriss und Neubau sich gegenüber einer Sanierung ökologisch amortisieren?

Wenn eine ambitionierte Sanierung nicht möglich ist, der Neubau jedoch eine hohe Emissionseffizienz aufweist.

Wann ergibt sich eine ökologische Amortisation für Effizienzhaus (EH) Neubauten?

Der Effizienzhausstandard orientiert sich an der thermischen Gebäudehülle und am Indikator der Primärenergie und ist damit nur bedingt geeignet eine Aussage über die Emissionseffizienz zu liefern. Der Indikator GWP ist für eine Aussage zur ökologischen Amortisation vorzuziehen.

3.6 Handlungsmöglichkeiten zur Kreislaufwirtschaft/Rückbau am Beispielprojekt

[Verfasser: Concular]

Als Beispiel für Handlungsmöglichkeiten kann die Gewerbeabfallverordnung Berlin (“Die getrennt gesammelten Fraktionen sind auch getrennt zu befördern sowie - jetzt verpflichtend - vorrangig der **Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling zuzuführen.**”, <https://www.ihk-berlin.de/blueprint/servlet/resource/blob/4473160/acb917d74727f9f19247006ac6889232/ihk-berlin-merkblatt-gewerbeabfallverordnung-data.pdf>) sowie das Leistungsblatt für Gebäuderückbau angeführt werden.

Auszug aus dem Leistungsblatt:

“35. Rückbau von Gebäuden

35.1 Planung des Rückbaus Hinweis für Auftraggeber: Baumaßnahmen erzeugen Abfall – Bauherren werden automatisch zum Abfallerzeuger. Aus der Abfallgesetzgebung ergeben sich daraus einige Pflichten: Die Vermeidung von Abfällen hat nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz oberste Priorität und verpflichtet den Abfallerzeuger, **geeignete Bauteile**, Baustoffe und Einrichtungsgegenstände **einer Wiederverwendung zuzuführen**. Die Wiederverwendung von Bauteilen und

Einrichtungsgegenständen kann zu einer Kosteneinsparung gegenüber der Abfallentsorgung führen.
[...]

B. Teilkonzept: Rückbau und Entsorgung der Abfälle

[...]

B.2 Das Rückbaukonzept ist so zu erstellen, dass **Bauteile** und Einrichtungsgegenstände getrennt erfasst und **vorrangig einer Wiederverwendung zugeführt werden** können. Ist eine Wiederverwendung nicht möglich, sind die Bauabfallfraktionen vorrangig der stofflichen Verwertung (Recycling) zuzuführen. [...]“

Daraus ergeben sich folgende Schritte:

1. Bestandsaufnahme / Materialpass-Erstellung mit Beurteilung des R-Potenzials
2. Vermittlung an Recycler, Baustoffbörsen, Hersteller und geplante Bauprojekte
3. Selektiv-werterhaltender Rückbau
4. Logistik und Wertschöpfungskette

Die Zusammenarbeit mit lokalen Betrieben stärkt hierbei nicht nur die Fähigkeiten kreislaufgerecht zu agieren, sondern schafft neue Arbeitsplätze und Leistungsfelder.

4 Entwicklung und Empfehlung von Fördermöglichkeiten

Im Folgenden werden basierend auf den Erkenntnissen der vorangegangenen Kapiteln Fördermöglichkeiten entwickelt. Dafür erfolgt zunächst eine Beschreibung der bestehenden Bewertungs- und Zertifizierungssysteme des Nachhaltigen Bauens. Dies dient als Grundlage und zur besseren Einordnung der anschließend vorgestellten Fördermöglichkeiten.

4.1 Bewertungs- und Zertifizierungssysteme für Nachhaltiges Bauen

[Verfasser: CAALA, Concular]

Für die Beurteilung von Gebäuden hinsichtlich deren Nachhaltigkeit existieren verschiedene Bewertungs- und Zertifizierungssysteme. Die Gängigsten werden im Folgenden hinsichtlich deren Umfang (welche Themen werden behandelt) und Anforderungen (wie erfolgt eine Bewertung) analysiert. Ein spezieller Fokus liegt dabei auf den Themen der Umweltwirkungen der Ökobilanz sowie der Kreislauffähigkeit und Ressourcenschonung.

BEG-Förderung

Die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) fördert Sanierungen und Neubauten von energieeffizienten Wohn- und Nichtwohngebäuden. Die Zuschüsse werden dabei in Abhängig des erreichten Effizienzhaus-Standard (EH-Standard) verliehen oder auf Grundlage der Effizienzhaus EE-Klassen und/oder NH-Klassen gewährt.

Der Effizienzhaus-Standard berücksichtigt die Transmissionswärmeverluste (Wärmeverlust durch die Gebäudehülle) und den resultierenden Jahresprimärenergiebedarfs eines Gebäudes. Damit ist er ausschließlich auf den Betrieb eines Gebäudes beschränkt.

Die Effizienzhaus EE-Klassen fördern Gebäude mit hohem Anteil erneuerbarer Energien am Endenergiebedarf. Die Effizienzhaus NH-Klassen können nur mit einem Siegel des Qualitätssiegel Nachhaltiges Bauen (QNG) erreicht werden, welches im Folgenden vorgestellt wird.

Qualitätssiegel Nachhaltiges Bauen (QNG)

Das Qualitätssiegel Nachhaltiges Bauen wurde 2021 vom Bund eingeführt und stellt eine Fördergrundlage für die NH-Klasse, für nachhaltige Gebäude dar. Neben ökologischen Aspekten, wie der Ökobilanzierung werden auch soziokulturelle und ökonomische Qualitäten betrachtet. Art und Umfang der NH-Klasse des QNG ähnelt der Methodik einer Nachhaltigkeitszertifizierung (z.B. BNB oder DGNB). Neben den ökobilanziellen Anforderungen gibt es auch Anforderungen für eine nachhaltige Materialgewinnung von Holzbaustoffen und die Schadstoffbelastung der Baumaterialien. In der weiteren Betrachtung liegt die Anforderungen an die Ökobilanzierung im Fokus.

Das Qualitätssiegel unterscheidet zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden. Für Wohngebäude wird die Marke "QNG-Plus" für Gebäude mit Erfüllung von überdurchschnittlichen Anforderungen und "QNG-Premium" bei deutlich überdurchschnittlichen Anforderungen vergeben.

Die Anforderungen werden mittels Grenzwerte definiert. Diese sehen wie folgt aus:

Tabelle 8: Grenzwerte QNG-PLUS und QNG-PREMIUM

Siegel für Neubau Wohngebäude	Treibhausgasemissionen im Gebäudelebenszyklus (A1-3, B4, B6, C3-4)	Primärenergieaufwand, nicht erneuerbar
QNG-PLUS	$\leq 28 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqu./m}^2_{\text{NRF}} \text{ a}$	$\leq 96 \text{ kWh/m}^2_{\text{NRF}} \text{ a}$
QNG-PREMIUM	$\leq 20 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqu./m}^2_{\text{NRF}} \text{ a}$	$\leq 64 \text{ kWh/m}^2_{\text{NRF}} \text{ a}$

Die Grenzwerte wurden mittels Beispielrechnungen von einem Gebäudepool berechnet, die Datengrundlage hierfür ist leider nicht öffentlich zugänglich.

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. (DGNB)

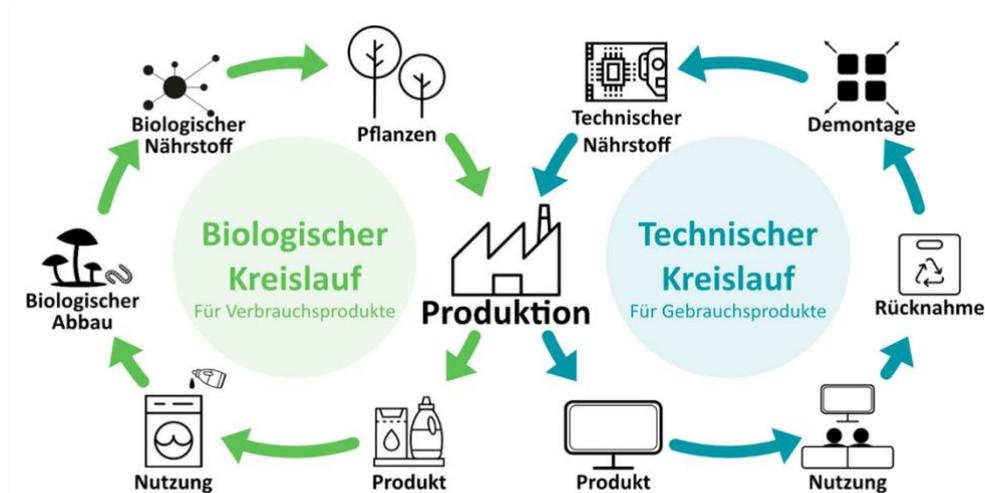
Das Zertifizierungssystem der DGNB hat zum Ziel, nachhaltiges Bauen zu fördern. Der Aspekt der Nachhaltigkeit teilt sich dabei in die Ökologische, die Ökonomische und die Soziokulturelle und funktionale Qualität. Darüber hinaus fließt die Technische Qualität, sowie Prozess- und Standortqualität in die Bewertung ein. Es ergeben sich 37 Einzelkriterien, die in den genannten 6 Qualitäts-Kategorien zu finden sind. 2 dieser Kriterien (SOC1.2 Innenraumluftqualität und SOC2.1 Barrierefreiheit) müssen als KO-Kriterien zwingend erfüllt werden. Die Zertifizierungen werden abhängig von Gesamt- und Mindesterfüllungsgrad vergeben.

Die Ökobilanzierung wird dabei in Kriterium ENV1.1 berücksichtigt und zählt mit bis zu 9,5% in das Gesamtergebnis ein. Davon beziehen sich 40% auf die grauen Emissionen. Somit bezieht sich die DGNB Zertifizierung nur mit 3,8% auf die grauen Emissionen. Da für eine Zertifizierung nicht alle Prozentpunkte erfüllt sein müssen, kann dieser Bereich von Antragstellenden weggelassen werden. Somit ist das DGNB Zertifikat nicht geeignet, um eine Aussage zu den grauen Emissionen eines Gebäudes zu treffen.

Cradle to Cradle

Cradle to Cradle (engl. „von Wiege zu Wiege“, sinngemäß „vom Ursprung zum Ursprung“; abgekürzt auch C2C) ist ein Ansatz für eine durchgängige und konsequente Kreislaufwirtschaft. Das auch als Philosophie bzw. System wahrnehmbare Prinzip wurde Ende der 1990er-Jahre von dem deutschen Chemiker Michael Braungart und dem US-amerikanischen Architekten William McDonough zusammen mit der EPEA Hamburg entworfen. Das C2C-Prinzip schlägt eine radikale und ganzheitliche Herangehensweise vor, bei der Materialien und Rohstoffe in potenziell unendlichen Kreisläufen zirkulieren und dabei keine Abfallprodukte bilden. Recycling nach dem C2C-Prinzip bedeutet, dass das Material ohne Qualitätsverlust immer wieder für dasselbe Produkt wiederverwendet werden kann. Grundsätzlich muss bei C2C zwischen zwei Kreislaufarten unterschieden werden: dem **biologischen und dem technischen Kreislauf**. Der biologische Kreislauf umfasst alle Verbrauchsprodukte, deren Bestandteile bei der Nutzung zwangsläufig in die Biosphäre gelangen. Daher müssen diese vollständig biologisch abbaubar sein. Zu den Verbrauchsprodukten gehören unter anderem Waschmittel, Kosmetika oder Medikamente. Im technischen Kreislauf sind alle Gebrauchsprodukte integriert, also alle Produkte, die nicht verbraucht werden können, sondern lediglich mit der Zeit verschleifen. Bestandteile von Gebrauchsprodukten

können endlos in technischen Kreisläufen zirkulieren. Dafür müssen sie aber sortenrein demontierbar bzw. trennbar sein, sodass sie bei gleichbleibender Qualität recycelt und wiederverwendet werden können. Die Kreislauffähigkeit eines Produkts wird also bereits bei dessen Entwicklung bestimmt.



Für die Umsetzung von Cradle-to-Cradle als Design- und Produktionsprinzip sind zusammenfassend folgende Voraussetzungen nötig:

- + Der steigende Energiebedarf darf ausschließlich durch regenerative Quellen aus kreislauffähigen Anlagen gedeckt werden.
- + Eingesetzte Materialien müssen gesund, also chemisch unbedenklich und kreislauffähig sein, sodass alle Bestandteile sämtlicher Produkte endlos wiederverwertet werden können.
- + CO₂ muss als wichtiger Rohstoff in die Kreisläufe eingebracht werden, in denen es keinen Treibhauseffekt verursacht.

Das Cradle-to-Cradle-Prinzip kann auf praktisch jedes Produkt angewendet werden. Betrachtet man jedoch den enormen Rohstoff- und Energieverbrauch der Bauindustrie, ist das Potenzial hier besonders hoch. Viele Bauteile bestehen jedoch aus vielen unterschiedlichen Ausgangsstoffen, die in der Regel untrennbar miteinander verbunden sind, so bei Klebeverbindungen, Beschichtungen oder anderen Verbundstoffen. Dadurch können die Bauteile nicht in den Kreislauf zurückgeführt werden und müssen als Abfall auf der Deponie entsorgt werden. Daher ist es von großer Bedeutung, die sortenreine Demontierbarkeit und Recyclingfähigkeit von Bauprodukten und -teilen bereits als integralen Entwurfsbestandteil in der Planung mitzudenken.



EPEA als akkreditiertes Institut - C2C-Zertifizierung

Eine „C2C-Zertifizierung“ (Cradle-to-Cradle-Certified-Produktstandard) wird seit 2010 vom Non-Profit-Institut Cradle To Cradle Products Innovation Institute mit Sitz in San Francisco (USA) verliehen.

Es gibt fünf Zertifizierungsstufen, die Produkte erreichen können: Basic, Bronze, Silber, Gold und Platin. Um eine Zertifizierung zu erhalten, wird ein Produkt anhand von fünf Qualitätskategorien bewertet:

Gesunder und sicherer Umgang mit Materialien: alle Bestandteile eines Materials werden einer toxikologischen und ökotoxikologischen Untersuchung unterzogen, um Schadstoffe durch harmlose zu ersetzen.

Wiederverwendung von Materialien: Produktteile müssen innerhalb des biologischen oder technologischen Kreislaufs recycelt werden können. Je höher die Zertifizierung, desto mehr wiederverwendbare Teile das Produkt enthält.

Erneuerbare Energie: 100% der Energie für die Produktion muss aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt werden.

Verantwortlicher Umgang mit Wasser: Wasser ist eine wertvolle Ressource für alles, was lebt und muss entsprechend behandelt werden. Je höher die Zertifizierungsstufe, desto trinkbarer muss das Wasser sein, nachdem es den Produktionsprozess durchlaufen hat.

Soziale Verantwortung: während des Geschäftsprozesses werden alle Menschen und Ökosysteme mit Respekt behandelt und es werden kontinuierliche Fortschritte erzielt, um positive Auswirkungen auf die Menschen und den Planeten zu erzielen.

Das Cradle to Cradle Products Innovation Instituts (C2CPII) hat ein ganzheitliches Bewertungsschema geschaffen, nach dem Produkte entwickelt, qualifiziert und zertifiziert werden können, die den C2C-Anforderungen genügen. So wie in den letzten Jahren die Nachfrage nach Gebäudezertifizierungen (LEED, BREEAM, DGNB) stetig angestiegen ist, so steigt zunehmend die Forderung nach nachhaltigen Materialien und Produkten. C2C ist eine Produktzertifizierung, das heißt: eine unabhängige Bestätigung der Produktqualität. Das Zertifikat gilt unter anderem als Nachweis der Einhaltung von Schadstoffemissionen bei Montage, im Gebrauch und Rückbau, und kann bei Ausschreibungen mit Forderung von Nachhaltigkeitsaspekten als Nachweis dienen. Auch in LEED, BREEAM und DGNB sind

C2C-zertifizierte Produkte bereits anrechenbar. Für die EU stellt die Transformation zur Kreislaufwirtschaft eine zentrale Zukunftsstrategie für die europäische Wirtschaft dar, die seit 2015 unter anderem mit dem Circular Economy Package gefördert wird. Nachweislich kreislauffähige Produkte werden daher in Zukunft merklich an Bedeutung zunehmen, etwa bei öffentlichen Ausschreibungen.

Ablauf der Zertifizierung

Es muss nachgewiesen werden, dass alle Anforderungen des Zertifizierungsstandards eingehalten werden und dies umfangreich dokumentieren sowie mit entsprechenden Nachweisen und Messergebnissen belegen. Alle Unterlagen werden bei der Zertifizierungsstelle zur Konformitätsprüfung eingereicht. Nur, wenn alle Anforderungen erfüllt sind, wird das Zertifikat erteilt. Zudem ist alle zwei Jahre eine Re-Zertifizierung erforderlich.

Da die Prüfung der eingesetzten Inhaltsstoffe tief in die Lieferkette eingreift und die stoffliche Zusammensetzung bis auf 100ppm (0,01%) genau untersucht, ist das Einbeziehen der Zulieferer und Sublieferanten erforderlich. Dabei können Lieferanten ihre Betriebsgeheimnisse - zum Beispiel Produktionsverfahren - wahren, indem sie vertrauliche Informationen mittels Geheimhaltungsvereinbarung (engl. Non-Disclosure Agreements, NDAs) absichern. Werden Stoffe entdeckt, die nicht den strengen Anforderungen des C2C-Standards entsprechen, müssen diese substituiert werden. Dieser Produktoptimierungsprozess ist ein wichtiger Bestandteil der C2C-Zertifizierung.

Der Unterschied zu anderen Labels

Die C2C-Zertifizierung ist im Gegensatz zu unternehmensbezogenen Zertifikaten wie ISO 14001 (Umweltmanagement) oder Gebäudezertifikaten wie DGNB auf ein spezifisches Produkt bezogen. Nach ISO 14024 ist die C2C-Zertifizierung eine „Typ I“ Umweltdeklaration, vergleichbar mit dem Blauen Engel oder natureplus. Das heißt, festgelegte Kriterien werden durch externe Experten geprüft und verifiziert und die Ergebnisse über das Label als qualitative und nachprüfbare Information kommuniziert - in diesem Fall als Bewertungsstufe Basic, Bronze, Silber, Gold oder Platin. Im Gegensatz zur EPD (Environmental Product Declaration), die eine „Typ III“ Umweltdeklaration darstellt, welche für jedes Produkt ausgestellt werden kann, erhalten die C2C-Zertifizierung nur Produkte, welche die hohen C2C-Standards an Materialgesundheit und Rezyklierbarkeit einhalten sowie die Anforderungen bezüglich Energie, Wasser und Sozialstandards erfüllen.

Vergleich mit dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)

Ziel des nachhaltigen Bauens ist der Schutz allgemeiner Güter wie Umwelt, Ressourcen, Gesundheit, Kultur und Kapital. Aus diesen leiten sich die klassischen drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und soziokulturelle Aspekte – ab, an denen auch die Qualität von Gebäuden

gemessen werden muss. Darüber hinaus sind technische Qualitäten sowie die Prozessqualität zu betrachten, die als Querschnittsqualitäten Einfluss auf alle Teilaspekte der Nachhaltigkeit haben.



Schutzgüter und -Ziele der Nachhaltigkeit

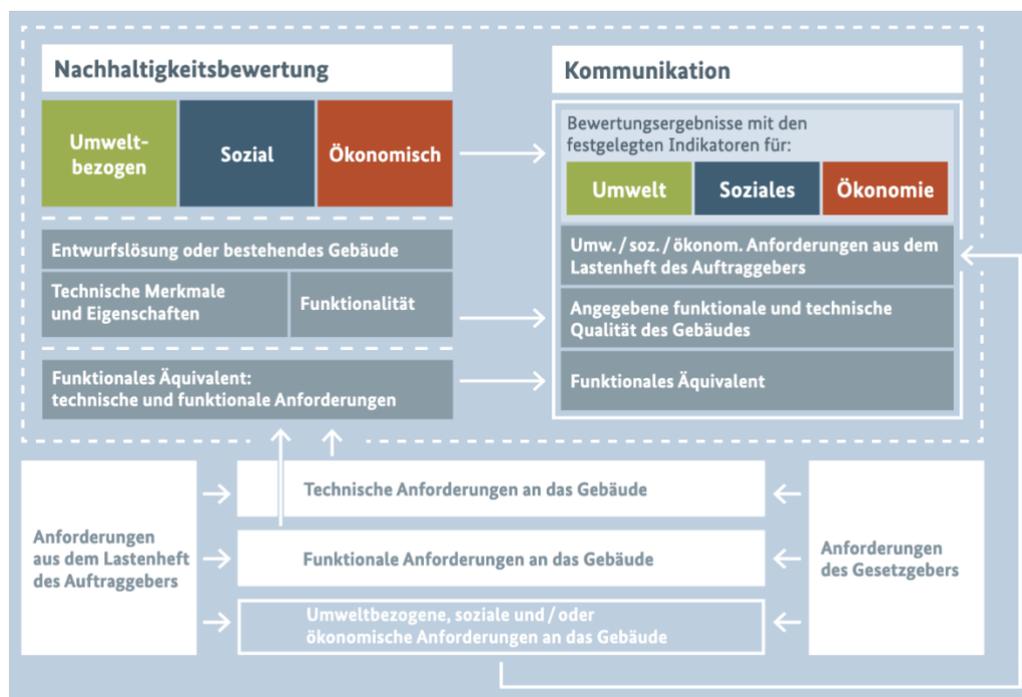
Allgemein und auf den Baubereich bezogen

Bei der ökologischen Dimension der Nachhaltigkeit wird als ein primäres Schutzziel die Ressourcenschonung durch einen optimierten Einsatz von Baumaterialien und Bauprodukten, eine geringe Flächeninanspruchnahme, die Erhaltung und Förderung der Biodiversität sowie eine Minimierung des Energie- und Wasser-verbrauchs angestrebt. Betrachtet werden alle erforderlichen Energie- und Stoffströme von der Gewinnung über den Transport und Einbau bis hin zum Rückbau sowie die globalen und lokalen Umweltwirkungen durch den Energieverbrauch aus der Herstellung der Baustoffe und in der Phase der Gebäudenutzung. Ziel ist die Minimierung der Umweltbelastungen auf lokaler und globaler Ebene.

- Bei der ökonomischen Dimension der Nachhaltigkeit werden über die Anschaffungsbeziehungsweise Errichtungskosten hinausgehend insbesondere die Bau-
- folgekosten betrachtet. Im Fokus stehen demnach die gebäudebezogenen Lebenszykluskosten, die Wirtschaftlichkeit und die Wertstabilität. Wie Praxisbeispiele
- zeigen, können die Baufolgekosten die Errichtungskosten um ein Mehrfaches überschreiten. Durch eine umfangreiche Lebenszykluskostenanalyse lassen sich zum
- Teil erhebliche Einsparpotenziale während der Planung identifizieren. Als Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Costs –LCC) werden dabei insbesondere die Errichtungskosten und die Baunutzungskosten betrachtet.

Der sozialen und kulturellen Dimension werden Schutzziele zugeordnet, die sowohl die soziale und kulturelle Identität als auch das Wertempfinden des Menschen beeinflussen. Ein Identifikationsprozess findet statt, indem der Mensch seine Umgebung wahrnimmt und bewusst oder unbewusst beurteilt. Die daraus resultierenden positiven oder auch negativen Empfindungen spiegeln sich im Grad des Wohlbefindens und der Motivation wider. Dabei spielen soziale Bedürfnisse des Einzelnen ebenso eine Rolle wie kulturelle Wertvorstellungen eines gesellschaftlichen Systems. Hierzu gehören vor allem immaterielle Werte wie Gesundheit, Mobilität und Lebensqualität sowie Chancengleichheit, Partizipation, Bildung und kulturelle Vielfalt. Diese Dimension der Nachhaltigkeit stellt somit einerseits die Nutzerbedürfnisse und Funktionalität, andererseits die kulturelle und ästhetische Bedeutung des Gebäudes in den Mittelpunkt.

Konzeption der Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden



Systemvarianten und Module

Grundsätzlich gelten die Dimensionen, Prinzipien und Qualitäten des nachhaltigen Bauens gleichermaßen für alle Gebäudetypen und Lebenszyklusphasen. Je nach Gebäudeart müssen aber nutzungsspezifische Besonderheiten in der Planung und bei der Nachhaltigkeitsbewertung beachtet werden.

Für ausgewählte Gebäude- und Nutzungsarten hält das BNB daher Systemvarianten vor, um die entsprechenden Anforderungen bei der Nachhaltigkeitsbewertung gezielt berücksichtigen zu können. Die Systemvarianten betrachten mit wenigen Ausnahmen die gleichen Kriterien, die jedoch

bei Bedarf an die nutzungsbedingten Besonderheiten angepasst sind. Aktuell stehen Systemvarianten für Büro- und Verwaltungsgebäude, Unterrichtsgebäude, Laborgebäude sowie Außenanlagen zur Verfügung. Ein Gebäude sowie seine Nutzungs- und Betriebsprozesse können über den Lebenszyklus hinweg mehrfach einer Nachhaltigkeitsbewertung unterzogen werden. Zu diesem Zweck wurden entsprechend dem Aufbau des Leitfadens Nachhaltiges Bauen die drei BNB-Module Neubau, Komplettmodernisierung sowie Nutzen und Betreiben entwickelt. Die entsprechenden Kriterien stehen für einige Systemvarianten wie Bürogebäude bereits vollständig zur Verfügung, für andere werden diese noch erarbeitet.

Vergleichsrechnungen und -untersuchungen

DGNB Graue Emissionen

In der Studie „Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion“⁶ der DGNB wurden 50 Gebäude auf die grauen Emissionen untersucht. Dabei waren allerdings nur 8% der Gebäude Wohngebäude, was eine Vergleichbarkeit zum Beispielprojekt einschränkt. Aufgrund der vorhandenen Datenbasis wurden die Ergebnisse für Module C3+C4 zudem nur kumuliert mit Modul D ausgegeben. Als Bezugsgröße für die Ergebnisse dient die NGF in m².

In den DGNB Ergebnisse liegen die grauen Emissionen der Konstruktion von 75 % der betrachteten Gebäude zwischen 6,5 und 11,9 kg CO₂-e/m²*a. Für den Betrieb fallen durchschnittlich 25,1 kg CO₂-e/m²*a an. Da in dieser Studie die Grauen Emissions-Werte mit den informativen Ergebnissen des Modul D vermischt werden, lassen sich keine belastbaren Aussagen treffen und keine Vergleiche mit den anderen Werten dieses Gutachtens erzielen. Die Integration der Ergebnisse des Modul D sind nicht mit einem normkonformen Vorgehen nach EN 15978-1 und EN 15804 vereinbar und bergen die Gefahr einer Doppelzählung, da potenzielle Vorteile sowohl dem betrachteten System als dem System, in dem sie später auftreten zugeschrieben werden.

Als einflussreiche Faktoren auf die grauen Emissionen bei Bürogebäuden identifizieren die Autor:innen die Bauweise. Jedoch überlappen sich die Bereiche der jeweiligen Bauweisen, weshalb sich keine allgemeine Aussage wie „A ist immer besser als B“ ableiten lassen.

Neben den genannten Einschränkungen ist in dieser Studie die KG400 (Technische Gebäudeausrüstung) nur beschränkt inkludiert da nur eine vereinfachte Ökobilanzierung gerechnet wurde. Bei einer genaueren Berechnung sind höhere Ergebnisse erwartbar.

⁶ Braune A., Ekhvaia L., Quante K. (2021). Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen –DGNB e.V. (Ed.) Stuttgart

Mahler et al.

Im Bericht „Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus“⁷ und „Graue Energie im Ordnungsrecht/Förderung“⁸ zeigen Mahler et al. auf, in welchem Rahmen graue Energien in Förderprogrammen berücksichtigt werden sollten. Zudem geben sie die Spannweite der grauen Emissionen von verschiedenen Konstruktionen an.

Bei der Betrachtung von Sanierungsszenarien wird entsprechend der Festlegungen nach MBV10 weder die Herstellungsphase des ursprünglichen Gebäudes noch das End of Life der bei der Errichtung eingesetzten Materialien berücksichtigt. Die Berechnungsmethodik der Studie für die Ökobilanz folgt der normativen Grundlage.

Die Studie bezieht sich auf Wohngebäude (Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH)). Für die Betrachtung wurden 6 Typgebäude definiert, welche etwa 20% gesamten Wohngebäudebestandes repräsentieren:

- MFH Neubau
- EFH Neubau
- EFH nach Tabula EFH C (1919-1948)
- EFH nach Tabula EFH E (1958-1968)
- MFH nach Tabula MFH E (1958-1968)
- MFH nach Tabula GMH F (1969-1978)

Für die Typen wurden folgende Variationsparameter variiert:

- Thermische Qualität der Gebäudehülle
- Lüftung
- Photovoltaik
- Wärmeversorgung
- Materialwahl

Bei den Ergebnissen werden sowohl die Spannweite der Möglichkeiten als auch „übliche Varianten“ abgebildet. Darüber hinaus werden Holzbau-Varianten gesondert gekennzeichnet. Die Ergebnisse für MFH sind in Abbildung 24, und für EFH in Abbildung 25 dargestellt.

⁷ Mahler B., Idler, S., Nusser T., Gantner J. (2019). *Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus*. Umweltbundesamt (Ed.). Dessau-Roßlau

⁸ Mahler B., Idler, S., Gantner J. (2019). *Mögliche Optionen für eine Berücksichtigung von grauer Energie im Ordnungsrecht oder im Bereich der Förderung*. Kurztitel: Graue Energie im Ordnungsrecht/Förderung. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Ed.)

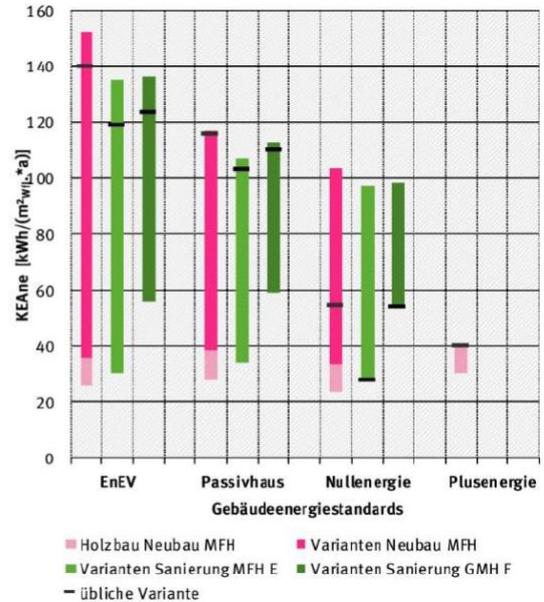
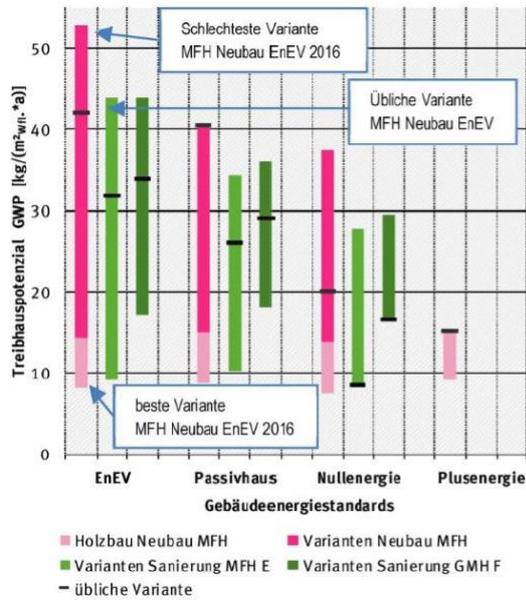


Abbildung 24: Spannweite von GWP und PENRT (hier „KEAne“ genannt) für Mehrfamilienhäuser (Bildnachweis: Mahler et al.)⁹

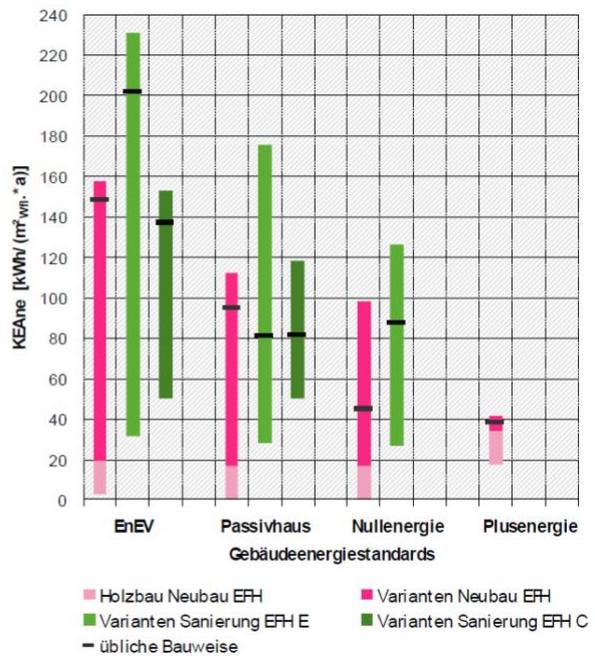
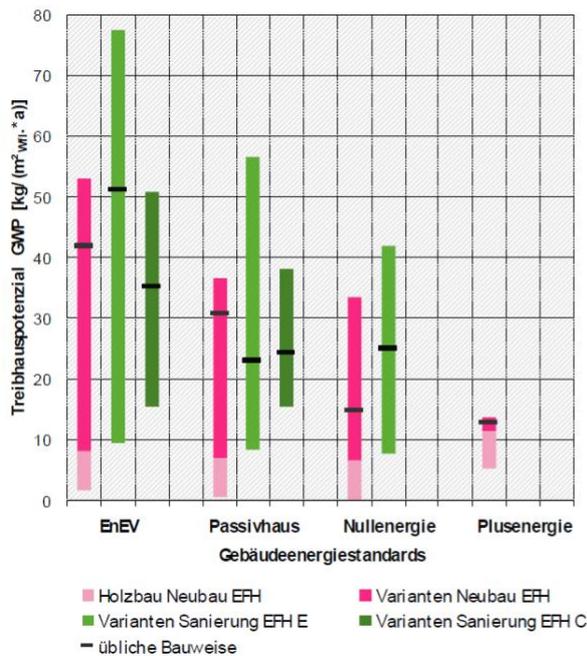


Abbildung 25: Spannweite von GWP und PENRT (hier „KEAne“ genannt) für Einfamilienhäuser (Bildnachweis: Mahler et al.)⁹

Im Vergleich der CO₂-Emissionen schneidet der sanierte Bestand um 20-30% besser ab, als die üblichen Varianten. Aus den Ergebnissen leiten die Autor:innen zudem ab, dass die Vorgabe eines Energiestandards bei einer Sanierung aufgrund der breiten Streuung kein Garant für eine Einsparung

⁹ Mahler B., Idler, S., Gantner J. (2019). *Mögliche Optionen für eine Berücksichtigung von grauer Energie im Ordnungsrecht oder im Bereich der Förderung*. Kurztitel: Graue Energie im Ordnungsrecht/Förderung. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Ed.)

von CO₂-Emissionen oder eingesetzter Energie sei und daher als Entscheidungskriterium für eine Förderung nicht empfohlen werden könne.⁹

Eine genauere Analyse der üblichen Bauweisen ist in Tabelle 9 angeführt. Die CO₂-Emissionen Netto berücksichtigen dabei die Gutschriften der Stromeinspeisung und Abzüge der Stromeigennutzung bei lokaler Stromerzeugung (Blockheizkraftwerk oder Photovoltaik).

Tabelle 9: Ergebnisse für Graue Emissionen und Betriebsemissionen für Neubau und Sanierungen nach Mahler et al.⁹

	Üblicher Neubau MFH	Übliche Sanierung MFH E	Übliche Sanierung GMH F	Üblicher Neubau EFH	Übliche Sanierung EFH C	Übliche Sanierung EFH E
Graue Emissionen (A1-A3, B4, C3-C4) in kg CO ₂ -e/(m ² _{WH} ·a)	12 – 16	3 – 5	3 – 4	10 – 14	3 – 4	5 – 9
Betriebsemissionen (mit Nutzerstrom) in kg CO ₂ -e/(m ² _{WH} ·a)	23 – 30	16 – 33	21 – 35	20 – 32	26 – 33	37 – 46
Betriebsemissionen (ohne Nutzerstrom) in kg CO ₂ -e/(m ² _{WH} ·a)	10 – 17	3 – 20	3 – 17	9 – 21	15 – 22	24 – 33
Graue Emissionen und Betriebsemissionen (Heizung/WW + Nutzerstrom) in kg CO ₂ -e/(m ² _{WH} ·a)	39 – 42	21 – 36	25 – 38	31 – 42	30 – 35	46 – 51
CO ₂ -Emissionen Netto in kg CO ₂ -e/(m ² _{WH} ·a)	15 – 42	9 – 32	17 – 34	13 – 42	25 – 35	23 – 51

Die Materialvariation der Studie ergibt, dass durch den Einsatz von Bauweisen, die einen niedrigen Einsatz an grauer Energie aufweisen (z.B. Holz- und Leichtbauweisen) die CO₂-Emissionen der Konstruktion um ungefähr 40 – 60 % reduziert werden können. Für Ressourcenschonendes Bauen empfehlen die Autor:innen eine ganzheitliche Bilanzierung von Gebäuden einzuführen (inklusive grauer Energie) und die schnelle Einführung durch Förderprogramme zu unterstützen. Nur durch eine kombinierte Betrachtung von Konstruktion und Betrieb lassen sich Energieeinsparungen transparent kommunizieren.

Bei der Erstellung von Benchmarks sollen nach den Autor:innen folgende Punkte erfüllt sein:⁹

- Zielgröße auf CO₂ - basiert
- Absolute Grenzwerte vor Referenzgebäudeverfahren bevorzugen
- Graue Energie und Nutzerstrom inkludieren, Netzeinspeisung einer dezentralen Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien mittels Gutschrift berücksichtigen
- Selber Zielwert für Neubau und Sanierung
- Flächeneffizienz je Person berücksichtigen

Bei Förderungen schlagen die Autor:innen vor, die Fördersumme abhängig von den erreichten CO₂-Einsparungen in der Konstruktion verglichen mit einer konventionellen Bauweise zu berechnen. Die Höhe könnte im Abgleich mit den CO₂-Vermeidungskosten (in €/t CO₂) und den Kosten des Mehraufwandes (LCA-Planung, Ausschreibung, Nachweis, Mehrinvestition in Produkte) bestimmt werden.⁹

📌 Zusammenfassung Kapitel 4.1

Wie sind die Zielwerte für das GWP für ein Erreichen des 2°-Ziel zu definieren?

Nach Mahler et al. befindet sich der Zielwert für den gesamten Lebenszyklus in der Größenordnung von 12 – 17 kg CO₂-e/(m²_{Wfl}·a), was ungefähr 11 – 15 kg CO₂-e/(m²_{NGF}·a) entspricht. Diese Abschätzung basiert auf den zu erreichenden pro Kopf Emissionen von 2 t CO₂-e/Pers.*a, wovon 25 % für Wohnen angesetzt werden, und einer Wohnfläche von 40 m²_{Wfl}/Person, sowie Schätzungen der 2000-Watt Gesellschaft, die für das Jahr 2050 ca. 0,6 – 0,66 t CO₂-e/Pers*a für Neubau und Sanierung annehmen.⁹

Welche Grenzwerte sind für einen klimaneutralen Gebäudebestand nötig?

Für einen klimaneutralen Gebäudebestand müssen die Emissionen des Betriebs in Summe den Wert von 0 kg CO₂-e/(m²_{NGF}·a) erreichen.

Welcher Energieeffizienz-Standard in der Nutzung ist für einen klimaneutralen Gebäudebestand nötig?

Ein klimaneutraler Betrieb ist nur mithilfe einer lokalen, emissionsfreien Stromproduktion möglich. Daher hängt das Erreichen des klimaneutralen Betriebs in erster Linie von dem Verhältnis dieser Energiemenge zur benötigten Energie ab. Ein möglichst hoher Energieeffizienz-Standard ist dabei hilfreich, aber kein ausreichendes Kriterium. Zudem bezieht sich Klimaneutralität auf die Treibhausgasemissionen, während der Energieeffizienz-Standard sich auf (Primär-)Energie bezieht und sich somit nur bedingt als Indikator eignet.

4.2 Förderkonzepte Graue Emissionen

[Verfasser: CAALA]

Aufbauend auf den vorangegangenen Kapiteln werden im Rahmen des Gutachtens verschiedene Konzepte für die Förderkonzepte mit Berücksichtigung von grauer Energie und zirkuläres Bauen geprüft und entwickelt. Die Entwicklung von Fördermaßnahmen orientiert sich an den Grundsätzen der Transparenz, Vergleichbarkeit und Umsetzbarkeit in der Praxis. Ebenso werden Ausschlusskriterien geprüft.

Das Ziel der Förderung ist die Minimierung der Grauen Emissionen bei Sanierungen und im Neubau und eine möglichst große Wirkung (Betrieb) von eingesetzten grauen Emissionen. Zudem soll eine höhere Zirkularität und Ressourceneffizienz erreicht werden.

Dabei müssen Fehlanreize vermieden werden. Folgende mögliche Fehlanreize wurden identifiziert:

- Maßnahmen mit geringen Grauen Emissionen, aber ohne **Effekt** (Emissionsreduktion).
- Maßnahmen mit hohen Grauen Emissionen (Abriss und Neubau statt Sanierung).
- Maßnahmen mit hohen versteckten Grauen Emissionen (TG, Technische Anlagen, etc).

Darüber hinaus muss eine Förderung folgende Anforderungen erfüllen, um in der Praxis einen Effekt zu erzielen:

- Einfache Umsetzung
- Breiter Anwenderkreis / Akzeptanz

Die folgenden Abschnitte stellen Förderkonzepte auf verschiedenen Bezugsebenen sowie eine Evaluierung der bestehenden Fördermaßnahmen der Stadt München zu Nachwachsenden Rohstoffen vor.

Bauteilbezogen

Eine bauteilbezogene Förderung begrenzt sich auf einzelne Komponenten eines Gebäudes. Im Sinne der Vergleichbarkeit dient die Bauteilfläche (BTF) als funktionelle Einheit, weshalb die Ergebnisse auf einen Quadratmeter der Bauteilfläche bezogen werden (z.B. kg CO₂-e/m²_{BTF}). Eine Analyse von S. Ebert¹⁰ zeigt die Spannweite der Ergebnisse für verschiedene Bauteilarten auf (siehe Abbildung 26).

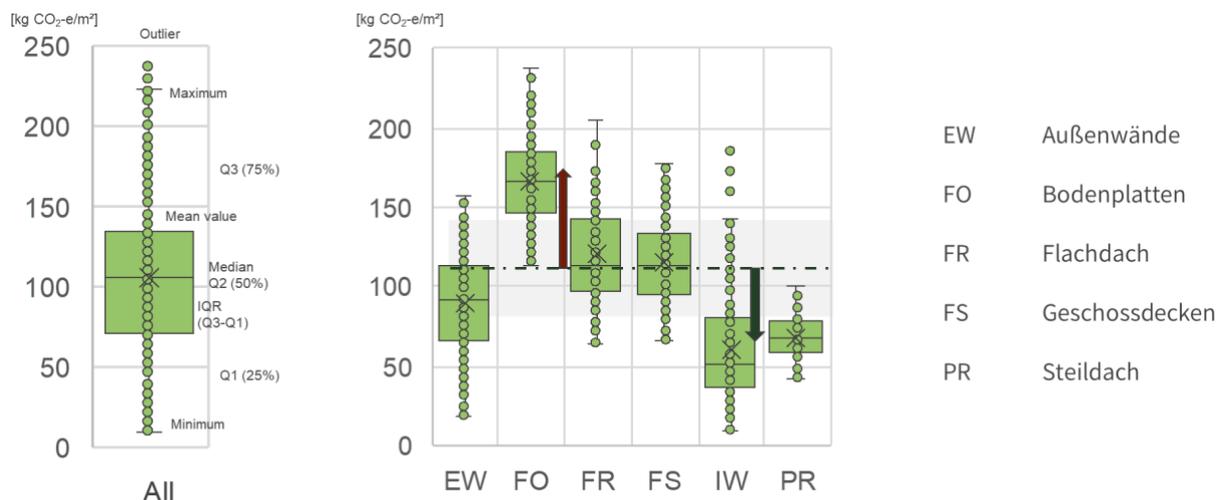


Abbildung 26: Spannweiten der Grauen Emissionen verschiedener Bauteilgruppen (Bildnachweis: S. Ebert)¹⁰

¹⁰ Ebert, S. (2020), Value-Based Decision Making Within the Complexity of Building Construction. Dissertation, TUM, München

Die Ergebniswerte basieren auf 1472 verschiedenen typischen Bauteilaufbauten für Außenwände, Innenwände, Decken- und Dachbauteile sowie Bodenplatten. Die Bauteile variieren dabei sowohl in der Bauweise, dem Schichtaufbau, den äußeren und inneren Bauteilabschlüssen und den Schichtdicken, um möglichst viele typische Bauteilvarianten abzudecken. Die Berechnung erfolgt gemäß ISO 14040/44 und DIN EN 15804 sowie 15978 ⁴. Die Ergebnisse illustrieren den möglichen Ergebnisraum für Umweltwirkungen (z.B. GWP) für Bauteile und bieten die Grundlage für mögliche Grenzwerte auf Bauteilebene.

Auf Basis dieser Werte ließen sich je Bauteil Grenzwerte definieren, die für eine Förderung eingehalten sein müssen. Im direkten Abgleich wird deutlich welche Bauteile bei einer bestimmten Grenzwert-Niveaus förderfähig wären und welche nicht. Allerdings geschieht dies losgelöst vom Kontext innerhalb des Gebäudes. So erfordern z.B. Wände zwischen Wohneinheiten einen höheren Schallschutz, der zu höheren Treibhausgasemissionen führen kann. Ebenso könnte ein Fenster mit geringerer Wärmeisolierung zwar geringere graue Emissionen aufweisen, jedoch auch im Betrieb schlechter abschneiden als ein Fenster mit höherer Wärmeisolierung. Eine Möglichkeit wäre, die Bauteile zu kategorisieren gemäß verschiedenen funktionalen Eigenschaften (z.B. U-Wert, Schalltechnische Eigenschaften etc.) und erst dann spezifische Grenzwerte abzuleiten. Zusätzlich werden bei diesem Ansatz auch verschiedene Gebäudebezüge vernachlässigt, wie die Nutzfläche, die Flächenanteile der Bauteile, die einen erheblichen Einfluss darauf haben, wie sich die Grauen Emissionen eines Gebäudes im gesamten zusammensetzen. Daher kann für diesen Ansatz aus Emissionsperspektive keine Förderempfehlung ausgesprochen werden.

Tabelle 10: Übersicht der Vor- und Nachteile der bauteilbezogenen Fördersystematik

<p>Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> + einfacher Nachweis + einfache Grenzwerte 	<p>Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Funktion der Bauteile kommt erst im Gebäude zum Tragen. - Fokus auf Einzelbauteile und nicht das gesamte Gebäude (Flächenanteil der Bauteile) - kein Bezug zur Nutzfläche
<p><u>Keine Empfehlung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Effekt nicht abbildbar, da Emissionen im Betrieb nicht inkludiert. • Gefahr der Fehlförderung, da wesentliche Aspekte fehlen (TG, Bezug zur Nutzfläche, Anteil der Bauteile an den Grauen Emissionen, Performance etc.) 	

Auch eine materialbasierte Förderung gestaltet sich schwierig. So sind bestimmte Materialien in gewissen Kontexten nicht einsetzbar, da sie z.B. brandschutztechnische Anforderungen nicht erfüllen. Eine Liste an Materialien, die immer besser als konventionelle Materialien sind, ist nur schwer zu erstellen.

Wenn sie funktional sinnvoll eingesetzt werden, ist eine Förderung von nachwachsenden Rohstoffen eine sinnvolle Maßnahme. Es muss jedoch verhindert werden, dass nachwachsende Rohstoffe ohne



Funktion nur zur Erfüllung einer Quote eingesetzt werden. Dies verschlechtert zwangsläufig die Ökobilanz eines Gebäudes. Daher empfehlen wir eine materialbasierte Reduktion der grauen Emissionen über das Förderprogramm FES abzudecken und verweisen auf die Stellungnahme am Ende dieses Kapitels.

Gebäudebezogen

Für eine gebäudebezogene Förderung dient die NRF als Bezugseinheit. Gegebenenfalls wird diese in Kombination mit dem Betrachtungszeitraum (50 Jahre) verwendet, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten (z.B. $\text{kg CO}_2\text{-e/m}^2_{\text{NRF}}$ oder $\text{kg CO}_2\text{-e}/(\text{m}^2_{\text{NRFa}})$). Für die Fördermöglichkeiten wurden zwei Ansätze identifiziert:

Zum einen handelt es sich dabei um eine Grenzwertbetrachtung. Dabei muss eine gewisse Größe wie die Grauen Emissionen pro m^2_{NGF} unterhalb eines Grenzwertes sein, um förderfähig zu sein. Zum anderen kann eine Performance-basierte Betrachtung erfolgen. Dabei wird die Performance eines Gebäudes im Verhältnis zum Aufwand einer Maßnahme gesetzt. Die Förderkonzepte werden im Folgenden an vier Szenarien veranschaulicht. Diese Szenarien, erläutert in Tabelle 11, sind an den Werten von Mahler et al. (siehe Abschnitt 0) angelehnt.

Tabelle 11: Vier Varianten als Szenarien für die Förderprogramme

	V1 	V2 	V3 	V4 
Maßnahme	Variante 1: ambitionierte Sanierung	Variante 2: minimale Sanierung	Variante 3: ambitionierter Neubau	Variante 4: Standard-Neubau
Umfang	Effektive Maßnahmen an Gebäudehülle und Anlagentechnik	Wenig Maßnahmen, wenig Auswirkungen auf Betrieb	Ambitionierter Neubau mit klimaneutralem Betrieb	„Business As Usual“ Neubau
Beispiel	Dämmung, Fenstertausch, verbesserte TGA	nur Einzelmaßnahmen auf GEG-Standard	Passivhaus mit hohem Anteil erneuerbarer Energie (PV)	Wohngebäude nach GEG-Standard
Graue Emissionen	$200 \text{ kg CO}_2\text{-e/m}^2_{\text{NGF}}$	$100 \text{ kg CO}_2\text{-e/m}^2_{\text{NGF}}$	$650 \text{ kg CO}_2\text{-e/m}^2_{\text{NGF}}$	$550 \text{ kg CO}_2\text{-e/m}^2_{\text{NGF}}$
Betriebs-emissionen	$10 \text{ kg CO}_2\text{-e/m}^2_{\text{NGFa}}$	$30 \text{ kg CO}_2\text{-e/m}^2_{\text{NGFa}}$	$0 \text{ kg CO}_2\text{-e/m}^2_{\text{NGFa}}$	$25 \text{ kg CO}_2\text{-e/m}^2_{\text{NGFa}}$

Grenzwertansatz

Bei dem Grenzwertansatz handelt es sich um einen einfachen Nachweis auf der Basis von definierten Grenzwerten. Diese dürfen für eine Förderung nicht überschritten werden (siehe Abbildung 27). Ermittelt werden können sie auf Grundlage eines konsistenten und repräsentativen Datenpools. Die Höhe der Grenzwerte muss außerdem mit der geplanten Förderhöhe und Fördervolumen in Übereinstimmung gebracht werden.

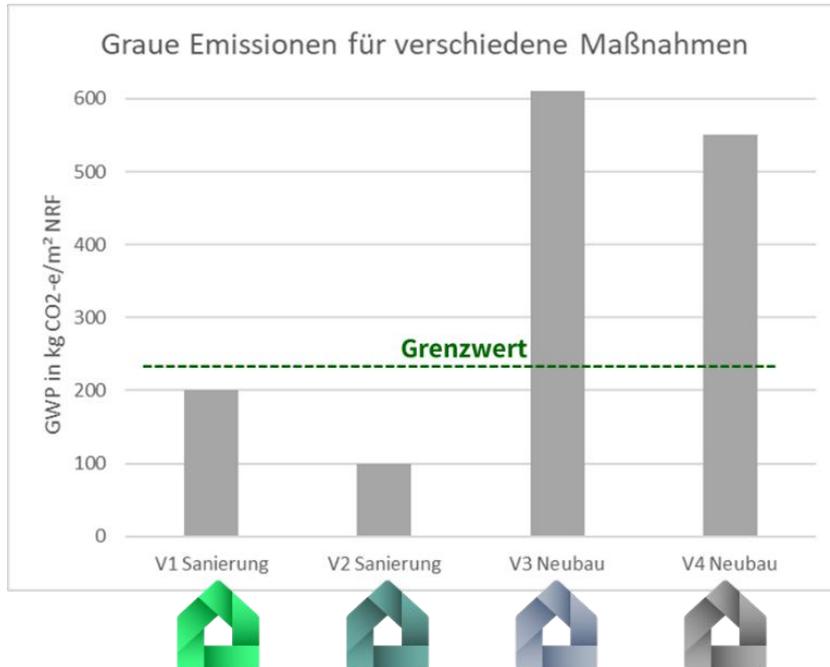


Abbildung 27: Beispiel für Grenzwertansatz bei dem nur V1 und V2 eine Förderung erreichen würden

Im Folgenden werden verschiedene Optionen für den Grenzwertansatz vorgestellt. Dabei werden exemplarische Grenzwerte angenommen, welche der Veranschaulichung dienen und gesondert bestimmt werden müssten.

Option 1 betrachtet die grauen Emissionen einer Maßnahme (Sanierung oder Neubau) für die Module A1-A3 und C3-C4 normiert auf die Nettoraumfläche. Diese werden aus einer Ökobilanz bestimmt. Für eine Förderung auf dieser Basis müssen getrennte Grenzwerte für die Sanierung und den Abriss/Neubau zu definieren, da ein gemeinsamer Grenzwert in der Regel in einer Förderung von entweder nur Sanierungen oder allen Sanierungen und ambitionierten Neubauten führt (siehe Abbildung 28).

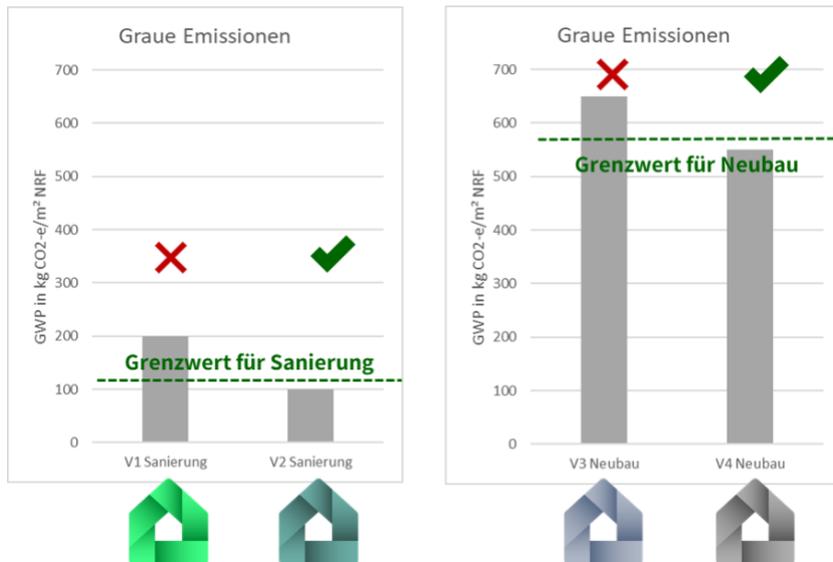


Abbildung 28: Beispielhafte Darstellung der Fördermöglichkeit Option 1

Dieser einfache Nachweis berücksichtigt allerdings nicht die Effektivität der jeweiligen Maßnahmen, also deren Auswirkungen auf den Betrieb. Dies hat zur Folge, dass Maßnahmen mit hoher grauer Energie aber auch hoher Effektivität (wie die Integration einer PV-Anlage) nicht gefördert werden. Durch diese Vernachlässigung des Betriebs entsteht eine hohe Gefahr der Fehlförderung und es lässt sich keine Empfehlung ableiten.

Tabelle 12: Übersicht der Vor- und Nachteile der gebäudebezogenen Grenzwert-Fördersystematik Option 1

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> + einfacher Nachweis + einfache Grenzwerte 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Betrachtung der Effektivität der Maßnahme - Maßnahmen wie PV-Integration, oder hoher Dämmstandard werden „bestraft“. - Kein direkter Vergleich von Neubau und Sanierung
<p>Keine Empfehlung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zu große Diversität zwischen Sanierung und Neubau • Gefahr der Fehlförderung, da Effekt (Betrieb) nicht abgebildet wird 	

Als Abwandlung dieser Option (**Option 1b**) können die Grenzwerte zusätzlich in Abhängigkeit des Energiestandards formuliert werden. Dies erlaubt eine eingeschränkte Berücksichtigung des Betriebs (siehe Abbildung 29).

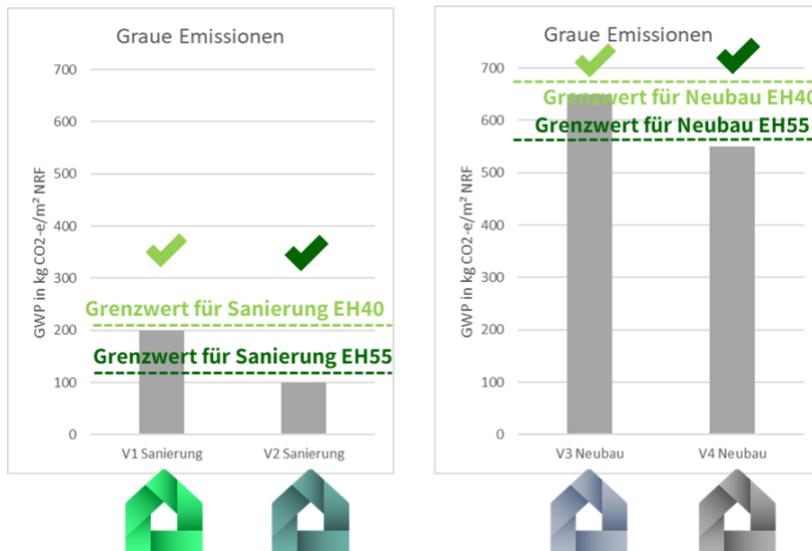


Abbildung 29: Beispielhafte Darstellung der Fördermöglichkeit Option 1b

Der Fokus auf den EH-Standard kann den Betrieb jedoch nicht vollständig repräsentieren. Insbesondere eine PV-Anlage kann damit nicht berücksichtigt werden. Darüber hinaus bleibt das Problem der getrennten Grenzwerte für Neubau und Sanierung bestehen. Zudem würde es zu mehreren Grenzwerten führen, die zum einen ermittelt werden müssten und zum anderen in der Praxis schnell unübersichtlich werden können.

Tabelle 13: Übersicht der Vor- und Nachteile der gebäudebezogenen Grenzwert-Fördersystematik Option 1b

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> + einfacher Nachweis + Betrachtung des Energiestandards 	<ul style="list-style-type: none"> - Kein Vergleich von Neubau und Sanierung - EH-Energiestandard muss zusätzlich berechnet werden (Primärenergie) - Einzelmaßnahmen nicht abgedeckt.
Keine Empfehlung	
<ul style="list-style-type: none"> • Fokus auf Dämmstandard kann andere Effekte nicht abdecken (PV) • Gefahr der Fehlförderung, da Effekt (Betrieb) nicht abgebildet wird 	

Eine zweite Option (**Option 2**) für den Grenzwertansatz berücksichtigt neben der grauen Energie der Maßnahme auch die Emissionen im Betrieb. Dafür werden beide Werte auf Nettoraumfläche und Jahr normiert (siehe Abbildung 30).

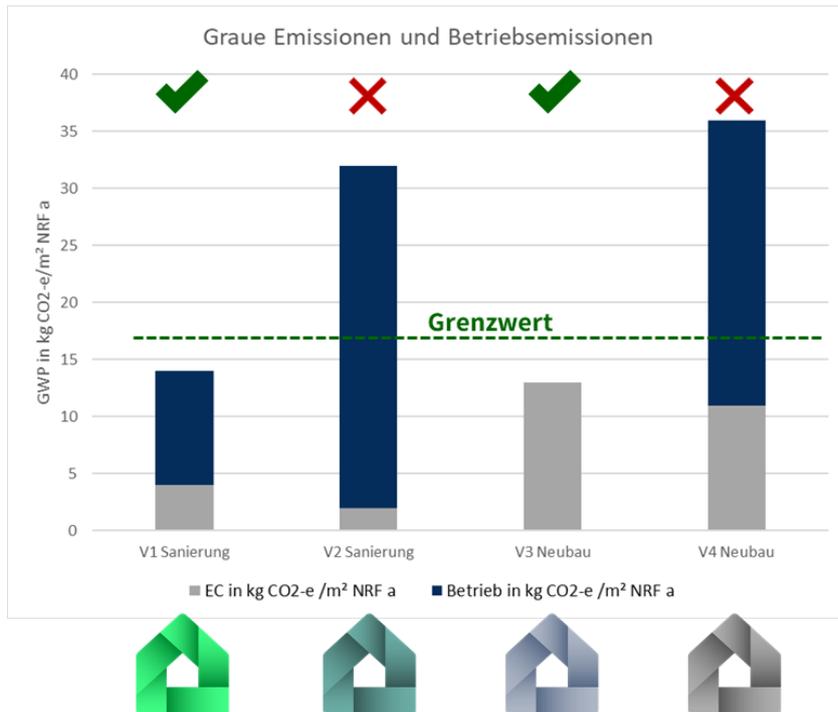


Abbildung 30: Beispielhafte Darstellung der Fördermöglichkeit Option 2

Dieser Ansatz kann durch eine direkte Berücksichtigung des Betriebs auch die lokale Stromproduktion durch z.B. eine PV-Anlage berücksichtigen. Es ist hier auch möglich, einen Grenzwert für sowohl Sanierung als auch Neubau zu definieren. Da diese Option dem Vorgehen des QNG entspricht, ist eine Abgrenzung nötig, um eine Doppelförderung zu vermeiden.

Da die Grauen Emissionen hier nur signifikant sind, wenn im Betrieb nur geringe Emissionen verursacht werden, kann diese Fördermöglichkeit die grauen Emissionen nur teilweise berücksichtigen. Daher kann nur eine eingeschränkte Empfehlung dieser Fördermöglichkeit ausgesprochen werden.

Tabelle 14: Übersicht der Vor- und Nachteile der gebäudebezogenen Grenzwert-Fördersystematik Option 2

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> + Berücksichtigung der Effektivität der Maßnahme + Verwendung bereits bestehender Systematik (QNG/BEG-Förderung) 	<ul style="list-style-type: none"> - Lebensdauer wird im Vorfeld festgelegt, kann aber nicht verifiziert werden - Betrieb ohne Dekarbonisierung dominiert die Ergebnisse - Statische Berechnung der Betriebsemissionen (Verzerrung)
<p>Eingeschränkte Empfehlung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Für Berücksichtigung der Grauen Emissionen, ambitionierte Grenzwerte im Betrieb notwendig • Abgrenzung notwendig, um Doppelförderung zu vermeiden 	

Performanceansatz

Mithilfe eines Performance-basierten Ansatzes erfolgt eine Beurteilung des Aufwandes im Verhältnis zu dessen Auswirkungen. Der Nutzen kann somit auf lange Sicht berücksichtigt werden. Für eine Förderung kann beispielsweise der Amortisationszeitpunkt der Maßnahme gegenüber einer Referenz, z.B. dem ursprünglichen Gebäude, als Indikator verwendet werden. Dies wird beispielhaft in Abbildung 31 für eine Maßnahme im Vergleich zum Bestand dargestellt.

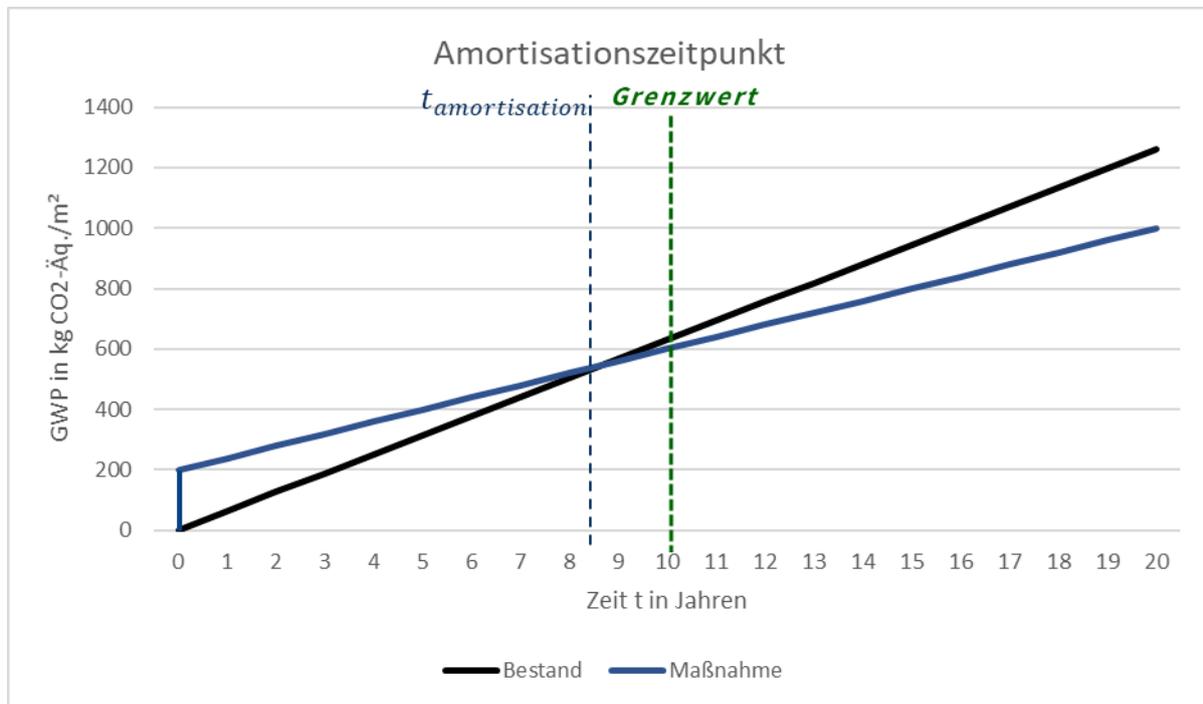


Abbildung 31: Amortisation einer Maßnahme gegenüber dem Bestand

Der Amortisationszeitpunkt $t_{\text{amortisation}}$ berechnet sich mit der Annahme konstanter Betriebsmissionen je Jahr wie folgt:

Formel 1: Berechnung des Amortisationszeitpunktes

$$t_{\text{amortisation}} = \frac{\text{Graue Emissionen}}{(\text{Betriebsemissionen vor Maßnahme}) - (\text{Betriebsemissionen nach Maßnahme})}$$

Die Grauen Emissionen sind dabei die Emissionen der Maßnahme für die Module A1-A3 und C3-C4 in kg CO₂-e/m²_{NRF}. Die Betriebsemissionen vor bzw. nach der Maßnahme (Modul B6) werden in kg CO₂-e/(m²_{NRF}*a) angegeben.

Die Grauen Emissionen müssen im Zuge dessen mithilfe einer Ökobilanz bestimmt werden, während die Berechnung der Betriebsemissionen basierend auf der Methodik der Ökobilanzierung, allerdings vereinfacht unter zu Hilfenahme ergänzender Nachweise wie Gebäudeausweisen erfolgen kann.

Option 3 definiert einen Grenzwert für den Amortisationszeitpunkt, welcher für eine Förderung unterschritten sein muss. Dabei wird jeweils der Bestand als Referenz genommen (siehe Abbildung 32).

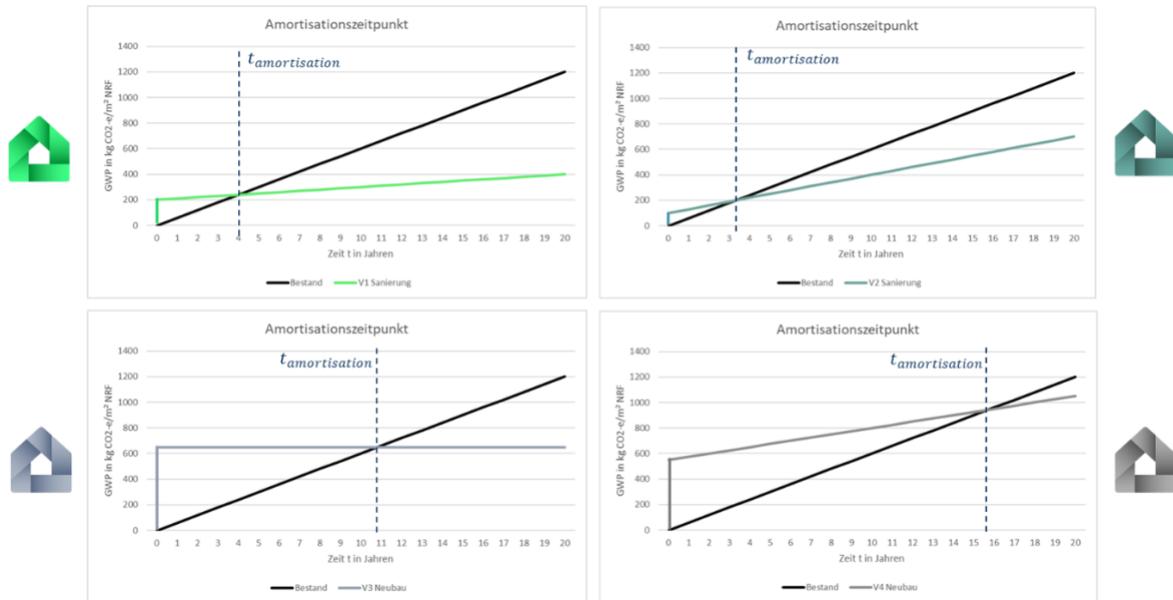


Abbildung 32: Beispielhafte Darstellung der Fördermöglichkeit Option 3

Diese Fördermöglichkeit erlaubt einen direkten Vergleich von Neubau und Sanierung. Zudem kann die Wirksamkeit der Maßnahme berücksichtigt werden. Durch die zeitliche Betrachtung werden die grauen Emissionen im Vergleich zu Option 2 zudem stärker in den Fokus gesetzt. Da die Grenzwerte hierfür noch nicht in anderen Studien bestimmt wurden, müssten sie zusätzlich ermittelt werden. Dieser Nachweis kann mit einem erhöhten Aufwand für Antragstellende einhergehen. Um diese Hürde so gering wie möglich zu halten wird dieser Ansatz in Kapitel 5 mittels eines Förderwerkzeugs aufbereitet.

Tabelle 15: Übersicht der Vor- und Nachteile der gebäudebezogenen Performance-Fördersystematik Option 3

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> + Berücksichtigung der Effektivität der Maßnahme + direkter Vergleich von Neubau und Sanierung + Verhältnis von Aufwand und Nutzen (Effizienz) 	<ul style="list-style-type: none"> - Mehraufwand in der Ermittlung der Grenzwerte - Mehraufwand in der Berechnung durch die Antragstellenden
Eingeschränkte Empfehlung	
<ul style="list-style-type: none"> • Gute Vergleichbarkeit von Maßnahmen • Kein Vergleich der Langzeitperformance (gesamte Emissionen im Lebenszyklus) möglich 	

Evaluierung bestehender Fördermaßnahmen zu Nachwachsenden Rohstoffen

Die Förderung von nachwachsenden Rohstoffen auf Basis der eingesetzten Massen bietet die Möglichkeit sowohl effektiv als auch effizient eine Förderung aufzusetzen. Da aufgrund der Tatsache, dass der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen im Bauwesen eine Reduktion der Grauen Emissionen erzielt sowie einen effektiven Beitrag zum nationalen Kohlenstoffspeicher durch die Verwendung von Holzwerkstoffen liefert, lässt sich der pauschale Förderansatz gut begründen. Auch wenn keine gezielte Förderung der Höhe dieser Effekte gewährleistet ist, wurden dennoch die Maßnahmen (Bodenbeläge, Innentüren, etc.), die ein Untergraben der Förderidee bezwecken könnten (durch geringe Effekte und hohe Fördersummen) effektiv ausgeschlossen.

📌 Zusammenfassung Kapitel 4.2

Welche bestehenden Zertifizierungssysteme definieren Grenzwerte für Emissionen im Lebenszyklus für Neubau und Sanierung?

Das QNG Siegel QNG-PLUS wird bei GWP-Emissionen (Lebenszyklusmodule A1-3; B4; B6; C3-4) von $\leq 28 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqu.}/\text{m}^2_{\text{NRF}}$ a vergeben, für QNG-PREMIUM muss ein Grenzwert von $\leq 20 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqu.}/\text{m}^2_{\text{NRF}}$ a eingehalten werden. Der Nachweis kann auch für die BEG-Förderung verwendet werden.

Welche Ansätze können für eine Förderung von Grauen Emissionen betrachtet werden?

Im Rahmen dieses Gutachtens werden zwei Förderansätze analysiert: Grenzwertbasiert und Performancebasiert. Wir empfehlen einen Ansatz, der sowohl die Grauen Emissionen als auch die daraus resultierenden Betriebsemissionen berücksichtigt, um die Effektivität der Maßnahme zu beurteilen.

Wie wird das bestehende Förderprogramm bezüglich Nachwachsender Rohstoffe bewertet?

Die Förderung von nachwachsenden Rohstoffen auf Basis der eingesetzten Massen bietet eine vereinfachte Möglichkeit sowohl effizient als auch grundsätzlich effektiv eine Förderung aufzusetzen, allerdings ohne die Wirkung der Maßnahme adäquat abzubilden.

4.3 Förderkonzepte Ressourceneinsatz

[Verfasser: Concular]

Zirkuläres Bauen

Grundlegend wären einzelne Förderrichtlinien oder Verordnungen für zirkuläres Bauen, der Nutzung zirkulierter und zirkulärer Materialien hilfreich, um die Kreislauffähigkeit von Materialien zu steigern und im Sinne lokaler Wertschöpfung zu verankern.

Durch eine Verlängerung des Lebens bzw. weiterer Lebenszyklen von Materialien und Bauteilen in neuen Gebäuden wird die sonst notwendige Herstellung neuer Materialien und Bauteile substituiert, sprich Emissionen und Ressourcen eingespart und Abfall vermieden.

Dieser Substitutionswert kann durch den Vergleich mit neuen Baustoffen, sowie unter Berücksichtigung von zusätzlichen Emissionen durch selektiv-werterhaltenden Rückbau, Transport, Aufbereitung und Einbau, berechnet werden und als Einsparung Grauer Emissionen gewertet werden.

Dadurch entsteht eine Verringerung des ökologischen Fußabdrucks des nachfolgenden Gebäudes, wo diese Materialien ihre Zweit- oder Mehrfach-Nutzung erzielen.

Förderung “Ressourcenverbrauch und Abfall”

Für die Zirkularität kann der Einsatz von wiedergewonnenen und zirkulären Bauteilen und Materialien gefördert werden, als auch die Rückbaufreundlichkeit (Design for disassembly) im Gebäude. Eine gute Grundlage für die Bemessung bietet dafür der DGNB Kriterienkatalog Gebäude Neubau, TEC1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit, siehe https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-system/de/gebaeude/neubau/kriterien/05_TEC1.6_Rueckbau-und-Recyclingfreundlichkeit.pdf

Verordnungen zum Thema Rückbaufreundlichkeit finden wir u.a. im Berliner VwVBU im Sinne eines Recyclingkonzepts:

“Zur Gewährleistung eines umfassenden Recyclings im Rahmen der Kreislaufführung der Produkte und Materialien ist für Neubauten ein Recyclingkonzept zu entwickeln, das beschreibt, wie bei einem zukünftigen Rückbau des Gebäudes zu verfahren ist. Die Bauteilaufbauten sind in Schnittzeichnungen darzustellen, aus denen die Schichtenfolge und die eingebauten Materialien eindeutig hervorgehen. Es ist festzuhalten, ob und wie eine sortenreine Trennung beim Rückbau möglich ist. Für alle Bestandteile ist nach heutigem Stand der Technik ein Vorschlag zur Verwertung zu machen. Das Recyclingkonzept ist zu dokumentieren.”

Grundsätzlich ist für alle öffentlichen - und zukünftig auch allen anderen Gebäuden - der BNB Leitfaden 2015 (Auflage 2019), anzuwenden worin u.a. steht:

“Im Bauwesen ist der Schutz der natürlich vorkommenden Ressourcen durch folgende Maßnahmen voranzubringen: baustoffliche Ressourcen, Verlängerung der Nutzungsdauer von Produkten, Baukonstruktionen und Gebäuden, Einsatz wiederverwendbarer oder -verwertbarer Bauprodukte/Baustoffe. [...]”

https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/publikationen/BBSR_LFNB_D_190125.pdf

Als förderrelevante Aspekte für Neubau können gesehen werden:

1. Materialpass auf Bauteilebene
2. Rückbaukonzept

3. Massenbasierte Reuse-/Recycling-Quote beim Bau z.B. 30% (Berlin) oder 50% (EU Circular Economy Package: 15% Reuse, 15% Recycling, 20% erneuerbare Materialien)
4. Reuse/Recycling-Quote beim Rückbau z.B. 90% (erhaltene Masse) + 80% (erhaltener €-Wert)

5 Entwicklung und Validierung eines Förderwerkzeugs

Aufbauend aus der Diskussion verschiedener Förderkonzepte wird der Performance-basierte Ansatz im Folgenden weiterentwickelt, um eine Diskussions-Grundlage für eine Umsetzung und Fördersystematik zu schaffen.

Der Performance-basierte Ansatz eignet sich besonders dafür das Förderziel „Minimierung der Grauen Emissionen bei Sanierungen und im Neubau“ zu erreichen, ohne dabei einen negativen Effekt auf die Betriebsphase oder Fehlanreize auszulösen. Folgende Aussagen können mit dem Ansatz erreicht werden und sollen im Folgenden in ihren Grundzügen validiert werden:

- Maßnahmen mit geringen Grauen Emissionen (z.B. Sanierung) erreichen im Vergleich zu Maßnahmen mit hohen Grauen Emissionen (Abriss und Neubau) allgemein einen früheren Amortisationszeitpunkt
- Maßnahmen mit erhöhten Grauen Emissionen aufgrund von Maßnahmen, die einen optimierten Betrieb ermöglichen (Erneuerbare Energien, PV, hoher Dämmstandard) können im Vergleich dennoch einen früheren Amortisationszeitpunkt erreichen.

5.1 Entwicklung eines Förderwerkzeugs

[Verfasser: CAALA]

Begleitend zur theoretischen Ausarbeitung der Fördermöglichkeiten wurde ein einfaches Excel-Tool entwickelt, das den Effekt des Performance-basierten Ansatzes veranschaulicht und sowohl verschiedene Szenario-Betrachtungen zulässt als auch einen ersten Entwurf als Förderwerkzeug zulässt. Bei der Entwicklung wurde auf eine einfache Umsetzung geachtet, um einen breiten Anwenderkreis anzusprechen und eine Akzeptanz in der Anwendung zu erzielen.

Als notwendigen Input (**rot** markiert) für den Performance-basierten Ansatz dienen drei Eingangsgrößen:

- Eine Flächeneingabe der Bezugsfläche (hier NRF) [in m²]
- Der Energieverbrauch des Bestandgebäudes [in MWh/a] für Wärme (Heizen, Kühlung und Warmwasser) und Strom (Lüftung, Beleuchtung, Hilfstrom und Nutzerstrom), inkl. Auswahl des Energieträgers
- Der Energiebedarf der geplanten Maßnahme (ob Sanierung oder Neubau) [in MWh/a] für Wärme (Heizen, Kühlung und Warmwasser) und Strom (Lüftung, Beleuchtung, Hilfstrom und Nutzerstrom), inkl. Auswahl des Energieträgers
- Die grauen Emissionen der geplanten Maßnahme [in t-CO₂-Äq.]

Optional lassen sich folgende Inputparameter ergänzen oder ersetzen:

- Auswahl eines Dekarbonisierungsszenario das die dynamische Entwicklung der Strom- und Fernwärmeerzeugung abbildet.
- Eingabe des relativen Energieverbrauchs/-bedarfs [in kWh/m²]
- Eingabe alternativer Flächenangaben, die ggf. umgerechnet werden können (z.B. BGF / WF).

Als Output (**grün** markiert) erhält man die folgenden Informationen:

- Den Amortisationszeitpunkt in Jahren nach der Maßnahme [in a]
- Das voraussichtliche Jahr der Amortisation mit Abschluss der Maßnahme im Jahr 2022
- Die voraussichtliche Einsparung an absoluten Emissionen nach 30 Jahren gegenüber dem Bestandsfall [in t-CO₂-Äq.]
- Graphische Ausgabe der Amortisationsberechnung zwischen Bestand und geplanter Maßnahme

Die Option der Eingabe der Energiedaten in absoluten Werten [in MWh/a] für Wärme und Strom oder als relative Werte [kWh/m²a] bedingt konsistente Flächenbezüge. Mit der Eingabe der Bezugsfläche in Kombination mit den absoluten Energiewerten kann gewährleistet werden, dass die relativen Bezüge sich immer auf die gleiche Fläche beziehen. Häufig können die Flächenangaben in Art (Brutto-Grundfläche, Netto-Raumfläche, Nutzfläche, Energiebezugsfläche etc.) und in der Höhe (aufgrund unterschiedlicher Rechnungsansätze) variieren. Ein einheitlicher Flächenbezug aller relevanten Werte (Energieverbrauch, -bedarf und Graue Emissionen) ist notwendig, um eine Verfälschung der Ergebnisse auszuschließen.

Der **Energieverbrauch des Bestandgebäudes** kann auf verschiedene Weisen nachgewiesen werden. Die erste Option ist über einen vorliegenden Energieausweises („Verbrauchsausweis“), der in vielen Fällen vorliegt. Um die Aktualität der Verbrauchsdaten zu gewährleisten, kann beispielsweise eine Frist für das Alter des Energieausweises vorgegeben werden. Die Kosten für die Erstellung eines Energieausweises auf Basis von Verbrauchsdaten sind i.d.R. auch nicht sehr hoch. Alternativ kann als zweite Option auch der Verbrauch der letzten 3 Jahre anerkannt werden, was allerdings mit einem erhöhten Prüfaufwand einhergeht. Es ist darauf zu achten, dass im Sinne der Berechnungsregeln des QNG Systems der Nutzerstrom ebenfalls mit abgebildet wird, d.h. wenn Verbrauchsdaten hierfür vorliegen können entweder diese anerkannt werden, oder als Inputgröße die 20 kWh/m²_{NRFa} gemäß QNG (für Wohngebäude; Nicht-Wohngebäude gemäß TEK des IWU) angesetzt werden.

Eingabe: Eingabe des Energieverbrauchs durch Antragssteller

Nachweis: Energieverbrauchsausweis

Der **Energiebedarf der geplanten Maßnahme** (ob Sanierung oder Neubau) kann ebenfalls auf Grundlage eines Energieausweises („Bedarfsausweis“) erfolgen. Da die Maßnahme in der Zukunft erfolgen soll und daher kein Verbrauch im Vorfeld nachgewiesen werden kann, muss auf eine Bedarfsberechnung zurückgegriffen werden. Die Berechnungsmethodik für die Energiebedarfsberechnung (z.B. nach DIN 18599) ist anerkannter Stand der Technik und die Erstellung eines Energiebedarfsausweises ist im Laufe der Planung verpflichtend, weshalb diese Eingabe keine Hürde darstellt. Für den Nutzerstrombedarf kann als Inputgröße 20 kWh/m²_{NRFa} gemäß QNG (für Wohngebäude; Nicht-Wohngebäude gemäß TEK des IWU) angesetzt werden.

Eingabe: Eingabe des Energiebedarfs durch Antragssteller

Nachweis: Energiebedarfsausweis

Projekt:

1. **NRF:** m² Dekarbonisierung:

Aktueller Verbrauch im Bestand

2. **Wärme:** MWh/a **Energieträger:** 180,00 kWh/m²a
Strom: MWh/a **Energieträger:** 20,00 kWh/m²a

Berechneter Bedarf nach Sanierung bzw. bei einem Neubau

3. **Wärme:** MWh/a **Energieträger:** 60,00 kWh/m²a
Strom: MWh/a **Energieträger:** 20,00 kWh/m²a

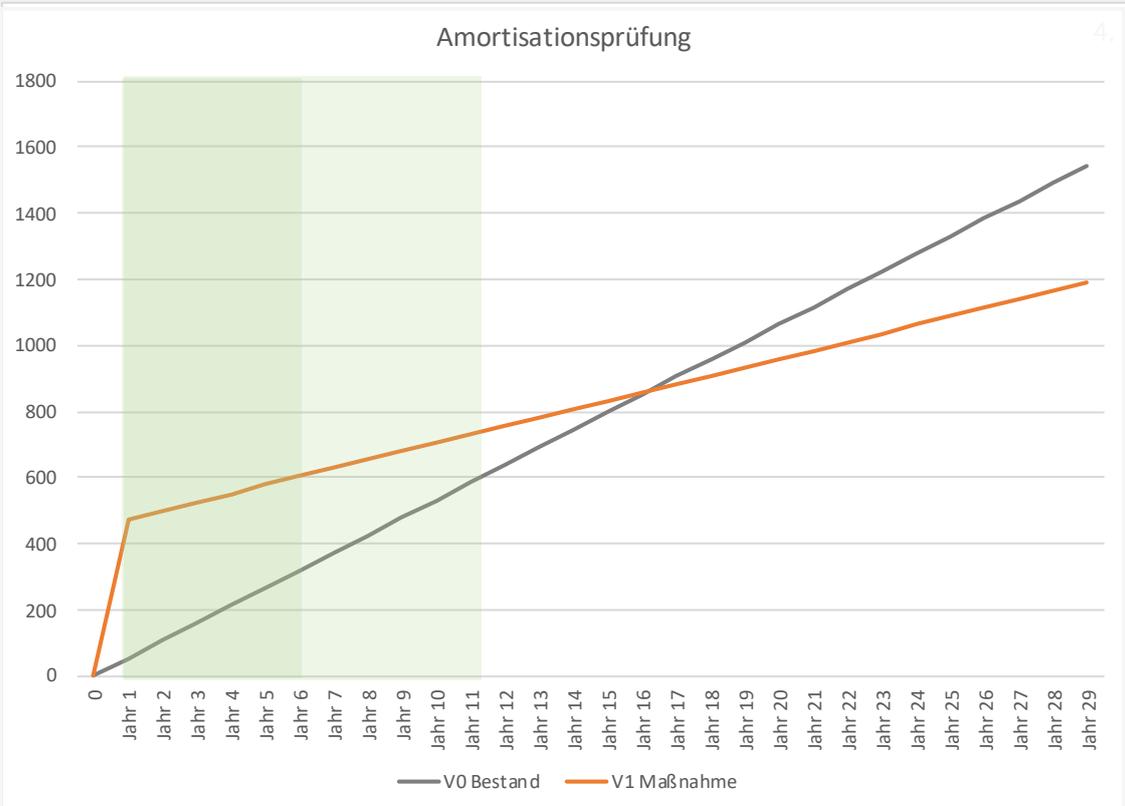
Graue Emissionen der Maßnahme
Berechnung der LC-Phasen A1-3, B4 und C3-4 gemäß DIN EN 15978 und 15804 und nach den Bilanzregeln des QNG

4. **GWP:** t-CO₂-Äq 450,00 kg-CO₂-Äq./m²

Ergebnis

Amortisation nach: Jahren **Einsparung über 30 Jahre:** t-CO₂-Äq
im Jahr:

Amortisationsprüfung



Jahr	V0 Bestand (t-CO ₂ -Äq)	V1 Maßnahme (t-CO ₂ -Äq)
0	0	0
Jahr 1	~50	~480
Jahr 2	~100	~500
Jahr 3	~150	~520
Jahr 4	~200	~540
Jahr 5	~250	~560
Jahr 6	~300	~580
Jahr 7	~350	~600
Jahr 8	~400	~620
Jahr 9	~450	~640
Jahr 10	~500	~660
Jahr 11	~550	~680
Jahr 12	~600	~700
Jahr 13	~650	~720
Jahr 14	~700	~740
Jahr 15	~750	~760
Jahr 16	~800	~780
Jahr 17	~850	~800
Jahr 18	~900	~820
Jahr 19	~950	~840
Jahr 20	~1000	~860
Jahr 21	~1050	~880
Jahr 22	~1100	~900
Jahr 23	~1150	~920
Jahr 24	~1200	~940
Jahr 25	~1250	~960
Jahr 26	~1300	~980
Jahr 27	~1350	~1000
Jahr 28	~1400	~1020
Jahr 29	~1450	~1040

Abbildung 33: Screenshot des Excel-Tools zur Bestimmung des Amortisationszeitpunktes

Die **grauen Emissionen der geplanten Maßnahme** müssen separat ermittelt und eingegeben werden. Der Eingabewert ist das Ergebnis einer Ökobilanzierung. Die Ökobilanzierung umfasst die Grauen Emissionen der Maßnahme gemäß den Berechnungsregeln des QNG. Damit sind die Lebenszyklusphasen A1-A3, B4 und C3-C4 abgedeckt. Da mit dem QNG-System bereits ein umfassender Berechnungsrahmen und entsprechende Bilanzierungsregeln definiert wurden, wird dringend empfohlen auf dieser Grundlage aufzubauen und diese zu verwenden. Der Vorteil liegt in den zukunftsweisenden und hohen Synergieeffekten, die eine Nutzung der QNG-Systematik mit sich bringt. Der erhöhte Nachweisaufwand begründet sich in der Notwendigkeit, dass für eine Beurteilung des Aufwands an Grauen Emissionen und einer potenziellen Förderung, kein Weg an der Ermittlung der Grauen Emissionen vorbeiführt. Außerdem wird sich aus Sicht der Gutachtersteller die Methode der Ökobilanzierung in Zukunft als Werkzeug in der Praxis für die Weiterentwicklung der Bundesförderung (BEG) und ggf. auch im Rahmen der Gesetzgebung (GEG) durchsetzen müssen, um die klimapolitischen Ziele effektiv anzugehen.

Eingabe: Eingabe der grauen Emissionen durch Antragssteller

Nachweis: Dokumentation der Ökobilanzierung

Auf Grundlage der Eingabeparameter kann das Excel-Tool in Verbindung mit der hinterlegten ÖKOBAUDAT-Datenbank für Energieträger die Emissionen im Betrieb (B6) im Sinne der QNG Bilanzierungsregeln berechnen.

Durch die Gegenüberstellung der jährlichen Betriebsemissionen im Bestand mit den Grauen Emissionen und den Betriebsemissionen der geplanten Maßnahme kann der Zeitpunkt ermittelt werden, ab dem die kumulativen Emissionen der neu geplanten Variante niedriger sein werden als für den Fall, dass der Betrieb im Bestand sich wie bisher fortsetzt.

In der Ausgabe erfolgt gemäß der „Formel 1: Berechnung des Amortisationszeitpunktes“ der Zeitpunkt und das Jahr der Amortisation sowie die prognostizierte Einsparung an GWP-Emissionen nach 30 Jahren. Die Berechnung der eingesparten GWP-Emissionen ist einerseits stark von abhängig von dem Zeitpunkt der Betrachtung, z.B. liegt i.d.R. in den ersten Jahren keine Einsparung vor und die Einsparung steigt immer mehr an je später der Betrachtungszeitpunkt gewählt wird. Außerdem gilt es bei der Berechnung die sich verändernden Randbedingungen, wie die Dekarbonisierung des deutschen Strom- und Fernwärme-Mix zu berücksichtigen, um eine adäquate Aussage über die Höhe der Einsparung zu treffen. Aufgrund der Unsicherheit der zukünftigen Entwicklung kann diese Kennzahl nur informativen Zwecken dienen und eignet sich nur bedingt für Aussagen bzgl. der Gegenüberstellung zwischen Maßnahme und Bestand.

5.2 Proof-of-Concept der Fördermethodik

[Verfasser: CAALA]

Um die eingangs genannten Aussagen zu validieren wird die Methodik des Förderwerkzeugs mit einer breiten Auswahl an Fallbeispielen getestet, um von den Berechnungen abzuleiten welche Muster und Ergebnisse zu erwarten sind.

Die Grundlage für die Fallbeispiele bilden auf der einen Seite das konkrete Beispielprojekt der Schwanthalerhöhe und auf der anderen Seite Beispiele aus der Literatur. Auf diese Weise können sowohl reale Szenarien mit der breiten Auswahl an theoretischen Möglichkeiten abgebildet werden, um sowohl realistische als auch repräsentative Fallbeispiele zu erhalten.

Die folgenden Fallbeispiele sind Teil der Betrachtung:

1. Beispielprojekt der Schwanthalerhöhe – Bestand unsaniert
 - 1.1. Sanierungsvariante – Energetische Sanierung der thermischen Hülle (GEG) – Betrieb: Gas
 - 1.2. Sanierungsvariante – Energetische Sanierung d. therm. Hülle (GEG) – Betrieb: Fernwärme
 - 1.3. Sanierungsvariante – Energetische Sanierung der thermischen Hülle (EH55) – Betrieb: Gas
 - 1.4. Sanierungsvariante – Energetische Sanierung d. therm. Hülle (EH55) – Betrieb: Fernwärme
 - 1.5. Sanierungsvariante – Energetische Sanierung der thermischen Hülle (öko) – Betrieb: Gas
 - 1.6. Sanierungsvariante – Energetische Sanierung d. therm. Hülle (öko) – Betrieb: Fernwärme
 - 1.7. Neubauvariante – Ersatzneubau (GEG) – Betrieb Gas
 - 1.8. Neubauvariante – Ersatzneubau (EH55) – Betrieb Gas
 - 1.9. Neubauvariante – Ersatzneubau (EH40) – Betrieb Gas

2. Mehrfamilienhäuser aus Mahler et al (2019) – Bestand unsaniert¹¹
 - 2.1. Sanierungsvariante – En.San. d. therm. Hülle (KfW55) – Betrieb: Gas und Solarthermie
 - 2.2. Sanierungsvariante – En.San. d. therm. Hülle (Passivhaus KfW40) – Betrieb: BHKW
 - 2.3. Sanierungsvariante – En.San. d. therm. Hülle (Nullenergie KfW55) – Betrieb: Pellets & PV
 - 2.4. Sanierungsvariante – En.San. d. therm. Hülle (KfW55) – Betrieb: Pellets & PV
 - 2.5. Sanierungsvariante – En.San. d. therm. Hülle (Passivhaus KfW55) – Betrieb: Pellets & PV
 - 2.6. Neubauvariante –Massivbau (KfW55) – Betrieb: Gas und Solarthermie
 - 2.7. Neubauvariante –Massivbau (Passivhaus KfW40) – Betrieb: Fernwärme
 - 2.8. Neubauvariante –Massivbau (Nullenergie KfW55) – Betrieb: Wärmepumpe und PV-Anlage
 - 2.9. Neubauvariante –Massivbau (Plusenergie KfW40) – Betrieb: Wärmepumpe und PV-Anlage
 - 2.10. Neubauvariante –Massivbau (KfW55) – Betrieb: Holzpellets und PV-Anlage
 - 2.11. Neubauvariante –Massivbau (Passivhaus KfW40) – Betrieb: Holzpellets und PV-Anlage
 - 2.12. Neubauvariante –Holzbau (Nullenergie KfW55) – Betrieb: Holzpellets und PV-Anlage
 - 2.13. Neubauvariante –Holzbau (Plusenergie KfW40) – Betrieb: Wärmepumpe und PV-Anlage

3. Große Mehrfamilienhäuser aus Mahler et al (2019) – Bestand unsaniert¹⁰
 - 3.1. Sanierungsvariante – En.San. d. therm. Hülle (KfW55) – Betrieb: Gas und Solarthermie

¹¹ Mahler B., Idler, S., Nusser T., Gantner J. (2019). *Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus*. Umweltbundesamt (Ed.). Dessau-Roßlau

- 3.2. Sanierungsvariante – En.San. d. therm. Hülle (Passivhaus KfW40) – Betrieb: BHKW
- 3.3. Sanierungsvariante – En.San. d. therm. Hülle (Nullenergie KfW55) – Betrieb: Pellets & PV
- 3.4. Sanierungsvariante – En.San. d. therm. Hülle (KfW55) – Betrieb: Pellets & PV
- 3.5. Sanierungsvariante – En.San. d. therm. Hülle (Passivhaus KfW55) – Betrieb: Pellets & PV

Eine detaillierte Beschreibung der Varianten des Projektbeispiels findet sich im Kapitel 3 und die Varianten aus der Literatur werden ausführlich im Projektbericht dokumentiert. Im nachfolgenden wurden die Ergebniswerte lediglich umgerechnet unter der Annahme, dass die Wohnfläche (WF) 90% der Netto-Raumfläche beträgt, um die Ergebniswerte konsistent mit der QNG-Systematik auszugeben.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Eingangsparameter, die aus dem Projektbeispiel und der Studie abgeleitet wurden, dargestellt und den Ergebnissen gegenübergestellt.

Tabelle 16: Input-Parameter der Fallbeispiele

Fallbeispiel	Graue Emissionen [kg-CO ₂ -Äq./m ²]	Betriebs-emissionen [kg-CO ₂ -Äq./m ² a]	Betrieb Wärme [kg-CO ₂ -Äq./m ² a]	Betrieb Strom [kg-CO ₂ -Äq./m ² a]	Emissionen gesamt QNG [kg-CO ₂ -Äq./m ² a]
1 – STH Bestand unsaniert – Gas	(520)	60,6	49,9	10,6	60,6
1.1 – STH Sanierung (GEG) – Gas	165	31,6	21,0	10,6	34,9
1.2 – STH Sanierung (GEG) – FW	165	26,4	15,8	10,6	29,7
1.3 – STH Sanierung (EH 55) – Gas	170	28,6	17,9	10,6	32,0
1.4 – STH Sanierung (EH 55) – FW	170	24,4	13,7	10,6	27,8
1.5 – STH Sanierung (öko) – Gas	115	28,4	17,8	10,6	30,7
1.6 – STH Sanierung (öko) – FW	115	33,1	22,5	10,6	35,4
1.7 – STH Ersatzneubau (EH 40) – FW	565	21,7	11,1	10,6	33,0
1.8 – STH Ersatzneubau (EH 40) – WP	565	21,3	10,3	10,6	32,6
1.9 – STH Ersatzneubau (amb.) – WP + PV	702	6,8	4,8	2,0	20,8
2 – MFH unsaniert – Gas	-	51,3	39,6	11,7	51,3
2.1 – MFH Sanierung (EH 55) – Gas + ST	135	26,1	14,4	11,7	28,5
2.2 – MFH Sanierung (EH 55) – BHKW	135	21,6	18,0	3,6	24,0
2.3 – MFH Sanierung (EH 55) – Pellets + PV	225	3,6	2,7	0,9	7,7
2.4 – MFH Sanierung (EH 55) – Pellets + PV	180	4,5	3,6	0,9	7,7
2.5 – MFH Sanierung (EH 55) – Pellets + PV	225	5,4	4,5	0,9	9,5
2.6 – MFH Neubau m. (EH 55) – Gas + ST	540	27,0	15,3	11,7	36,7
2.7 – MFH Neubau massiv (EH 40) – FW	585	25,2	13,5	11,7	35,7
2.8 – MFH Neubau m. (EH 55) – WP + PV	630	5,4	-	5,4	16,7
2.9 – MFH Neubau m. (EH 40) – WP + PV	720	1,8	-	1,8	14,8

2.10 – MFH Neubau m. (EH 55) – Pellets + PV	675	0,0	4,5	-4,5	12,2
2.11 – MFH Neubau (EH 55) – Pellets + PV	675	-0,9	4,5	-5,4	11,3
2.11 – MFH Neu. Holz (EH 55) – Pellets + PV	360	-0,9	3,6	-4,5	5,6
2.12 – MFH Neubau Holz (EH 40) – WP + PV	450	1,8	-	1,8	9,9
3 – GMH unsaniert – Gas	-	52,2	36	16,2	52,2
3.1 – GMH Sanierung (EH 55) – Gas + ST	135	18,0	12,6	5,4	20,4
3.2 – GMH Sanierung (EH 55) – BHKW	135	23,4	15,3	8,1	25,8
3.3 – GMH Sanierung (EH 55) – Pellets + PV	180	12,6	2,7	9,9	15,8
3.4 – GMH San. (EnEV2016) – Pellets + PV	135	12,6	2,7	9,9	15,0
3.5 – GMH Sanierung (EH 55) – Pellets + PV	180	13,5	3,6	9,9	16,7
3.6 – GMH Sanierung (EH 55) – Pellets + PV	180	12,6	2,7	9,9	15,8

Die Eingangsgrößen für das Projektbeispiel weisen ähnliche Relationen auf, so dass z.B. eine Sanierung zwischen 100 und 200 kg-CO₂-Äq./m² benötigt und der Neubau im Bereich zwischen 360 und 720 kg-CO₂-Äq./m². Auffallend ist, dass alle Neubauvarianten mit PV-Anlage, ein Gesamtergebnis unter den QNG-Anforderungswerten (Premium: 20,0 kg-CO₂-Äq./m²a) vorweisen kann. Gegebenenfalls gilt es zu prüfen, ob die Berechnungsmethodik für die PV-Anlage sich an die QNG-Systematik hält.

Aufbauend auf diesen Eingangsgrößen ergeben sich die nachfolgenden Amortisationszeitpunkte. Da der Amortisationszeitpunkt stark abhängig von dem im Vergleich stehenden Bestandsfall ist („je höher die Betriebsemissionen im Bestand, desto früher eine mögliche Amortisation.“) werden verschiedene Vergleichsszenarien angesetzt. Neben dem spezifischen Bestandsfall für das Projektbeispiel und die Beispiele der Studie, werden fiktive Vergleichsfälle ergänzend betrachtet, bei den der Bestand in einem jüngeren Zustand (40 kg-CO₂-Äq./m²a) und einem Neubau ähnlichen Zustand (30 kg-CO₂-Äq./m²a) bzgl. der Betriebsemissionen betrachtet wird.

Tabelle 17: Amortisationszeitpunkte der Sanierungs- und Neubauvarianten für das Beispielprojekt

Fallbeispiel Beispielprojekt	Amortisation [a] gegenüber Bestand mit...		
	...unsanierten Zustand (61 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)	...jüngeren Zustand (40 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)	...Neubau Zustand (30 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)
1.1 – STH Sanierung (GEG) – Gas	5,7	19,7	k. Amortisation
1.2 – STH Sanierung (GEG) – FW	4,8	12,1	45,9
1.3 – STH Sanierung (EH 55) – Gas	5,3	14,9	k. Amortisation
1.4 – STH Sanierung (EH 55) – FW	4,7	10,9	30,2
1.5 – STH Sanierung (öko) – Gas	3,5	9,3	73,0
1.6 – STH Sanierung (öko) – FW	3,1	7,2	k. Amortisation

1.7 – STH Ersatzneubau (EH 40) – FW	14,6	30,9	68,4
1.8 – STH Ersatzneubau (EH 40) – WP	14,4	30,2	64,8
1.9 – STH Ersatzneubau (amb.) – WP + PV	13,0	21,0	29,9

Die Ergebnisse für das Beispielprojekt werden farblich gekennzeichnet, wenn die Amortisation innerhalb von 5 Jahren, oder innerhalb von 10 Jahren erfolgt. Anhand dieser Kennzeichnung ist es einfach nachzuvollziehen, dass die Sanierungsvarianten alle sich gegenüber dem aktuellen Ist-Zustand des Bestandes entsprechend amortisieren. Würde der Bestand nicht derart schlecht dastehen, würden sich innerhalb von 10 Jahren lediglich die beiden Sanierungsvarianten, die geringere Graue Emissionen aufweisen (1.5/1.6), amortisieren. Die Neubauvarianten amortisieren sich gegenüber dem Bestand nicht innerhalb von 10 Jahren, da der Aufwand an Grauen Emissionen der Maßnahme nicht von der Reduktion der Emissionen im Betrieb kompensiert werden kann.

Tabelle 18 Amortisationszeitpunkte der Sanierungsvarianten für das Typengebäude MFH

Fallbeispiel Mehrfamilienhäuser (Sanierung)	Amortisation [a] gegenüber Bestand mit...		
	...unsanierten Zustand (51 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)	...guten Zustand (40 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)	...Neubau-Zustand (30 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)
2.1 – MFH Sanierung (EH 55) – Gas + ST	5,4	9,7	34,6
2.2 – MFH Sanierung (EH 55) – BHKW	4,5	7,3	16,1
2.3 – MFH Sanierung (EH 55) – Pellets + PV	4,7	6,2	8,5
2.4 – MFH Sanierung (EH 55) – Pellets + PV	3,8	5,1	7,1
2.5 – MFH Sanierung (EH 55) – Pellets + PV	4,9	6,5	9,1

Im Vergleich zum Beispielprojekt steht das Typengebäude MFH ähnlich gut da, was die Sanierungsvarianten darstellt: Bis auf die am wenigsten ambitionierte Sanierungsvariante 2.1. amortisieren sich alle Sanierungsvarianten in weniger als 5 Jahren. Auch wenn das Bestandsgebäude nicht so schlecht dastehen würde, würden alle Sanierungsvarianten immer noch innerhalb von 10 Jahren sich amortisieren. Selbst bei einem Bestand mit Betriebsemissionen vergleichbar mit einem Neubau würden sich die Maßnahmen mit ergänzender erneuerbarer Stromgewinnung (PV) sogar innerhalb von 10 Jahren amortisieren.

Tabelle 19: Amortisationszeitpunkte der Sanierungsvarianten für das Typengebäude GMH

Fallbeispiel große Mehrfamilienhäuser (Sanierung)	Amortisation [a] gegenüber Bestand mit...		
	...unsanierten Zustand (52 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)	...guten Zustand (40 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)	...Neubau-Zustand (30 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)
3.1 – GMH Sanierung (EH 55) – Gas + ST	3,9	6,1	11,3
3.2 – GMH Sanierung (EH 55) – BHKW	4,7	8,1	20,5

3.3 – GMH Sanierung (EH 55) – Pellets + PV	4,5	6,6	10,3
3.4 – GMH San. (EnEV2016) – Pellets + PV	3,4	4,9	7,8
3.5 – GMH Sanierung (EH 55) – Pellets + PV	4,7	6,8	10,9
3.6 – GMH Sanierung (EH 55) – Pellets + PV	4,5	6,6	10,3

Die Ergebnisse des Typengebäude GMH verhalten sich analog zu den bisherigen Sanierungsvarianten, obwohl – bezogen auf die Grundfläche – die Möglichkeit PV-Strom am Gebäude zu erzeugen eingeschränkter sind.

In Ergänzung zu den bisherigen Vergleichsfällen werden die Neubauvarianten des Typengebäudes MFH mit den gleichen Szenarien verglichen.

Tabelle 20: Amortisationszeitpunkte der Neubauvarianten für das Typengebäude MFH

Fallbeispiel Mehrfamilienhäuser (Abriss und Neubau)	Amortisation [a] gegenüber Bestand mit...		
	...unsanierten Zustand (51 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)	...guten Zustand (40 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)	...Neubau-Zustand (30 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)
2.6 – MFH Neubau m. (EH 55) – Gas + ST	22,2	41,5	k. Amortisation
2.7 – MFH Neubau massiv (EH 40) – FW	22,4	39,5	k. Amortisation
2.8 – MFH Neubau m. (EH 55) – WP + PV	13,7	18,2	25,6
2.9 – MFH Neubau m. (EH 40) – WP + PV	14,5	18,8	25,5
2.10 – MFH Neubau m. (EH 55) – Pellets + PV	13,2	16,9	22,5
2.11 – MFH Neubau (EH 55) – Pellets + PV	12,9	16,5	21,8
2.12 – MFH Neu. Holz (EH 55) – Pellets + PV	6,9	8,8	11,7
2.13 – MFH Neubau Holz (EH 40) – WP + PV	9,1	11,8	16,0

Die Ergebnisse zeigen, dass sich ein Abriss und Neubau des Typengebäudes gegenüber dem Bestands-Szenario lediglich in den Fällen unter der 10 Jahre-Marke liegen, bei dem die Grauen Emissionen durch den Einsatz der Holzbauweise reduziert und die Betriebsemissionen nahezu klimaneutral gehalten werden konnten (2.12/2.13). Für das Szenario, bei dem Klimaneutralität im Betrieb in Kombination mit geringen Grauen Emissionen (2.12) erzielt wurde, würde sich aus reiner Emissionsperspektive die Maßnahme sogar innerhalb von 10 Jahren gegenüber einem jüngeren Bestands-Szenario amortisieren. In allen anderen Fällen würde sich ein Neubau erst spät oder gar nie amortisieren.

Tabelle 21: Amortisationszeitpunkte der Neubauvarianten gegenüber einer Sanierung für das Typengebäude MFH

Fallbeispiel Mehrfamilienhäuser (Abriss und Neubau)	Amortisation [a] gegenüber Bestand mit...	
	... 2.1 sanierten Zustand (2.1) (26,1 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)	... 2.5 ambitionierter Sanierung (5,4 kg-CO ₂ -Äq./m ² a)
2.6 – MFH Neubau m. (EH 55) – Gas + ST	k. Amortisation	k. Amortisation
2.7 – MFH Neubau massiv (EH 40) – FW	k. Amortisation	k. Amortisation
2.8 – MFH Neubau m. (EH 55) – WP + PV	23,9	k. Amortisation
2.9 – MFH Neubau m. (EH 40) – WP + PV	24,1	k. Amortisation
2.10 – MFH Neubau m. (EH 55) – Pellets + PV	20,7	83,3
2.11 – MFH Neubau (EH 55) – Pellets + PV	20,0	71,4
2.12 – MFH Neu. Holz (EH 55) – Pellets + PV	8,3	21,4
2.13 – MFH Neubau Holz (EH 40) – WP + PV	13,0	62,5

Der Vergleich der Neubauvarianten für das Typengebäude MFH mit den Sanierungsvarianten einer Standard-Sanierung (2.1) und einer ambitionierten Sanierung (2.5) zeigt, dass i.d.R. keine zeitnahe Amortisation erfolgt und sich lediglich im Ausnahmefall einer Variante mit geringen Grauen Emissionen inkl. klimaneutralen Betrieb (2.12) innerhalb von 10 Jahren amortisiert.

5.3 Fazit und Ausblick

[Verfasser: CAALA]

Diese Ergebnisse zeigen, dass Sanierungsmaßnahmen mit geringen Grauen Emissionen im Vergleich zu Maßnahmen mit (Abriss- und) Neubaumaßnahmen (mit hohen Grauen Emissionen) allgemein einen früheren Amortisationszeitpunkt erreichen. Außerdem zeigt sich der gewünschte Effekt, dass je geringer die Grauen Emissionen Maßnahmen und je geringer die Betriebsemissionen, die mit den Maßnahmen erzielt werden, desto eher erfolgt der Amortisationszeitpunkt.

Ebenfalls werden Maßnahmen mit erhöhten Grauen Emissionen aufgrund von zusätzlichem Aufwand, um einen optimierten Betrieb zu ermöglichen (Erneuerbare Energien, PV, hoher Dämmstandard) nicht automatisch schlechter abschneiden (später eine Amortisation erreichen), sondern der Effekt diesen Zusatzaufwand kompensieren kann, sofern er ausreichend hoch ausfällt.

Die in diesem Gutachten gesetzten Richtwerte von 5 und 10 Jahren sind weiter zu untersuchen und zu validieren, spiegeln allerdings bereits einen vielversprechenden Ansatz wider, womit Sanierungsmaßnahmen (5 Jahre) und Neubaumaßnahmen (10 Jahre) effektiv abgebildet werden können.

Aus Sicht der Verfasser sind darüber hinaus weitere Analysen und Berechnungen notwendig, um den Ansatz ausreichend zu validieren und unerwünschte Effekte auszuschließen. Zu den Punkten, die einer weiteren Klärung und Definition benötigen zählen:

- Der Umgang mit erneuerbaren Energien am Gebäude (PV, BHKW, etc.)
- Die Festlegung der Richtwerte, insbesondere im Sanierungsfall, wo die Amortisationszeitpunkte nah beieinander liegen
- Die Integration von Maßnahmen zur effektiven Förderung der Kreislaufwirtschaft, insbesondere die Weiterentwicklung von Indikatoren der Recyclingfähigkeit
- Die Dokumentation und Prüfung der Ökobilanzierungsergebnisse gemäß QNG im Sinne effizienter Förderprogramme
- Der Aufbau konsistenter Ergebnis-Datenbanken für zukünftige Programme, Steuerung und Maßnahmen

Trotz einer Vielzahl noch zu vertiefenden Ansatzpunkte zeigen die Ergebnisse des Gutachtens eine hohe Konsistenz sowohl zwischen spezifischen Berechnungsergebnissen (Beispielprojekt) als auch mit theoretischen Werten aus der Fachliteratur. Darüber hinaus besteht aufgrund der Dringlichkeit der Klimaproblematik, eine dringende Empfehlung einer zeitnahen Implementierung des oben beschriebenen, performance-basierten Förderansatzes. Die Methodik weist eine vielversprechende Wirkung auf und kann bereits wesentliche Fehlanreize ausschließen. Die Umsetzung kann aufgrund der bereits etablierten Eingangsgrößen (Energieausweise) und der unumgänglichen Entwicklung hin zur ganzheitlichen Ökobilanzierung ebenfalls empfohlen werden.