

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

 **Fraunhofer**

IBP

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner

IBP-Bericht 11-10003

Werkzeug für frühe Planungs- und Entscheidungsphasen energieeffizienter und nachhaltiger Hotelbauvorhaben (PEHOBA)

Projektbericht

Gefördert durch
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
(BMWK)

Der Bericht umfasst
20 Seiten Text
12 Abbildungen

Katrin Lenz
Mark Koehler
Philip Leistner

Stuttgart, 04.07.2023

Inhalt

1	Motivation und Projektziele	3
2	Projektumsetzung und -durchführung	4
2.1	Projektstruktur und Meilensteine	4
2.2	Datenvorbereitung und -analyse	5
2.3	Konzeption Planungswerkzeug PEHOBA	7
2.4	Programmierung und Erprobung Planungswerkzeug PEHOBA	7
3	PEHOBA Anwendungskontext	9
3.1.1	Allgemeine Gebäudedaten auswählen	9
3.1.2	Gebäudekonstruktion: Planen und Umweltwirkungen für Neubau abschätzen	10
3.1.3	Gebäudebetrieb: Planen und optimieren sowie Umweltwirkungen für Neubau, Sanierung oder Bestandsgebäude abschätzen	15
3.1.4	Gebäudelebenszyklus: Planen, analysieren und Umweltwirkungen für Neubau abschätzen	18
4	Zusammenfassung und Ausblick	21
5	Literaturverzeichnis	24

1 Motivation und Projektziele

Die Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft hin zur Klimaneutralität ist eine der großen Herausforderungen unserer Zeit und erfordert schnelle, praktikable Methoden und Tools für die Entwicklung nachhaltiger Lösungen – auch im Tourismus und Hotelbau. Hotelgebäude können einen Beitrag zur Nachhaltigkeit im Tourismus leisten, wenn ihr Bau und Betrieb ressourcen- und energieeffizient sowie klima- und umweltschonend sind.

Das Wissen über nachhaltige Gebäude im Allgemeinen wird allerdings insbesondere von kleinen mittleren Unternehmen (KMU) bei der Planung der spezifischen Belange von Hotelgebäuden noch nicht genutzt oder ist für diese aufgrund der Komplexität schwer anwendbar. Das Projekt PEHOBA unterstützt daher den gezielten Transfer dieses Wissens in die Breite und trägt somit zur zukünftigen Verbesserung der Klima-, Umwelt- und Ressourcenbilanz von Hotels bei.

Zugleich erhalten in Deutschland Neubau- und Sanierungsvorhaben für Gebäude zukünftig nur dann Förderung, wenn Energieeffizienz und Nachhaltigkeitsaspekte nachgewiesen werden (siehe auch „Bundesförderung für effiziente Gebäude – Klimafreundlicher Neubau (KFN)“ [1] und „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude“ (QNG) [2] [3]). Das Projekt PEHOBA trägt daher ebenfalls dazu bei, den Hotelbau und damit befasste Unternehmen praktisch und konkret auf diese Zukunft einzustellen.

In Bezug auf die Anwendbarkeit von Wissen wurde im Projekt PEHOBA ein einfaches, praxistaugliches und dennoch fundiertes Planungs-, und Entscheidungswerkzeug geschaffen, welches ohne vertiefte Fachkenntnisse und mit geringem Datenbedarf anwendbar ist. Es unterstützt KMU der Hotelbranche bei der Gebäudeplanung in frühen Phasen durch intuitive Analyse und Bewertung in Bezug auf gängige Aspekte der Nachhaltigkeitszertifizierung [3] [4] [5] - der Energieeffizienz, der Ökologie und der baulichen Ausführungsqualität am Beispiel der Akustik. Damit reduziert das Projekt die vorhandene Einstiegshürde für KMU, die quantitative Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten ihrer Bauvorhaben flächendeckend von Beginn an im Entscheidungsprozess einzusetzen. Der mit dem Projekt verfolgte langfristige Nutzen besteht daher im Kern in einem Abbau der Schwelle bei Hoteliers, sich dem klimaschonenden oder gar klimaneutralen (Um-)Bau ihrer Hotelgebäude konkret zuzuwenden sowie durch die Befähigung und den Zugang zu zukunftsweisendem Wissen die Wettbewerbsfähigkeit der Branche zu stärken.

2 Projektumsetzung und -durchführung

2.1 Projektstruktur und Meilensteine

Bild 1 zeigt die grundsätzliche Struktur des durchgeführten Projektes PEHOBA und den Zusammenhang der einzelnen Arbeitspakete (AP).

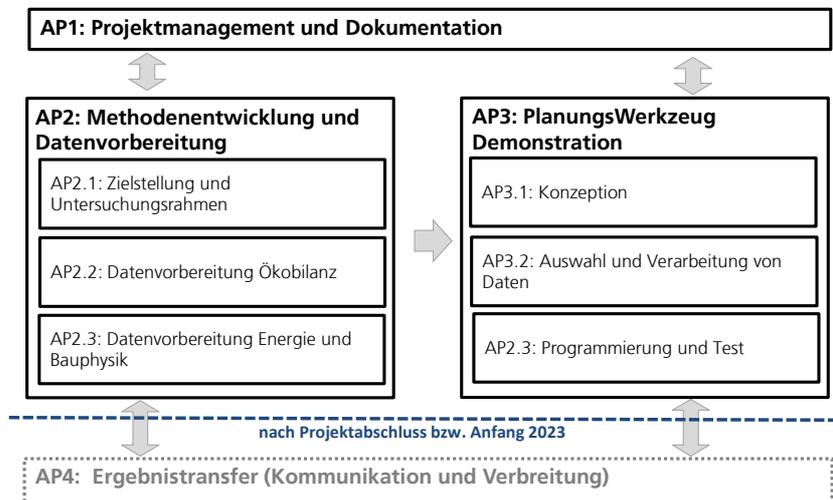


Bild 1:
Projektstruktur und Arbeitspakete (AP)

Im übergeordneten Arbeitspaket Projektmanagement (AP1) erfolgte die Projektkoordination über die gesamte Projektlaufzeit. In AP2 wurde das methodische Konzept des Planungswerkzeugs PEHOBA entwickelt sowie die hierfür erforderliche Datengrundlage in Bezug auf ökobilanzielle, energetische und bauphysikalische Aspekte vorbereitet. In AP3 erfolgte die Umsetzung (Demonstration) des Planungswerkzeugs. Der weitere Ergebnistransfer (AP4) im Sinne von Öffentlichkeitsarbeit, Kommunikation und Verbreitung und Praxistest mit ausgewählten Stakeholdern ist nun nach Projektabschluss im laufenden Jahr 2023 vorgesehen.

Für die Projektbearbeitung wurden die folgenden Meilensteine (MS) für die Erfolgskontrolle im Rahmen der Projektdurchführung festgelegt:

- MS1: Die Typisierung/Charakterisierung von Hotelgebäuden für das Planungswerkzeug und die Zusammenstellung von baubezogenen Datenquellen (mit Repräsentativität für den Hotelbau) ist abgeschlossen.
- MS2: Die Analyse relevanter Eingangsdaten und ihres Einflusses auf energetische, ökologische und komfortbezogene Aspekte (Innenraumkomfort, Licht, Schall) ist abgeschlossen (u.a. bedarfsorientiert durch synchronisierte Anwendung vorhandener Programme) und Wechselwirkungen sind identifiziert.

- MS3: Die Konzeption des Planungswerkzeugs (u.a. Entwicklung einer Entscheidungsstruktur, Festlegung von Funktionalitäten und der zur Anwendung nötigen Eingabe-/ Ausgabedaten) ist abgeschlossen.
- MS4: Die Programmierung und Erprobung des Planungswerkzeugs ist abgeschlossen und das Werkzeug ist öffentlich verfügbar.
- MS5: Projektergebnisbericht liegt vor.

2.2 Datenvorbereitung und -analyse

Auf Basis der Zusammenstellung von baubezogenen Datenquellen mit Repräsentativität für den Hotelbau sowie der Analyse relevanter Eingangsdaten und deren Wechselwirkungen konnte im Projekt PEHOBA die Typisierung / Charakterisierung von Hotelgebäuden für das Planungswerkzeug vorgenommen werden.

Die Datenanalyse wurde auf Basis einer qualitativen Literaturrecherche [6] durchgeführt (Bild 2). Hierzu wurden notwendige Informationen für die Gebäudeökobilanzierung, bauphysikalische Aspekte und energetischen Anforderungen im Hotelbau aus den knapp 35 Quellen erarbeitet sowie ein Abgleich der verfügbaren Daten auf Qualität und Informationsgehalt (Detailanalyse) durchgeführt.

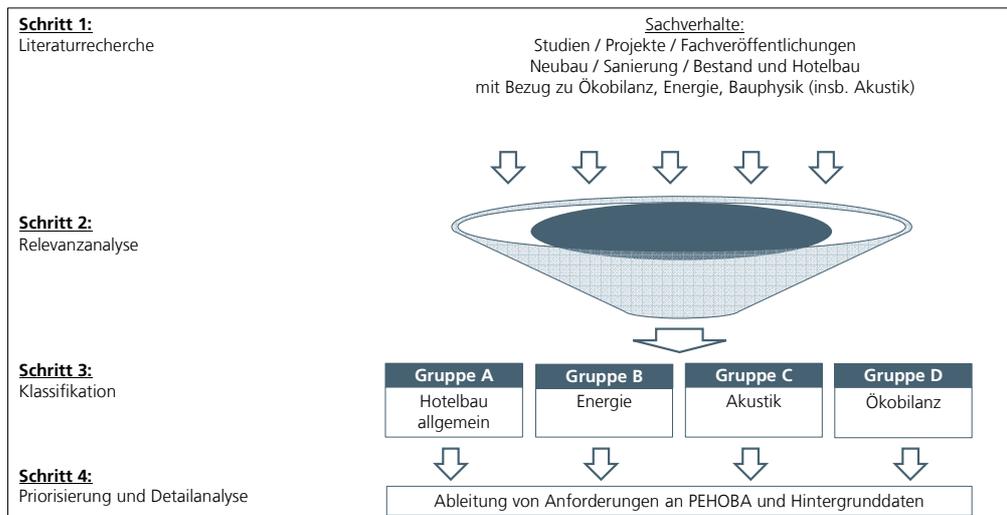


Bild 2:
Schritte zur Durchführung der qualitativen Literaturanalyse

Aufgrund der Inhomogenität und der statistisch z. T. beschränkten Datengrundlage gestaltete sich die Auswahl und Verarbeitung von spezifischen Daten im Kontext Hotelbau im Projekt grundsätzlich sehr zeitintensiv. Generell hat die Analyse vorhandener Daten ergeben, dass deren Grundlage für den Hotelbau im Bestand wenig ausgereift und ausgeprägt ist. Dies gilt besonders in den Be-

reichen Gebäudekonstruktion und Energieversorgung als Grundlage einer ökologischen Ergebnisprognose im Planungswerkzeug PEHOBA. Hier besteht weiterhin Nachholbedarf, weshalb der Fokus des Planungswerkzeugs auf den Neubau ausgerichtet wurde.

Die Analyse der vorhandenen Datenquellen hat gezeigt, dass sich aus dem „Hotel-Sterne-Niveau“ kaum relevante Gebäudeeigenschaften für die PEHOBA-Datenbasis ableiten lassen. Bauphysikalische oder akustische Gebäude- oder Bauteileigenschaften oder die Art der Bauweise (die aus Sicht der Ökobilanz durchaus eine relevante Rolle spielt) werden über das „Sterne-Niveau“ beispielsweise nicht adressiert. Geometrische Gebäudeinformationen sind ebenfalls nur beschränkt aus dem „Sterne-Niveau“ ableitbar und stehen kaum in Bezug zu sonstigen vorhandenen Datenquellen (z. B. Wohn- und Nichtwohngebäudetypologie des Instituts Bauen und Umwelt [7] oder sonstiger Bauwerksdaten [8] [9] [10] [11] [12] [13]). Als PEHOBA-Beispielgebäude (oder auch Stellvertreter-Hotelbau) wurde final der am häufigsten in der Praxis auftretenden Hoteltypus mit einem 3-Sterne-Niveau [14] gewählt.

Im Rahmen der Datenvorbereitung sind als Projektergebnis konkret 18 Gebäudemodelle in der IBP-eigenen Software GENERIS® entstanden [15] die den Variantenraum PEHOBA abbilden. Hierzu wurden zunächst Bauteile aus dem Wohnbau abgeleitet [16] [17] [18] und in Bezug auf Bauweise nach vorrangig eingesetztem Baustoff [19] (Stahlbeton, Kalksandstein, Holz), akustischen Anforderungen (Schallschutz in Anlehnung an DIN 4109 [20] [21]) und energetische Anforderungen (in Anlehnung an GEG2020 bzw. GEG2023 [22] [23], Effizienzhaus-55, Effizienzhaus-40) für den Hotelbau abgestimmt. Hierbei hat sich gezeigt, dass vor allem erhöhte Anforderungen an den Schallschutz unter Umständen zu Bauteilen führen können, die aus statischer Sicht (d.h. aus Sicht der Standsicherheit und des Lastabtrages) gegebenenfalls im Gebäudemodell überdimensioniert werden müssen (als konservative Abschätzung). Weiterhin ist für Materialien und Bauprodukte, die für die energetische Dämmung eingesetzt werden, aus Sicht erhöhter Schallschutzanforderungen auch die Materialsteifigkeit relevant. Hier entstehen unter Umständen Wechselwirkungen zwischen der Wahl von Materialien mit höherem Flächengewicht beziehungsweise einer höheren Rohdichteklasse aus Sicht des Schallschutzes und der Notwendigkeit, Materialien mit geringer Wärmeleitfähigkeit (und niedrigerer Rohdichte) aus Sicht der energetischen Anforderungen zu wählen. Weiterhin wurden die Bauteile für die Gebäudemodelle auf Basis vorhandener Datenquellen geometrisch skaliert, auch wenn sich die Ableitung von praxistauglichen Skalierungsfaktoren durchaus erschwert darstellt. Die Ergebnisse der Ökobilanz dieser Gebäudemodelle, die mit Hilfe der Software GENERIS® durchgeführt wurden, bilden die Datengrundlage für das Planungstool. Sie wurden ebenfalls genutzt, um einen PEHOBA-Vergleichswert für die ökologische Planung abzuleiten, der bis dahin noch nicht verfügbar war.

2.3 Konzeption Planungswerkzeug PEHOBA

Für die Konzeption des Planungswerkzeugs, die Festlegung von Funktionalitäten sowie die Auswahl von Analyse-/Bewertungsgrößen hat sich gezeigt, dass die Qualität und der Informationsgehalt der aufbereiteten Datengrundlage eine wesentliche Rolle und unter Umständen einen limitierenden Faktor darstellt.

Als Zielanwender des Tools wurde ein Profil ohne explizite Ökobilanzierungskennnisse zu Grunde gelegt. Mindesteingaben, die für die Anwendbarkeit des Planungstools vorausgesetzt wurden, sind auf ein Minimum beschränkt. Aus Sicht des Anwenders genügt die Auswahl der Gebäudecharakteristik aus einem vorkonfigurierten Menü, und bildet hierbei den kompletten Variantenraum PEHOBA ab. Für eine spezifischere Analyse sind Mindesteingaben zur zu realisierenden Fläche oder der Anzahl der Hotelzimmer sowie jeweils ein Energiebedarfskennwert für die Wärme- und Stromversorgung notwendig. Optional kann auch die Bereitstellung von PV-Strom und Wärme aus Solarthermie berücksichtigt werden.

Für das Planungswerkzeug wurde eine Visualisierung von Ergebnissen konzipiert, die sich an vorhandene Logiken (z. B. auf Basis der Ökobilanz in der Nachhaltigkeitszertifizierung) und vorhandener Normung im Bereich der Gebäudeökobilanz orientiert. Durch die Strukturierung von Ergebnissen in Lebenszyklusmodulen wird zum einen Transparenz über relevante Phasen im Gebäudelebenszyklus für den Anwender geschaffen. Zum anderen können über die im Planungswerkzeug umgesetzte Differenzierung nach Gebäudebestandteilen der Gebäudekonstruktion Wechselwirkungen bei der Wahl spezifischer Gebäudeeigenschaften für die Planung berücksichtigt werden.

Die Integration von Praxisbeispielen ist im Planungswerkzeug möglich, sofern die zu integrierenden Informationen der definierten Datenstruktur des Tools folgen. Potenzielle Änderungen im zukünftigen Funktionsumfang des Planungswerkzeugs (z. B. des Variantenraumes) sind ebenfalls auf Kompatibilität mit den vorhandenen Datenstrukturen zu prüfen. Diese können bei Bedarf im Planungswerkzeug grundsätzlich flexibel erweitert werden. Auch „Verfeinerungen“ in den Analysemöglichkeiten sind zukünftig denkbar. Hierbei muss beachtet werden, dass in diesem Fall sowohl die Komplexität des Planungstools sowie der hiermit verbundene zusätzliche notwendige Aufwand in der Datenvorbereitung sowie der Eingabe/Ausgabe steigt.

2.4 Programmierung und Erprobung Planungswerkzeug PEHOBA

Als konkretes Projektergebnis ist im Projekt PEHOBA ein Planungswerkzeug entstanden, das als „stand-alone“ Lösung in einer sehr verbreiteten MS-Office Anwendung (Excel) programmiert und intern bereits erprobt ist. Im Wesentlichen wurde eine grafische Nutzeroberfläche mit interaktiven Bedienelementen zur Ein-/Ausgabe und Grafiken programmiert. Diese ist mit entsprechende Hin-

tergrunddaten der Gebäudeökobilanz (aus den 18 vorhandenen Gebäudemodellen) und Algorithmen der Datenverarbeitung (im Sinne ökobilanzieller Analyse) verknüpft.

Im Rahmen der Programmierung und Erprobung hat sich gezeigt, dass sich insbesondere Festlegungen zur Bedienführung und Verständlichkeit als zeitintensive Arbeitsinhalte darstellen. Die Weiterführung der Stakeholder-Integration und des Praxistests wird helfen, Aufschluss über notwendige (Weiter-)Entwicklungen und Optimierungspotenziale zu erhalten.

3 PEHOBA Anwendungskontext

Nachfolgend werden beispielhaft ausgewählte Anwendungskontexte des Planungswerkzeugs PEHOBA kurz vorgestellt und erläutert. Diese Anwendungskontexte werden im Rahmen der Weiterführung des Ergebnistransfers nach Projektende sowie der anwendungsorientierten (Weiter-)Entwicklung und Optimierung des Planungswerkzeugs mit relevanten Stakeholdern weiter erörtert und diskutiert.

3.1.1 Allgemeine Gebäudedaten auswählen

Um potenzielle Umweltwirkungen in Form CO₂-äquivalenter Emissionen für das Hotelgebäude in Anlehnung an gängige Normung und Standards im Bauwesen [24] abschätzen zu können, hält das Planungstool verschiedene definierte Optionen vor. Diese werden über die Eingabemaske „Allgemeine Gebäudedaten“ (Bild 3) durch den Anwender gesteuert.

Eingabe für spezifische Planung	
Eingabe optional	
Hintergrundberechnung	
EINGABE: Gebäudedaten	
ALLGEMEIN	
Analyseumfang Weiter mit spezifischer Eingabe für	Gebäudelebenszyklus Gebäudekonstruktion und Gebäudebetrieb
Geplante Netto-Raumfläche (NRF) PEHOBA-Ansatz	500 m ² 788 m ²
Geplante Anzahl Hotelzimmer PEHOBA-Ansatz	15 Stück 27 Stück
Gewählte Netto-Raumfläche (NRF)	500 m ²

Bild 3:
PEHOBA Planungstool - Möglichkeiten zur Eingabe allgemeiner Gebäudedaten

Es kann zunächst der Analyseumfang gewählt werden. Zur Auswahl stehen hierbei:

- Gebäudelebenszyklus: Hier werden sowohl Aspekte der Gebäudekonstruktion als auch des Gebäudebetriebes berücksichtigt;
- Gebäudekonstruktion: Wechselwirkungen bei Auswahl von eingesetzten Materialien und Bauprodukte können über den Einfluss von einzelnen Bauteilen analysiert werden;

- Gebäudebetrieb: Wechselwirkungen von Energiebedarf und Energieproduktion des Gebäudes können über die Wahl der eingesetzten Energieträger und des Energieversorgungssystems abgeschätzt werden.

Im Anschluss können weitere Gebäudedaten durch den Anwender festgelegt werden:

- Eingabe eines spezifischen Flächenbezuges der geplanten zu realisierenden Fläche in Form der Netto-Raumfläche (NRF) [25] oder
- Eingabe eines spezifischen Funktionsbezuges in Form der Anzahl der Hotelzimmer oder
- Vollständige Eingabe der beiden zuvor genannten Größen: In diesem Falle wird im Planungstool ein Abgleich der Netto-Raumfläche auf Basis beider Eingaben durchgeführt. Das Ergebnis des Abgleichs wird in Form der „Gewählten Netto-Raumfläche (NRF)“ (grau hinterlegt) angezeigt, so dass die Bezugsgröße für die nachfolgende Ergebnisdarstellung dem Anwender klar kommuniziert wird.

Sollte keine Eingabe der zuvor genannten Größen im Planungstool durch den Anwender erfolgen, wird die Charakteristik des im Projekt abgeleiteten PE-HOBA-Beispielgebäudes (PEHOBA-Ansatz) zu Grunde gelegt. In diesem Falle weist das Hotelgebäude eine Netto-Raumfläche (NRF) von 788 m² und 27 Hotelzimmern (Annahme als Doppelzimmer) auf.

3.1.2 Gebäudekonstruktion: Planen und Umweltwirkungen für Neubau abschätzen

Um potenzielle Umweltwirkungen in Form CO₂-äquivalenter Emissionen für die Gebäudekonstruktion – und damit der eingesetzten Materialien und Bauprodukte in den Bauteilen - eines neu zu errichtenden Hotelgebäudes abschätzen zu können, hält das Planungstool verschiedene definierte Optionen vor.

1. Zunächst wird als Analyseumfang in der Eingabemaske für die allgemeinen Gebäudedaten die „Gebäudekonstruktion“ gewählt und gegebenenfalls ein spezifischer Flächenbezug oder eine spezifische Anzahl der Hotelzimmer definiert.
2. Im Anschluss werden Detaileingaben für die Gebäudekonstruktion durch den Anwender in der Eingabemaske „Gebäudekonstruktion“ vorgenommen. Es kann zwischen den folgende Eingaben (Bild 4, oben) gewählt werden:
 - o Geplante Bauweise: abgeleitet aus vorrangig verwendeten Baustoffen und in 3 Optionen verfügbar (Kalksandstein, Stahlbeton, Holz)

- Geplanter Energiestandard: angelehnt an Mindestanforderung aus dem Gebäudeenergiegesetz (GEG), dem Effizienzhaus-Standard 55 und dem Effizienzhaus-Standard 40.
- Geplante Anforderung an den Schallschutz: angelehnt an die Mindestanforderung und erhöhten Anforderungen der DIN 4109.

GEBÄUDEKONSTRUKTION	
Notwendige Angaben:	
Geplante Bauweise: nach vorrangig verwendetem Baustoff	Stahlbeton
Geplanter Energiestandard: angelehnt an	Effizienzhaus 55
Geplante Anforderung an Schallschutz: in Anlehnung an DIN4109	Erhöhte Anforderung

GEBÄUEBETRIEB	
Notwendige Angaben:	
Geplanter Energieträger Wärme PEHOBA-Ansatz	Erd-WP (Strom) ohne
Energiebedarf für Wärme (geplant) PEHOBA-Ansatz	13.000 kWh/a 11.550 kWh/a
Energiebedarf für Strom (geplant) PEHOBA-Ansatz	7.500 kWh/a 10.500 kWh/a
Optionale Angaben:	
Einsatz von Photovoltaik geplant?	PV
Geplante Anlagengröße PEHOBA-Ansatz	15 m ² ohne
Strombereitstellung (Abschätzung)	1.510 kWh/a
Einsatz von Solarthermie geplant?	ST
Geplante Anlagengröße PEHOBA-Ansatz	15 m ² ohne
Wärmebereitstellung (Abschätzung)	6.045 kWh/a

Bild 4:
PEHOBA Planungstool – Eingabe und Auswahl bezüglich der geplanten Gebäudedeckonstruktion

3. Aus Sicht des Gebäudebetriebes (Bild 4, unten) muss zusätzlich eine Auswahl für den geplanten Energieträger für die Wärme durch den Anwender in der Eingabemaske „Gebäudebetrieb“ erfolgen (siehe auch Kapitel 3.1.3).

Hierdurch werden auch gebäudekonstruktionsbezogene Aspekte aus der Wahl des Energieversorgungssystems berücksichtigt. Optional kann ebenfalls der Einsatz von Photovoltaik (PV) und/oder Solarthermie (ST) berücksichtigt werden.

4. Potenzielle CO₂-äquivalente Emissionen für die so geplante Gebäudekonstruktion (und damit der eingesetzten Materialien und Bauprodukte) werden auf unterschiedliche Weise im Tool visualisiert:

Darstellung der absoluten Ergebnisse Gebäudekonstruktion nach Lebenszyklusmodulen (Bild 5): Es wird der absolute Gesamtwert der potenziellen CO₂-äquivalenten Emissionen für die geplante Gebäudekonstruktion (dunkelblauer Balken, Mitte) je 1 m² Netto-Raumfläche (NRF) und je 1 Jahr des Betrachtungszeitraumes angezeigt. Hierbei wird zunächst nicht differenziert aus/in welchen Lebenszyklusmodulen diese potenziellen Emissionen resultieren. Es wird ein Gesamtwert dargestellt, der die Informationen aller für die Gebäudekonstruktion relevanten Lebenszyklusmodule aggregiert.

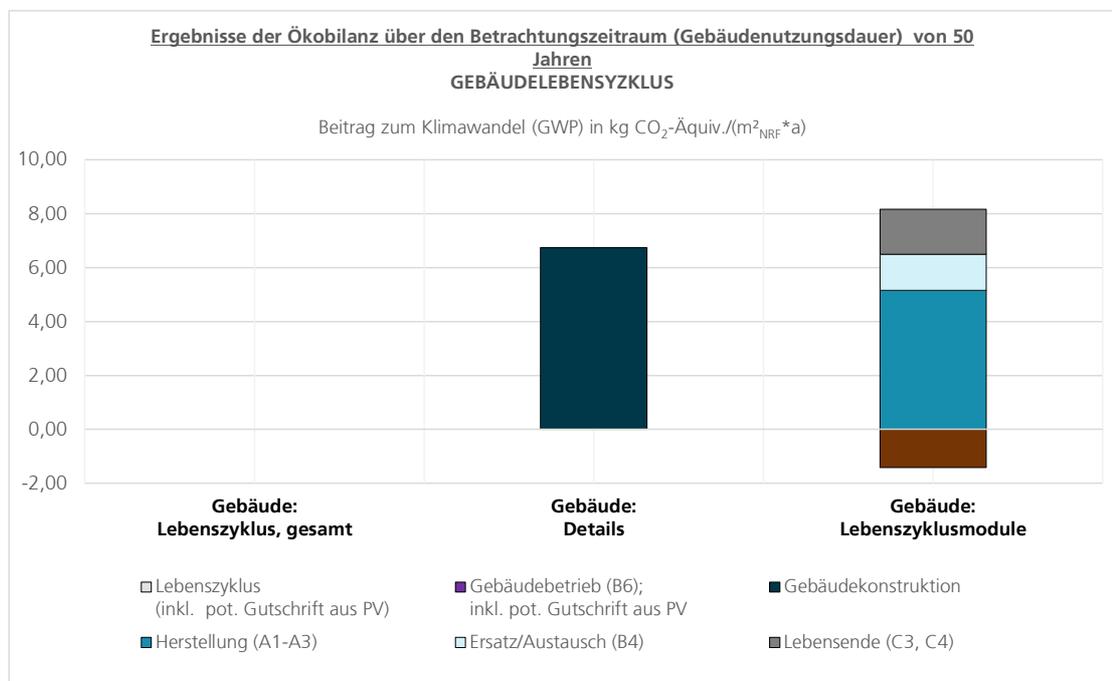


Bild 5:
PEHOBA Planungstool – Ausgabe und Visualisierung absoluter Ergebnisse für die geplante Gebäudekonstruktion nach Lebenszyklusmodulen

Anmerkung: Positive Werte der y-Achse für den Beitrag zum Klimawandel (GWP) stellen in dieser Form der Darstellung einen negativen Beitrag der Gebäudekonstruktion dar, den es zu reduzieren gilt. Negative Werte der y-Achse für den Beitrag zum Klimawandel (GWP) entsprechen hierbei sogenannten Gutschriften und tragen potenziell zur Vermeidung von CO₂-äquivalenten Emissionen bei.

Die Auflösung des aggregierten Gesamtwertes nach den Anteilen aus den einzelnen Lebenszyklusmodulen kann ebenfalls grafisch abgelesen werden

(Bild 5, rechte Seite). Hierzu werden die Lebenszyklusmodule der Herstellung, des Ersatzes/Austausches (Nutzungsphase), des Lebensendes und etwaige Gutschriften unterschieden. Dem Anwender wird es damit möglich, zu verstehen, inwiefern sich Änderungen von Bauweise, Energiestandard, Anforderungen an den Schallschutz oder die Energieversorgung für das Gebäude potenziell in den einzelnen Lebenszyklusmodulen niederschlagen. Daraus lassen sich weiterführende ökologische Optimierungspotenziale ableiten.

Im konkreten Anwendungsbeispiel (Bild 5) wird ersichtlich, dass die Herstellung (A1-A3) maßgeblich für die potenziellen Umweltwirkungen der Gebäudekonstruktion ist. Die Wahl der eingesetzten Materialien sollte daher auf technische Möglichkeiten zur Optimierung und Reduktion geprüft werden. Ersatz und Austausch (B4) von Materialien und Bauprodukten in der Nutzungsphase des Gebäudes sowie das Lebensende (C3, C4) sind von untergeordneter Bedeutung für die Optimierung, jedoch nicht vernachlässigbar. Reduktionen der potenziellen CO₂-äquivalenten Emissionen ergeben sich über Gutschriften am Lebensende durch Möglichkeiten der stofflichen und thermischen Verwertung (Recycling) der eingesetzten Materialien und Bauprodukte.

Darstellung der absoluten Ergebnisse Gebäudekonstruktion, nach Bauteilen (Bild 6): Es werden der absolute und aggregierte Gesamtwert der potenziellen CO₂-äquivalenten Emissionen für die geplante Gebäudekonstruktion (dunkelblauer Balken) wiedergegeben. Zusätzlich wird der im Projekt PEHOBA ermittelte Wert für die Gebäudekonstruktion auf Basis des PEHOBA-Beispielgebäudes dargestellt (gelbe Raute). Hierzu wurde das PEHOBA-Beispielgebäude in allen Varianten für Bauweise, Energiestandard, Anforderungen an den Schallschutz sowie Energieversorgung für Wärme bilanziert und ein Durchschnittswert abgeleitet. Dem Anwender wird es dadurch möglich, potenzielle Emissionen seiner geplanten Gebäudekonstruktion besser im Kontext einschätzen zu können.

Zusätzlich zur Darstellung des aggregierten absoluten Gesamtwertes wird dieser nach den Anteilen einzelner Gebäudebestandteile, der Bauteile, aufgelöst (Bild 6, rechte Seite). Die Aufschlüsselung erfolgt in Kostengruppen (KG) nach DIN 276 [26]. Dazu zählt auch die Visualisierung der relativen Anteile einzelner Bauteile (Bild 7). Hierdurch wird es dem Anwender einfach möglich, zu verstehen, inwiefern sich die Wahl oder Änderungen von Bauweise, Energiestandard, Anforderungen an den Schallschutz oder die Energieversorgung für das Gebäude potenziell in den einzelnen Bauteilen niederschlagen. So können Hot Spots für die weiterführende ökologische Optimierung abgeleitet und Wechselwirkungen zwischen den gewählten Gebäudeparametern identifiziert werden.

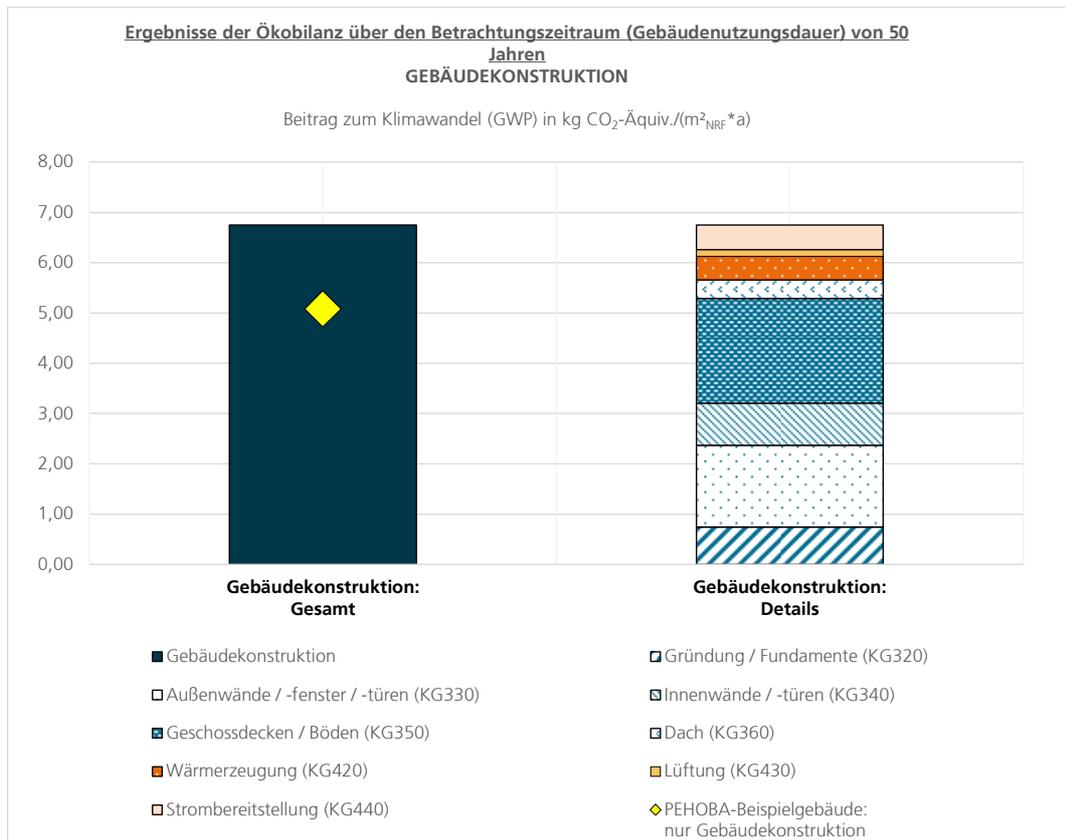


Bild 6:
PEHOBA Planungstool – Ausgabe und Visualisierung absoluter Ergebnisse für die geplante Gebäudekonstruktion nach Bauteilen

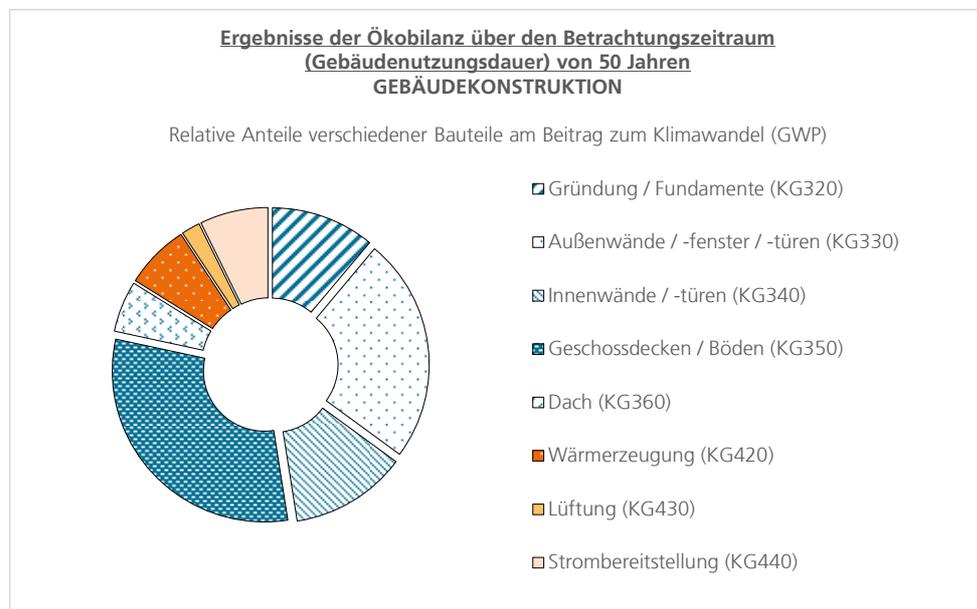


Bild 7:
PEHOBA Planungstool – Ausgabe und Visualisierung relativer Ergebnisse für die geplante Gebäudekonstruktion nach Bauteilen

Im konkreten Anwendungsbeispiel (Bild 7) wird ersichtlich, dass vor allem die Bauteile mit einem hohen Masseeintrag (Außenwände, Geschossdecken) relevant für potenziellen CO₂-äquivalenten Emission aus der Gebäudekonstruktion sind. Aber auch der Einsatz der geplanten Energieversorgung über Photovoltaik (PV) stellt Optimierungspotenzial dar. In diesem Zusammenhang können dem Anwender konkret ökologische Wechselwirkungen aus Aspekten von Bauweise, Energiestandard, Technologien zur Energieversorgung, Schallschutz und Möglichkeiten der Kompensation potenzieller Umweltwirkungen aufgezeigt werden.

3.1.3 Gebäudebetrieb: Planen und optimieren sowie Umweltwirkungen für Neubau, Sanierung oder Bestandsgebäude abschätzen

Um potenzielle Umweltwirkungen in Form CO₂-äquivalenter Emissionen für den Gebäudebetrieb – und damit der eingesetzten Energieträger – eines Hotelgebäudes abschätzen zu können, hält das Planungstool verschiedene definierte Optionen vor. Die Eingabemaske Gebäudebetrieb kann sowohl für die Analyse von Neubauten, für die Sanierung als auch für Bestandsgebäude genutzt werden.

1. Zunächst wird als Analyseumfang in der Eingabemaske für die allgemeinen Gebäudedaten der „Gebäudebetrieb“ gewählt und gegebenenfalls ein spezifischer Flächenbezug oder eine spezifische Anzahl der Hotelzimmer definiert.
2. Im Anschluss werden die Detailangaben für den Gebäudebetrieb durch den Anwender im Planungswerkzeug in der Eingabemaske „Gebäudebetrieb“ vervollständigt (Bild 8):

GEBÄUEBETRIEB	
Notwendige Angaben:	
Geplanter Energieträger Wärme PEHOBA-Ansatz	Erd-WP (Strom) ohne
Energiebedarf für Wärme (geplant) PEHOBA-Ansatz	13.000 kWh/a 11.550 kWh/a
Energiebedarf für Strom (geplant) PEHOBA-Ansatz	7.500 kWh/a 10.500 kWh/a
Optionale Angaben:	
Einsatz von Photovoltaik geplant?	PV
Geplante Anlagengröße PEHOBA-Ansatz	15 m ² ohne
Strombereitstellung (Abschätzung)	1.510 kWh/a
Einsatz von Solarthermie geplant?	ST
Geplante Anlagengröße PEHOBA-Ansatz	15 m ² ohne
Wärmebereitstellung (Abschätzung)	6.045 kWh/a

Bild 8:
PEHOBA Planungstool – Eingabe und Auswahl bezüglich des geplanten Gebäudebetriebes

- Geplanter Energieträger Wärme: Es kann zwischen 6 verschiedenen Varianten gewählt werden, d.h. Öl, Gas, Hackschnitzel, Fernwärme, Luft-Wärmepumpe (Strom), Erd-Wärmepumpe (Strom).
- Geplanter Energiebedarf für Wärme: Ein spezifischer Energiebedarf kann durch den Anwender eingegeben werden. Das Eingabefeld ist für die Berücksichtigung des Wärmebedarfs für Heizen und Warmwasser vorgesehen. Potenzielle Beiträge der Wärmebereitstellung durch Solarthermie (ST) dürfen bei der Eingabe abgezogen werden. Sofern keine Eingabe erfolgt, werden Energiebedarfswerte auf Basis des PEHOBA-Beispielgebäudes (PEHOBA-Ansatz) zu Grunde gelegt, die ebenfalls den geplanten und gewählten Energiestandard (GEG, Effizienzhaus-Standard 55, Effizienzhaus-Standard 40) abschätzungsweise berücksichtigen.
- Geplanter Energiebedarf für Strom: Ein spezifischer Energiebedarf kann durch den Anwender eingegeben werden. Das Eingabefeld ist für die Berücksichtigung des Strombedarfs für Luftförderung, Kälte und Beleuchtung vorgesehen. Ein Abzug von PV-Strom darf nicht vorgenommen werden, um eine Doppelzählung zu vermeiden. Sofern keine Eingabe erfolgt, werden die Energiebedarfswerte

auf Basis des PEHOBA-Beispielgebäudes (PEHOBA-Ansatz) zu Grunde gelegt, die ebenfalls den geplanten und gewählten Energiestandard (GEG, Effizienzhaus-Standard 55, Effizienzhaus-Standard 40) abschätzungsweise berücksichtigen.

- Einsatz von Photovoltaik (PV) und/oder Solarthermie (ST): Eine spezifische Anlagengröße in Form eines Flächenbezuges kann definiert werden. Über die Nutzung von Photovoltaik lässt sich der gebäudeintern erzeugte Strom für die ökologische Analyse berücksichtigen und es werden die hiermit verbundenen potenzielle Gutschriften ausgewiesen. Hierbei wird vereinfacht von einer 100 %-Anrechnung ausgegangen.
3. Potenzielle CO₂-äquivalente Emissionen für den so geplanten Gebäudebetrieb (und damit der eingesetzten Energieträger) werden in absoluter Darstellung im Tool visualisiert (Bild 9). Es wird der absolute Gesamtwert der potenziellen CO₂-äquivalenten Emissionen für den geplanten Gebäudebetrieb (dunkler lila Balken, linke Seite) je 1 m² Netto-Raumfläche (NRF) und je 1 Jahr des Betrachtungszeitraumes angezeigt. Zusätzlich wird nach den einzelnen Anteilen aus der Bereitstellung für Wärme und Strom differenziert (Bild 9, rechte Seite). Weiterhin werden auch potenzielle Gutschriften aus der Anrechnung von Photovoltaik (PV) ersichtlich. Dem Anwender des Planungswerkzeugs steht damit eine praxisnahe Möglichkeit zur Verfügung, Aspekte von Kompensation und Klimaneutralität für die Gebäudeplanung zu berücksichtigen.

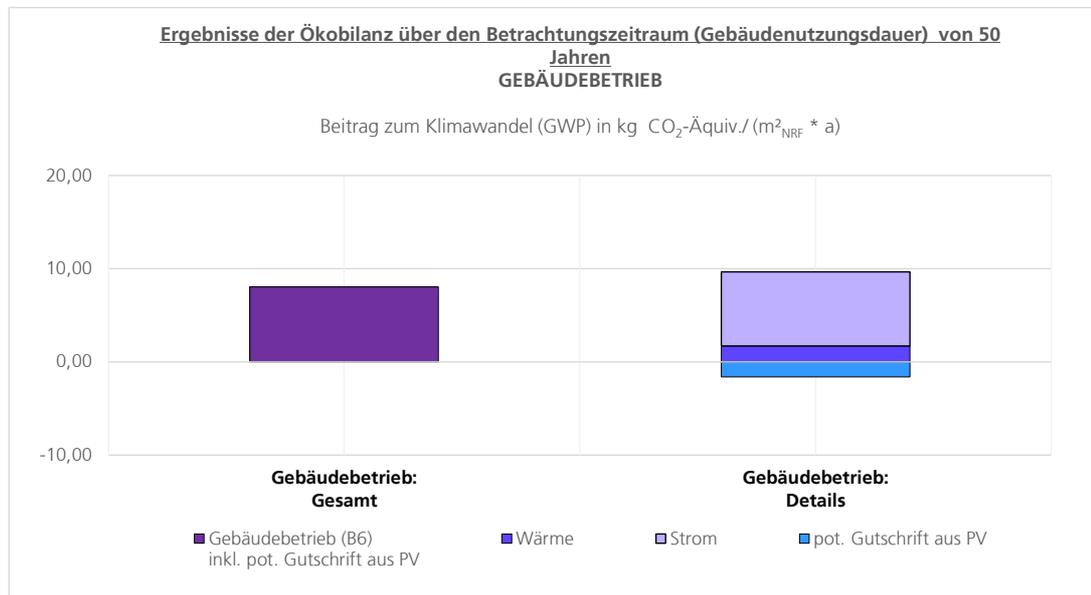


Bild 9:
PEHOBA Planungstool – Ausgabe und Visualisierung absoluter Ergebnisse für den geplanten Gebäudebetrieb nach Wärme und Strom

Im konkreten Anwendungsbeispiel (Bild 9) wird ersichtlich, dass der Einsatz von geplantem Strom (heller lila Balken, rechte Seite) für Luftförderung, Kühlkälte und Beleuchtung maßgeblich für die potenziellen Umweltwirkungen im Gebäudebetrieb ist. Der Stromeinsatz sollte daher auf technische Möglichkeiten zur Optimierung und Reduktion geprüft werden. Die Wärmbereitstellung über die gewählte Erd-Wärmepumpe, die ebenfalls strombetrieben wird, ist im vorliegenden Anwendungsbeispiel von untergeordneter Bedeutung für die weitere Gebäudeoptimierung. Reduktionen der potenziellen CO₂-äquivalenten Emissionen durch den geplanten Einsatz von PV belaufen sich auf knapp ein Drittel der potenziellen CO₂-äquivalenten Emissionen aus der Nutzung von Strom.

3.1.4 Gebäudelebenszyklus: Planen, analysieren und Umweltwirkungen für Neubau abschätzen

Um potenzielle Umweltwirkungen in Form CO₂-äquivalenter Emissionen für den Neubau eines Hotelgebäudes und dessen Gebäudelebenszyklus abschätzen zu können, müssen im Planungstool alle Eingabemasken durch den Anwender mit den Mindesteingaben bedient werden (vergleiche hierzu auch Kapitel 3.1.1 bis 3.1.3).

Eingabe für spezifische Planung		
Eingabe optional		
Hintergrundberechnung		
EINGABE: Gebäudedaten		
ALLGEMEIN		
Analyseumfang	Gebäudelebenszyklus	
Weiter mit spezifischer Eingabe für	Gebäudekonstruktion und Gebäudebetrieb	
Geplante Netto-Raumfläche (NRF)	500 m ²	PEHOBA-Ansatz 788 m ²
Geplante Anzahl Hotelzimmer	15 Stück	PEHOBA-Ansatz 27 Stück
Gewählte Netto-Raumfläche (NRF)	500 m ²	
GEBÄUDEKONSTRUKTION		GEBÄUDEBETRIEB
Notwendige Angaben:		Notwendige Angaben:
Geplante Bauweise: nach vorrangig verwendetem Baustoff	Stahlbeton	Geplanter Energieträger Wärme PEHOBA-Ansatz
Geplanter Energiestandard: angelehnt an	Effizienzhaus 55	Erd-WP (Strom) ohne
Geplante Anforderung an Schallschutz: in Anlehnung an DIN4109	Erhöhte Anforderung	Energiebedarf für Wärme (geplant) PEHOBA-Ansatz
		13.000 kWh/a 11.550 kWh/a
		Energiebedarf für Strom (geplant) PEHOBA-Ansatz
		7.500 kWh/a 10.500 kWh/a
		Optionale Angaben:
		Einsatz von Photovoltaik geplant?
		Geplante Anlagengröße
		PEHOBA-Ansatz
		Strombereitstellung (Abschätzung)
		PV 15 m ² ohne 1.510 kWh/a
		Einsatz von Solarthermie geplant?
		Geplante Anlagengröße
		PEHOBA-Ansatz
		Wärmbereitstellung (Abschätzung)
		ST 15 m ² ohne 6.045 kWh/a

Bild 10:
PEHOBA Planungstool – Eingabe und Auswahl Gebäudedetails für Gebäudelebenszyklus

1. Zunächst wird als Analyseumfang in der Eingabemaske für die allgemeinen Gebäudedaten der „Gebäudelebenszyklus“ gewählt und gegebenenfalls ein spezifischer Flächenbezug oder eine spezifische Anzahl der Hotelzimmer definiert (Bild 10, linke Seite, oben).
2. Im Anschluss werden die Detailangaben für die Gebäudekonstruktion (Bild 10, rechte Seite, oben) und den Gebäudebetrieb (Bild 10, linke Seite, unten) durch den Anwender im Planungswerkzeug in den jeweiligen Eingabemasken vervollständigt.
3. Potenzielle CO₂-äquivalente Emissionen im Gebäudelebenszyklus für das so geplante Gebäude werden in grafischer (Bild 11) und tabellarischer Darstellung im Tool visualisiert (Bild 12).

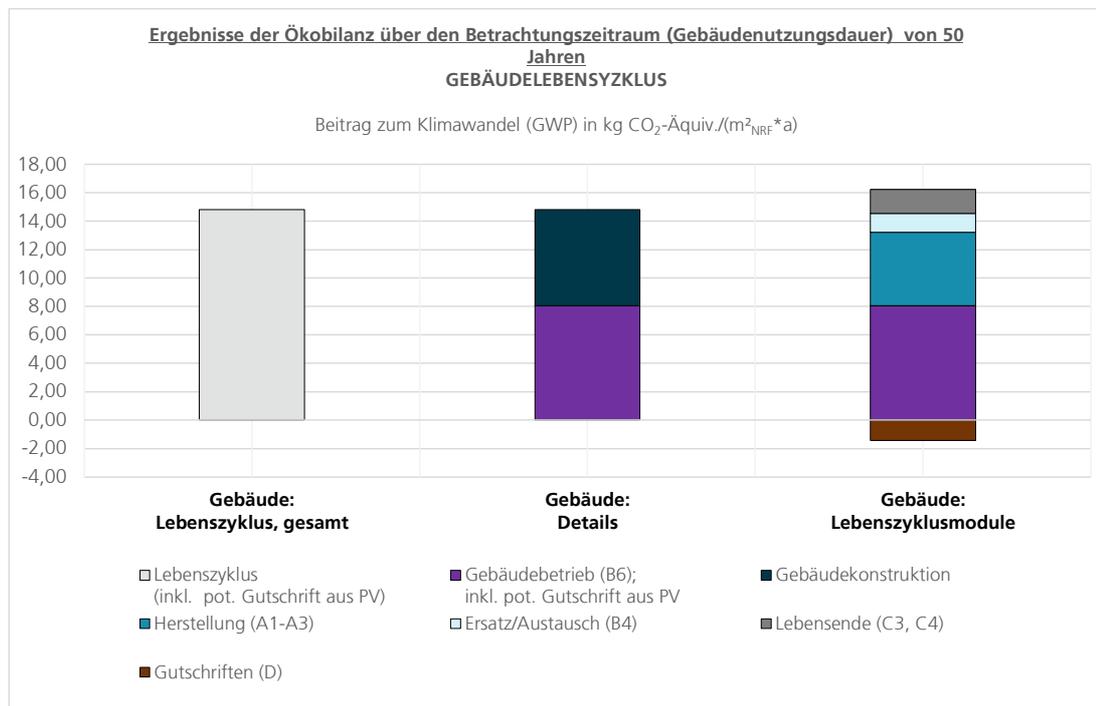


Bild 11:
PEHOBA Planungstool – Ausgabe und Visualisierung absoluter Ergebnisse für den Gebäudelebenszyklus nach Lebenszyklusmodulen

Es wird der absolute Gesamtwert der potenziellen CO₂-äquivalenten Emissionen für das geplante Gebäude über den Gebäudelebenszyklus (Bild 11, hellgrauer Balken, linke Seite) je 1 m² Netto-Raumfläche (NRF) und je 1 Jahr des Betrachtungszeitraumes wiedergegeben. Hierbei wird zunächst nicht differenziert, ob diese aus der Gebäudekonstruktion (d. h. dem Material- und Bauprodukteinsatz) oder dem Gebäudebetrieb (d. h. aus dem Energieträgereinsatz) oder spezifischen Lebenszyklusmodulen resultieren. Es wird ein aggregierter Gesamtwert dargestellt.

Die Differenzierung nach Anteilen aus der Gebäudekonstruktion und dem Gebäudebetrieb (Bild 11, Mitte) beziehungsweise nach Anteilen aus einzelnen Lebenszyklusmodulen (Bild 11, rechte Seite) wird nachgelagert visualisiert. Hierdurch kann der Anwender die ökologische Relevanz von Gebäudekonstruktion und Gebäudebetrieb sowie die Relevanz einzelner Lebenszyklusmodule erkennen. Im konkreten Anwendungsfall (Bild 11) wird ersichtlich, dass Gebäudekonstruktion und Gebäudebetrieb in ähnlichem Maß zu den potenziellen CO₂-äquivalenten Emissionen über den Gebäudelebenszyklus beitragen.

Anmerkung: Weitere Erläuterung zur Interpretation von Ergebnissen im Planungstool können Kapitel 3.1.2 (für die Gebäudekonstruktion) und Kapitel 3.1.3 (für den Gebäudebetrieb) entnommen werden.

Neben der grafischen Visualisierung der Ergebnisse für den Gebäudelebenszyklus erhält der Anwender die Ergebnisse abschließend in tabellarischer Form (Bild 12). Hierzu werden sowohl die Ergebnisse je 1 m² Netto-Raumfläche (NRF) und je 1 Jahr des Betrachtungszeitraumes als auch der Gesamtwert über 50 Jahre für das geplante Gebäude in Tonnen (t) dargestellt.

Ausgabe 01: Potenzielle CO ₂ -äquivalente Emissionen (CO ₂ -Äquiv.) in der tabellarischen Übersicht		
Beitrag zum Klimawandel (GWP)	Gebäude gesamt über 50 Jahre [t CO ₂ -Äquiv.]	Gebäude je 1m ² Netto-Raumfläche (NRF) und je 1 Jahr [kg CO ₂ -Äquiv./((m ² _{NRF} * a))]
Gebäude, gesamt (exkl. Anrechnung PV u. ST)	410	16,4
aus Gebäudekonstruktion	169	6,8
aus Gebäudebetrieb	242	9,7
davon aus Wärme	42	1,7
davon aus Strom	200	8,0
Gebäude, gesamt, (inkl. potenzieller Gutschrift aus PV)	370	14,8
Potenzielle Gutschrift aus PV	-40	-1,6
Gebäudebetrieb (inkl. potenzieller Gutschrift aus PV)	201	8,1
 PEHOBA-Beispielgebäude: nur Gebäudekonstruktion	200	5,1

Bild 12:
PEHOBA Planungstool – Ausgabe und tabellarische Darstellung absoluter Ergebnisse für den Gebäudelebenszyklus

4 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Projekt PEHOBA wurde ein Planungswerkzeug für frühe Planungsphasen im Hotelbau geschaffen. Es adressiert die zukünftigen Fragestellungen von kleinen, mittelständischen Unternehmen (KMU) in Bezug auf klimaneutralen und nachhaltigen Hotelbau und unterstützt damit den Wissenstransfer in die Branche. Es umfasst eine hotelbauspezifische Kombination von ökobilanziellen, energetischen und bauphysikalischen Aspekten für die Gebäudeplanung und -bilanzierung. Die Basis des Planungswerkzeugs bildet eine im Projekt entwickelte spezifische Datenbasis für den Hotelbau, die auch ökobilanzielle Vergleichswerte enthält. Die Eingabeinformation wurden reduziert bei einer konkreten Anwendung auf Basis einer minimierten Entscheidungsstruktur für die Ergebnisprognose.

Das Projekt PEHOBA hat gezeigt, dass die Datengrundlage zur Abbildung von Hotelgebäuden nicht nur für die ökologische Analyse zum Teil sehr inhomogen oder schlichtweg (noch) nicht strukturiert vorhanden ist. Hier besteht weiterführender Forschungsbedarf, um Datenlücken zu schließen, vorhandene Annahmen zu plausibilisieren (z. B. über die Bilanzierung einer ausgewählten realen Stichprobe an Hotelgebäuden) sowie um die Richtungssicherheit der Planungsdaten (egal ob in der Eingabe- oder Ausgabe) weiter optimieren zu können.

Das **Planungswerkzeug** selbst bietet aktuell eine **definierte Variantenvielfalt** der abbildbaren Gebäudecharakteristik beziehungsweise **Anwendungsfälle** (vergleiche auch Kapitel 3) in Form von:

- drei verschiedenen **Bauweisen**,
- drei verschiedenen **energetischen Anforderungsniveaus**,
- zwei verschiedenen **Anforderungsniveaus für den Schallschutz sowie**
- sechs verschiedene **Energieversorgungskonzepte** sowie die optionale Berücksichtigung von Aspekten der Klimakompensation über Photovoltaik.

Mit dem Planungstool PEHOBA **können sowohl Neubau- als auch Bestandsgebäude** (hier nur über den Gebäudebetrieb) analysiert werden. Auch können Änderungen in der Wahl der Gebäudeeigenschaften im Ergebnis sichtbar gemacht werden - und zwar sowohl in Bezug auf **einzelne Lebenszyklusmodule** (Herstellung, Nutzung, Lebensende) als auch **einzelne Gebäudebestandteile** (Bauteile der Baukonstruktion und der Technischen Gebäudeversorgung).

Der **Fokus** des Planungstools **PEHOBA** in der Anwendung liegt aktuell auf der **einfachen und intuitiven Analyse von potenziellen Umweltwirkungen (CO₂-äquivalente Emissionen) von Hotelbauvorhaben im Neubau**. Mit Hilfe **weniger Eingabe- und Ausgabeparameter** zur Bauweise, zur Energieversorgung und energetischen sowie akustischen Anforderungen, kann **ohne spezifische Vorkenntnisse zur Ökobilanz** eine Abschätzung vorgenommen werden. Ziel ist dabei, dem KMU die **Wechselwirkungen zwischen energetischen, ökologischen und bauphysikalischen Aspekten (insbesondere Schallschutz) aufzuzeigen**.

Förderprogramme wie die „Bundesförderung energieeffiziente Gebäude (BEG)“ beziehungsweise das KfW-Programm „Klimafreundliche Nichtwohngebäude“ oder aber auch die Nachhaltigkeitszertifizierung (z. B. auf Basis des Systems der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V.) adressieren Aspekte klimaschonender Maßnahmen im Bereich Neubau und Sanierung – und sind somit auch für KMU und ihre Hotelbauten relevant. Grundlage der Förderung beziehungsweise der Bewertung stellen hier unter anderem Gebäudeökobilanzen auf Basis des „Qualitätssiegels Nachhaltiges Bauen (QNG)“ dar. Die Vorgaben hierfür, gehen über die im Planungstool PEHOBA adressierten Aspekte hinaus und erfordern zum Teil hohe Fachexpertise in Bezug auf das Thema Klimaschutz und Ökobilanz und werden daher zumeist nicht für kleinere Bauvorhaben praktiziert (vergleiche auch zertifizierte nachhaltige Hotelbauvorhaben unter <https://www.dgnb-system.de/de/projekte/>). Das Planungstools **PEHOBA** kann hier als eine Art **Einstiegsinstrument** verstanden werden, das das Thema **Klimaschutz im Gebäudebereich (über die Methode der Gebäudeökobilanz) insbesondere für KMU** nun in einem ersten Schritt **einfacher greifbar und anwendbar** macht.

Die Weiterführung der Stakeholder-Integration und die Verstetigung des Ergebnistransfers in Form von Öffentlichkeitsarbeit zum Planungstool PEHOBA ist im laufenden Jahr 2023 geplant. Relevante Projektergebnisse werden möglichst breit durch Beiträge in Zeitschriften und auf Fachveranstaltungen kommuniziert und der Tourismusbranche zugänglich gemacht (u. a. Vorträge, Workshops). Weitere Formate der Öffentlichkeitsarbeit werden mit Branchen- und Forschungspartnern (z. B. DEHOGA, CIST, DGT, AKTF etc.) abgestimmt. Der Fokus wird hier insbesondere auf der Bereitstellung von zielgruppenspezifischen Information, der Integration neuer Daten zum Hotelbau, der Plausibilisierung von Annahmen und weiterführenden potenziellen Praxistests liegen. Des Weiteren hat das Fraunhofer IBP u.a. mit der Wissenstransferplattform „WiTra – Knowhow für Nachhaltige Innovation“ in der Vergangenheit Möglichkeiten geschaffen, interaktiv Ergebnisse aus der Forschung in die Praxis und die breite Öffentlichkeit zu tragen. Die zukünftige Einbindung der Ergebnisse des Projektes PEHOBA ist hier ebenfalls denkbar und kann damit deren Sichtbarkeit nach außen stärken sowie den Transfer in die Breite weiter unterstützen.

Für die anwendungsorientierte (Weiter-)Entwicklung und Optimierung des Planungswerkzeugs PEHOBA ist zukünftig auch die vereinfachte Integration von Aspekten des modularen Umbaus und Innenausbau beziehungsweise der Nutzerausstattung denkbar sowie die verstärkte Ausrichtung der Analysefunktionalitäten in Bezug auf die vielfältigen Funktionsbereiche für den einzelnen Hotelbau. Der Austausch im Rahmen des formlosen Stakeholder-Prozesses mit KMU wird hier Aufschluss über die Relevanz und Notwendigkeit sowie die weitere Ausrichtung geben.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), „Bundesförderung für effiziente Gebäude - Klimafreundlicher Neubau (KFN),“ [Online]. Available: <https://www.qng.info/service/neubaufoerderung-kfn/>. [Zugriff am 20. März 2023].
- [2] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), „Informationsportal Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude,“ [Online]. Available: <https://www.qng.info/>. [Zugriff am 20 März 2023].
- [3] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), *Handbuch Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude. Version 1.2. Stand: 01.01.2023. Berlin, Deutschland. 2023.*
- [4] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. (DGNB), *DGNB System, Kriterienkatalog Gebäude Neubau, Version 2018. Stuttgart, 2018.*
- [5] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB),“ [Online]. Available: <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/>. [Zugriff am 20. März 2023].
- [6] J. Bortz und N. Döring, *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. 4. überarbeitete Auflage. Springer-Lehrbuch*, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg, 2006.
- [7] Institut Wohnen und Umwelt GmbH, „ENOB:dataNWG. Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude,“ [Online]. Available: <https://www.datanwg.de/home/aktuelles/>. [Zugriff am November 2022].
- [8] Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., „IÖR Informationssystem Gebaute Umwelt. Ressourcen. Bauwerksdatenbank. Nichtwohngebäude,“ [Online]. Available: <https://ioer-isbe.de/ressourcen/bauwerksdaten/nichtwohngebaeude>. [Zugriff am Dezember 2022].
- [9] Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI), *BKI Baukosten Gebäude + Bauelemente + Positionen Neubau 2022*, Stuttgart, Deutschland.
- [10] DEHOGA Deutsche Hotelklassifizierung GmbH, *Kriterienkatalog 2020 - 2025*, Berlin, Deutschland, 01.07.2020.
- [11] Deutscher Hotel- und Gaststättenverband e.V. (DEHOGA Bundesverband), *Nachhaltiges Wirtschaften in Hotellerie und Gastronomie. Tipps und Handlungsempfehlungen*, Berlin, Deutschland: DEHOGA Bundesverband, 2016.

- [12] Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI), *VDI 3807. Verbrauchskennwerte für Gebäude*, VDI Verlag, Düsseldorf, Deutschland.
- [13] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), *dena Fortschrittsbericht. Check-in Energieeffizienz. Ein dena Modellvorhaben zur energetischen Optimierung von Hotels und Herbergen*, Berlin, Deutschland: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2017.
- [14] Hotelstars Union AISBL, „HOTELSTARS.EU. Deutschland. Statistik,“ [Online]. Available: <https://www.hotelstars.eu/de/deutschland/system/statistik/>. [Zugriff am 24. November 2022].
- [15] Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, „GENERIS®,“ [Online]. Available: <https://www.generis.live>. [Zugriff am Januar 2023].
- [16] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., *KALKSANDSTEIN – Planungshandbuch. Planung, Konstruktion, Ausführung. Auflage 7. BV-902-18/01*, Hannover, Deutschland, Stand 05/2018.
- [17] InformationsZentrum Beton GmbH, „Planungsatlas Hochbau,“ [Online]. Available: <https://www.planungsatlas-hochbau.de/>. [Zugriff am September 2022].
- [18] Holzforschung Austria – Österreichische Gesellschaft für Holzforschung, „dataholz.eu,“ [Online]. Available: <https://www.dataholz.eu/>. [Zugriff am September 2022].
- [19] Statistisches Bundesamt (Destatis), „Bauen und Wohnen, Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff, Lange Reihen ab 2000,“ Wiesbaden, Deutschland, 2019.
- [20] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), *DIN 4109-1: Schallschutz im Hochbau. Teil 1: Mindestanforderungen. Deutsche Fassung DIN 4109-1:2018-1*. Beuth Verlag GmbH. 2018. Berlin, Deutschland.
- [21] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), *DIN 4109-5: Schallschutz im Hochbau. Teil 5: Erhöhte Anforderungen. DIN 4109-5:2020-08*. Beuth Verlag GmbH. 2020. Berlin, Deutschland.
- [22] Deutscher Bundestag, *Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG)*. Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2020 Teil I Nr. 37. 13. August 2020. Bonn, Deutschland.
- [23] Deutscher Bundestag, *Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor*. Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2022 Teil I Nr. 28. 28. Juli 2022. Bonn, Deutschland.

- [24] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), *DIN EN 15978: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode. Deutsche Fassung EN15978:2011*. Beuth Verlag, Berlin, 2012.
- [25] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), *DIN 277-1: Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen - Teil 1: Hochbau*. Beuth Verlag, Berlin, 2016.
- [26] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), *DIN 276: Kosten im Bauwesen*. Beuth Verlag, Berlin, 2018.
- [27] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), „Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG),“ [Online]. Available: https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/effiziente_gebaeude_node.html. [Zugriff am 20. März 2023].
- [28] Deutscher Bundestag, *Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) mit Änderung durch Art. 1 G v. 18.8.2021 (BGBl. I S. 3905)*. Bundesgesetzblatt, Berlin, Deutschland, 2021.
- [29] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. (DGNB), *DGNB System, Kriterienkatalog Innenräume, Version 2018*.
- [30] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), *DIN 4109-32: Schallschutz im Hochbau. Teil 32: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) - Massivbau. Deutsche Fassung DIN 4109-32:2016-07*. Beuth Verlag GmbH. 2016. Berlin, Deutschland.
- [31] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), *DIN 4109-32: Schallschutz im Hochbau. Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) - Holz-, Leicht- und Trockenbau. Deutsche Fassung DIN 4109-33:2016-07*. Beuth Verlag GmbH. 2016. Berlin, Deutschland.

Bildverzeichnis

Bild 1:	Projektstruktur und Arbeitspakete (AP)	4
Bild 2:	Schritte zur Durchführung der qualitativen Literaturanalyse	5
Bild 3:	PEHOBA Planungstool - Möglichkeiten zur Eingabe allgemeiner Gebäudedaten	9
Bild 4:	PEHOBA Planungstool – Eingabe und Auswahl bezüglich der geplanten Gebäudekonstruktion	11
Bild 5:	PEHOBA Planungstool – Ausgabe und Visualisierung absoluter Ergebnisse für die geplante Gebäudekonstruktion nach Lebenszyklusmodulen	12
Bild 6:	PEHOBA Planungstool – Ausgabe und Visualisierung absoluter Ergebnisse für die geplante Gebäudekonstruktion nach Bauteilen	14
Bild 7:	PEHOBA Planungstool – Ausgabe und Visualisierung relativer Ergebnisse für die geplante Gebäudekonstruktion nach Bauteilen	14
Bild 8:	PEHOBA Planungstool – Eingabe und Auswahl bezüglich des geplanten Gebäudebetriebes	16
Bild 9:	PEHOBA Planungstool – Ausgabe und Visualisierung absoluter Ergebnisse für den geplanten Gebäudebetrieb nach Wärme und Strom	17
Bild 10:	PEHOBA Planungstool – Eingabe und Auswahl Gebäudedetails für Gebäudelebenszyklus	18
Bild 11:	PEHOBA Planungstool – Ausgabe und Visualisierung absoluter Ergebnisse für den Gebäudelebenszyklus nach Lebenszyklusmodulen	19
Bild 12:	PEHOBA Planungstool – Ausgabe und tabellarische Darstellung absoluter Ergebnisse für den Gebäudelebenszyklus	21

