

Potenzial der ökologischen Optimierung technischer Gebäude- ausrüstung durch den Einsatz biogener Materialien

BiBi-TGA

J. Weithas, L. Eitzinger-Lange,
M. Leeb, T.Schnabel, F. Coosmann

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

66/2023

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren:

Jakob Weithas BSc MSc, DI Leonhard Eitzinger-Lange BSc, FH-Prof.-DI Dr. Markus Leeb (Fachhochschule Salzburg, Smart Building)
FH-Prof. DI (FH) Dr. Thomas Schnabel (Fachhochschule Salzburg, Holztechnologie und Holzbau)
Fabian Coosmann MSc (NaKu. e.U.)

Wien, 2023

Potenzial der ökologischen Optimierung technischer Gebäudeausrüstung durch den Einsatz biogener Materialien

BiBi-TGA

Jakob Weithas BSc MSc, DI Leonhard Eitzinger-Lange BSc, FH-Prof.-DI Dr. Markus Leeb
Fachhochschule Salzburg, Smart Building

FH-Prof. DI (FH) Dr. Thomas Schnabel
Fachhochschule Salzburg, Holztechnologie und Holzbau

Fabian Coosmann MSc
NaKu. e.U.

Salzburg, Dezember 2022

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM
Leiter der Abt. Energie und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	7
2	Abstract	9
3	Ausgangslage	11
	3.1. Ausgangssituation und Motivation	11
	3.2. Stand der Technik/Stand des Wissens	12
	3.2.1. Technische Gebäudeausrüstung.....	12
	3.2.2. Biogene Polymere, Verbund- und Holzwerkstoffe	12
	3.2.3. Lebenszyklusanalyse und ökologische Gebäudebewertung	14
4	Projekthalt	16
	4.1. Projektziele	16
	4.2. Aufbau des Forschungsvorhabens	17
	4.3. Methodik.....	17
	4.3.1. Datenermittlung des Referenzgebäudes.....	17
	4.3.2. Potenzialanalyse	20
	4.3.3. Lebenszyklusanalyse	24
5	Ergebnisse	30
	5.1. Potenzialanalyse	30
	5.1.1. Kategorie A	30
	5.1.2. Kategorie B	31
	5.1.3. Kategorie C.....	32
	5.1.4. Kategorie D	32
	5.1.5. Feststellungen zu biogenem Kunststoff	33
	5.1.6. Zusammenfassung	34
	5.1.7. Einbindung in die Ziele „Stadt der Zukunft“	34
	5.2. Lebenszyklusanalyse	35
	5.2.1. Massenbilanz des Referenzgebäudes.....	35
	5.2.2. Ökobilanzergebnisse des Referenzgebäudes	42
	5.2.3. Ökobilanzergebnisse des Gebäudevergleichs	48
	5.2.4. Zusammenfassung der Ergebnisse	49
6	Schlussfolgerungen	51
7	Ausblick und Empfehlungen	53
8	Verzeichnisse	54
9	Literaturverzeichnis	57

1 Kurzfassung

Ausgangssituation, Problematik und Motivation

Traditionell ist die technische Gebäudeausrüstung stark auf optimierte Energieeffizienz in der Nutzungsphase ausgerichtet, dementsprechend steigen dadurch gezwungenermaßen die Anteile der anderen Lebenszyklusphasen (Herstellung, Recycling, Deponierung etc.) an den Gesamtemissionen von Gebäuden (Chuchra et al. 2020). Ergebnisse bei Passer et al. 2012 zeigen, dass in Österreich bereits ein hohes Niveau in der energetischen Optimierung von Gebäuden im Neubau erreicht ist und somit das Gesamtpotenzial für Verbesserungen als eher gering eingeschätzt wird. Im Gegensatz dazu zeigen Forschungsergebnisse zu integrierten Ökobilanzen (iLCA), dass die verwendeten Bauprodukte - sowohl in der technischen Gebäudeausrüstung als auch in der Bausubstanz und dem Innenausbau - ein hohes Potenzial zur ökologischen und energetischen Optimierung aufweisen (Passer et al. 2012).

Ziele und Innovationsgehalt

Zukünftig werden sowohl das Bewusstsein in der Bevölkerung für nachhaltige Produkte in Gebäuden steigen als auch die normativen und gesetzlichen Anforderungen zur ökologischen Optimierung im Baubereich verschärft werden. Primäres Ziel des Projekts ist die Erhebung des Substitutionspotenzials herkömmlicher technischer Gebäudeausrüstung durch biogene Ressourcen in Bürogebäuden. Es sollen in einem ersten Schritt Komponenten technischer Gebäudeausrüstung eines definierten Referenz-Bürogebäudes mit größtmöglichem Optimierungspotenzial, bezogen auf ihre Masse, identifiziert werden. In weiterer Folge sollen die Potenziale der technischen Umsetzbarkeit, sowie der Verbesserung der ökologischen Performance der jeweiligen Substitution anhand von LCA-Screenings analysiert werden. Die Betrachtung der technischen Gebäudeausrüstung mit einer mehrstufigen Potenzialanalyse auf Basis der Kombination von Massenpotenzialen, technischer Umsetzbarkeit und ökologischer Betrachtung biogener Materialien stellt eine Innovation dar.

Methode

Um den möglichen Einsatz von biogenen Materialien in der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) beurteilen zu können ist ein methodischer Ansatz notwendig. Zuerst werden die Systemgrenzen gezogen und ein Referenzfall definiert. Konkret handelt es sich um ein Bürogebäude mit fünf Obergeschossen in moderner Bauweise der letzten 5 Jahre. Für dieses Objekt wird eine Massenbilanz aus Hochbau und Gebäudetechnik erstellt mit besonderem Fokus auf feingliedrige Aufnahme der Gebäudetechnik. Anhand der verfügbaren Datensätze aus der Lebenszyklusanalyse werden diese erfasst und mit Umweltwirkung beziffert. Die Materialfraktionen werden festgestellt und in der technischen Gebäudeausstattung nach Gewerk gegliedert. Daraufhin werden gewisse Komponenten wie beispielsweise Dämmstoffe, Rohrleitungen und Kleinteile kategorisiert und zusammengefasst. Diese werden auf die derzeitigen GWP-Potentiale heruntergebrochen und daraufhin nach Alternativlösung recherchiert, sofern diese im Rahmen des technisch und normativ möglichen liegen.

Analog dazu werden für als aussichtsreich bewertete Komponenten auf mögliche Lösungen im Bereich des 3D-Drucks untersucht und direkt der Prototypisierung unterworfen.

Ergebnisse und Erkenntnisse

Die Ergebnisse, die durch Kombination aus gebäudetechnischem, materialwissenschaftlichem und herstellerbezogenem Know-How und der detaillierten Modellierung und Analyse der technischen

Gebäudeausrüstung anhand von Lebenszyklusanalysen gewonnen werden, ermöglichen die Einordnung und Potentialermittlung für moderne Bürogebäude. Der Massenanteil der TGA von einem Hundertstel ist im untersuchten Gebäude für 12 % des Treibhauspotenzials (Global Warming Potential, GWP) verantwortlich, verstärkt in Lüftungstechnik und Wärmeversorgung. Jedoch auch die Gewerke Elektro und Sanitär bieten Potentiale. Biogener Kunststoff kann für Kleinteile aus diversen TGA-Gewerken durch geringe materialtechnische Anforderungen zeitnah eingesetzt werden, wobei die genauen chemischen Zusammensetzungen und Herstellungsverfahren noch erprobt werden müssen. Analog dazu sind Kunststoffrohrleitungen durch „Drop-in“-Lösungen, also dem Ersatz erdölbasierter Granulate durch biogene, möglich, jedoch unerprobt und komplexer was Herstellungsverfahren und Anforderungen betrifft. Die großen Metallanteile in der TGA, insbesondere bei Lüftungsleitungen, stellen eine komplexere Herausforderung für den Einsatz biogener Materialien dar. Das Potential ist durch den großen ökologischen Fußabdruck der Metallherstellung signifikant, Kunststoff als Ersatzmaterial ist denkbar, ebenso wie Holzwerkstoffe, wobei hier noch wirtschaftliche und technische Hürden zu meistern sind. Besonders attraktiv ist die Nutzung von Materialien, die derzeit thermisch verwertet werden oder gar deponiert, wie Tannin-Schaum als Ersatz in der Kälte­dämmung. Mit dem sogenannten „4D-Druck“ und Komposit-Materialien aus Holz lassen sich Bauteile kreieren, die auf Basis von Luftfeuchtigkeit und anderer Parameter ihre Form wechseln, wodurch sich Low-Tech-Lösungen für die TGA ergeben.

Diese Studie kann somit die Basis für weitere F&E-Projekte sowie Kooperationen und ökologische Produktentwicklungen im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung darstellen.

2 Abstract

Initial situation and motivation

Traditionally, technical building equipment is strongly focused on energy efficiency in the usage phase of buildings. This inevitably increases the share of emissions in the other life cycle phases such as production, recycling and landfill of buildings (Chuchra et al. 2020). Results in Passer et al. 2012 show that a high level of energy optimization of new buildings has already been achieved in Austria, thus the improvement potential is considered to be rather low. In contrast to these findings, research results of integrated life cycle assessments (iLCA) show that the building products used in the technical building equipment and fabric as well as the finishing show a high potential for ecological and energy related optimization (Passer et al. 2012)

Goals and innovation

Awareness for sustainable products in buildings is increasing. To meet the legal requirements for ecological optimization in the building sector will become more demanding in the future. The main objective of the project is to determine the substitution potential of conventional technical building equipment with biogenic resources in office buildings. In a first step, components of technical building equipment of a defined reference office building with the greatest possible optimization potential in relation to their mass will be identified. Subsequently, the potentials of the technical feasibility as well as the change in ecological performance of the respective components will be analyzed using LCA screenings. The investigation of the technical building equipment using a multi-stage potential analysis based on the combination of mass potentials, technical feasibility and ecological assessment of biogenic materials represents an innovation.

Method

In order to assess the potential use of biogenic materials in TGA, a methodical approach is necessary. First, the system boundaries are drawn and a reference case is defined. In concrete terms, this is an office building with five upper floors in modern construction from the last 5 years. For this object, a mass balance of building construction and building services is drawn up with a special focus on the detailed recording of the building services. Using the available data sets from the life cycle analysis, these are recorded and quantified with environmental impact. The material fractions are determined and broken down by trade in the technical building equipment. Then certain components such as insulation materials, piping and small parts are categorised and summarised. These are broken down to the current GWP potentials and then researched for alternative solutions, provided these are within the scope of what is technically and normatively possible.

Similarly, for components assessed as promising, possible solutions in the field of 3D printing are investigated and directly subjected to prototyping.

Results

The results, which are obtained by combining building technology, material science and manufacturer-related know-how with detailed modelling and analysis of the technical building equipment based on life cycle analyses, enable the classification and determination of potential for modern office buildings. The mass share of the building services equipment of one hundredth is responsible for 12 % of the GWP in the building studied, with ventilation technology and heat supply accounting for a greater

share. However, the electrical and plumbing trades also offer potential. Biogenic plastics can be used promptly for small parts from various building services trades due to low material requirements, although the exact chemical compositions and manufacturing processes still need to be tested. Similarly, plastic pipelines are possible through "drop-in" solutions, i.e. the replacement of petroleum-based granulates with biogenic ones, but untested and more complex in terms of manufacturing processes and requirements. The large metal content in technical building equipment, especially in ventilation ducts, poses a more complex challenge for the use of biogenic materials. The potential is significant due to the large ecological footprint of metal production; plastic as a substitute material is conceivable, as are wood-based materials, although economic and technical hurdles still need to be overcome here. Particularly attractive is the use of materials that are currently thermally recycled or even landfilled, such as tannin foam as a substitute in cold insulation. With so-called "4D printing" and composite materials made of wood, components can be created that change shape based on humidity and other parameters, resulting in low-tech solutions for HVAC components.

3 Ausgangslage

3.1. Ausgangssituation und Motivation

Die Dekarbonisierung ist Hauptziel der europäischen Klima- und Energiepolitik. Um dieses Ziel zu unterstützen hat auch Österreich mit seinem Energie- und Klimaplan diese Vorgaben adressiert. Der Beitrag des Bausektors an den globalen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), dem Abfallaufkommen und dem Ressourcenverbrauch ist erheblich. 35 % des globalen Energieverbrauchs und 38 % der energiebezogenen CO₂-Emissionen sind auf selbigen zurückzuführen, was ihn zu einem starken Treiber der globalen Klimaerwärmung macht (United Nations Environment Programme 2020). Auch auf nationaler Ebene trägt der Gebäudesektor in Österreich erheblich zu den Treibhausgasemissionen bei – laut Umweltbundesamt hat er mit ca. 10 % einen signifikanten Anteil an den nationalen THG-Emissionen. Im Bausektor sollen daher die Emissionen in Österreich um 3 Mio. t CO₂-eq gegenüber 2016 reduziert werden (Anderl et al. 2019). Durch die stetige Verbesserung der Energieeffizienz in der Nutzung von Gebäuden wird versucht, die negative Umweltwirkung und den Anteil des Bausektors zu reduzieren, jedoch steigen dadurch die anteiligen Emissionen in den anderen Lebenszyklusphasen (Chuchra et al. 2020). Wie Ergebnisse aus der Forschung zeigen, ist in Österreich, was die energetische Optimierung von Gebäuden in der Nutzung betrifft, ein sehr hohes Niveau erreicht (Passer et al. 2012). Dementsprechend wird hier ein geringes Gesamtpotenzial an möglichen Verbesserungen für die Zukunft prognostiziert. Im Gegensatz dazu schreiben Forschungsergebnisse zu integrierten Ökobilanzen (iLCA) den verwendeten Bauprodukten in der technischen Gebäudeausrüstung sowie der Bausubstanz und dem Ausbau ein hohes Optimierungspotenzial zu (Passer et al. 2012). Je nach Technisierungsgrad und Ausstattung können zwischen 5 und 25 % der gebäudebezogenen Treibhausgas-Emissionen auf den Bereich der Gebäudetechnik zurückgeführt werden (Weißberger 2016). Es ist somit wichtig, parallel zur Energieeffizienzsteigerung auch die Umweltwirkungen der anderen Lebenszyklusphasen wie Herstellung, Rückbau und das Lebensende der Produkte (Deponierung, Recycling etc.) speziell auch in der technischen Gebäudeausrüstung zu betrachten und in Entscheidungen zu berücksichtigen (Blengini und Di Carlo 2010; Optis und Wild 2010; Passer et al. 2012). Die Problematik bei der ökologischen Analyse war und ist die häufig hohe Komplexität technischer Gebäudeausrüstung, der damit verbundene hohe Zeitaufwand bei der Modellierung und die oft unzureichenden Datengrundlagen, was zu einer Unterrepräsentation der Gebäudetechnik bei der Bewertung der ökologischen Performance von Gebäuden führt - auch deshalb wird diese in üblichen Bewertungsverfahren oft vereinfacht abgebildet (Chuchra et al. 2020; Passer et al. 2012; Weißberger 2016). Nicht nur THG-Emissionen belasten zunehmend unsere Umwelt, auch der hohe Primärbedarf an Materialressourcen und das hohe Abfallaufkommen haben großen negativen Einfluss. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, ist der Bausektor für 21 % des Primärbedarfs an Kunststoff verantwortlich. 5 % des nationalen Primäraufkommens an Kunststoffabfällen ist auf den Bau- und Infrastruktorsektor zurückzuführen. Dementsprechend müssen hier Forschung & Entwicklung vorangetrieben werden, um die Ziele des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft der Europäischen Union zu erreichen. Im Rahmen dieses Sondierungsprojekts wird der Ansatz zur ökologischen Verbesserung von Gebäuden in dem Maße verfolgt, als der Fokus auf Gewerke gelegt wird, die sonst nur geringfügigere Beachtung finden. Aus den gesichteten Literaturquellen lässt sich für den Bereich der Gebäudetechnik ein deutliches Verbesserungspotenzial ableiten. Wie groß dieses

ist, lässt sich ohne konkrete Untersuchungen schwer quantifizieren. Zu dieser Fragestellung leisten die Erkenntnisse aus den Untersuchungen in diesem Forschungsprojekt einen wesentlichen Beitrag.

3.2. Stand der Technik/Stand des Wissens

3.2.1. Technische Gebäudeausrüstung

Technische Gebäudeausrüstung ist von zentraler Relevanz bei der Planung moderner Gebäude. Die effiziente und sichere Bereitstellung von Wärme, Warmwasser, Elektrizität und Frischluft bildet die Grundlage eines hohen Nutzkomforts. Die Forschung und Entwicklung im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung widmete sich im letzten Jahrzehnt primär dem Thema Energieeffizienzsteigerung im Gebäudebetrieb. Zielsetzung dabei ist, mit einem Minimum an Energie einen maximalen Komfort für die Nutzer*innen zu gewährleisten und zugleich die Reduktion von Kosten und Emissionen von Gebäuden voranzutreiben – auch als Reaktion auf die stetig steigenden Treibhausgas-Emissionen und die von der europäischen Union vorgegebenen Energieeffizienzrichtlinie (Richtlinie 2010/31/EU) (Passer et al. 2012; Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 2010; Wietschel 2010). Im Zuge dieser stetigen Verbesserung der Energieeffizienz werden Gebäude nicht mehr nur als Energiekonsumenten, sondern durch die Nutzung von PV-Anlagen oder der Einspeisung überschüssiger Wärme in öffentliche Netze, auch als Erzeuger von Energie gesehen. In solchen Konzepten erhöht sich damit einhergehend meist auch die Zahl an gebäudetechnischen Komponenten. Die derzeit komplexe und daher meist vernachlässigte Betrachtung der ökologischen Eigenschaften der Gebäudetechnikkomponenten kann wesentlichen Einfluss auf die umweltbezogenen Auswirkungen des Bauwerks haben (Weißenberger 2016). Betrachtet man die Entwicklung von gebäudetechnischen Komponenten, lässt sich erkennen, dass sich, neben dem primären Fokus auf eine effiziente Nutzung der Anlagen und Systeme, die eingesetzten Materialien in den letzten Jahren nur geringfügig verändert haben bzw. ressourcenschonende Alternativen am Markt kaum vorhanden sind (Albers 2018). Hier setzt das gegenständliche Forschungsvorhaben an. Um den aktuellen Stand der Technik der gebäudetechnischen Ausrüstung in Bürogebäuden im Projekt widerzuspiegeln, werden anhand eines Referenzgebäudes ein übliches TGA-System abgebildet und verschiedene Möglichkeiten der Substitution beispielhaft betrachtet.

3.2.2. Biogene Polymere, Verbund- und Holzwerkstoffe

Kunststoffe sind in nahezu allen Anwendungsbereichen und Wirtschaftssektoren nicht mehr wegzudenken. Der Großteil der Kunststoffe wird auf Basis der endlichen Ressource Erdöl hergestellt. Deren Gewinnung sowie andere vor- und nachgelagerte Prozessketten, angefangen von der Exploration über die Herstellung von Produkten, bis zur Entsorgung in Form von Deponierung, Verbrennung oder Verteilung, verursachen große negativen Umweltwirkungen (Firschenschlager et al. 2018).

Der Bereich Bau & Infrastruktur ist in Österreich als zweitgrößter Verursacher von Kunststoffabfällen hinter dem Verpackungssektor zu nennen und trägt mit 5 % zum Primäraufkommen an Kunststoffabfall bei. Obwohl das Recycling in der Abfallhierarchie noch vor anderen Verwertungsoptionen steht, werden Kunststoffabfälle primär einer energetischen Verwertung zugeführt (Stoifl et al. 2017). Auch beim Primärbedarf an Kunststoffen ist die Bauwirtschaft mit einem Anteil von ca. 21 % zweitgrößter Treiber in Österreich. Auch hier übersteigt nur der Verpackungssektor mit 31 % den Anteil der

Bauwirtschaft (Stoifl et al. 2017). Aufgrund der endlichen Rohstoffverfügbarkeit müssen die Recyclingquoten und Wiederverwendung von Kunststoffen erhöht werden bzw. alternative Rohstoffe erforscht werden, um den Bedarf an Kunststoff zukünftig zu decken – dies ist auch die Kernstrategie der Europäischen Union im EU-Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (Firschenschlager et al. 2018). Biobasierte Kunststoffe und Verbundwerkstoffe können eine wichtige Säule bei der Erhöhung der Recyclingquoten in der Bauwirtschaft darstellen, was die Forschung im Bereich der Kunststoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe (bspw. Polylactide, PLA) in den letzten Jahren stark ansteigen ließ. Grundsätzlich müssen bei biobasierten Kunststoffen oder Biopolymeren folgende drei Gruppen differenziert werden:

- abbaubare petrobasierte Biopolymere
- abbaubare (überwiegend) biobasierte Biopolymere
- nicht abbaubare biobasierte Biopolymere

Biopolymere können demnach auch auf der Basis von Erdöl hergestellt werden, die jedoch biologisch abbaubar sind. Demgegenüber können Biopolymere auf Basis nachwachsender Rohstoffe hergestellt werden, die jedoch nicht biologisch abbaubar sind. Dabei kann zusätzlich noch zwischen biologisch abbaubar und kompostierbar (d.h. nach ÖNORM EN 13432 und EN 14995 innerhalb von 6 Monaten sind mindestens 90 % des Produkts abgebaut) differenziert werden. Diese Abgrenzung wird bei sogenannten Kunststoffblends erschwert, in welche biobasierte und fossile Anteile vermischt werden. Die Vorteile, die durch den Einsatz biobasierter Kunststoffe entstehen, sind vielfältig. Einerseits haben sie einen positiven Einfluss auf die CO₂-Bilanz, da bei der thermischen Behandlung oder Kompostierung von nachwachsenden Rohstoffen nur so viel Kohlenstoffdioxid freigesetzt wird, wie während des Wachstums des Rohstoff aus der Atmosphäre entnommen wurde, jedoch schwankt dies laut Philp et al. (2013) je nach Polymerart und Herstellungsprozess, andererseits können Biokunststoffe aus landwirtschaftlichen Reststoffen oder Nebenprodukten gewonnen werden, sowie grundsätzlich recycelt oder energetisch verwertet werden (Philp et al. 2013). Demgegenüber stehen die Konkurrenz zur Lebensmittelindustrie und der zukünftig prognostizierte hohe Flächenverbrauch (Stoifl et al. 2017). Biokunststoffe werden aktuell beispielsweise aus Stärke-Derivaten (Thermoplastische Stärke, TPS), aus Polyhydroxalkanoate (PHA), aus Polymilchsäure (Polylactic Acid, PLA) oder aus Cellulosederivaten oder Lignincellulose hergestellt und verfügen jeweils über unterschiedliche technische und chemische Eigenschaften. PLA ist beispielsweise unter industriellen Bedingungen biologisch abbaubar und in großen Mengen und unterschiedlichen Typen auf dem Markt verfügbar und wurde beispielsweise zur Herstellung von Prototypen im Bereich der Elektronik- und Bauindustrie für Schalter und Tasten vom Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik getestet – aktuelle Forschungsergebnisse liegen noch nicht vor (siehe: Projekt TechPLAstic). Auch die Technische Universität Chemnitz hat Rohre für Abwasserleitungen aus Biokunststoffe bzw. PLA-Compounds im Einschicht- und Dreischichtrohr-Extrusionsverfahren getestet und kam zu vielversprechenden Ergebnissen¹. An diese Forschungsschwerpunkte soll angeknüpft werden und um die ökologische Analyse erweitert werden, um das Potenzial für die ökologische Verbesserung der technischen Gebäudeausrüstung, bezogen auf Ressourceneinsatz und Umweltwirkung, zu erforschen.

Auch die Potenzialabschätzung des Einsatzes von holzbasierten Materialien bzw. Verbundwerkstoffen ist wesentlicher Bestandteil des Forschungsprojektes. Holzwerkstoffe finden primär Einsatz im

¹ <https://www.leichtbau.tu-chemnitz.de/project/biokunststoffe>

Hochbau und sind in der technischen Gebäudeausrüstung unterrepräsentiert. Für den Einsatz von Holzwerkstoffen in der Gebäudetechnik sind speziell Wood Plastic Composites (WPC) zu nennen, welche einen Verbund zwischen (Bio)-Kunststoffen und Holzfasern (bspw. Sägespäne oder Pflanzenfasern) darstellen. Die Herstellung von WPCs findet in Österreich bereits statt, sie werden beispielsweise von der FASAL WOOD GmbH im Spritzgießverfahren produziert (Firschenschlager et al. 2018).

3.2.3. Lebenszyklusanalyse und ökologische Gebäudebewertung

Bei der ökologischen Analyse und Bewertung von Gebäuden werden grundsätzlich drei unterschiedliche Forschungsansätze verfolgt: Die vollständige ökologische Bilanzierung von Gebäuden, die Quantifizierung und Analyse der Umweltwirkung einzelner Bauprodukte sowie die Analyse und Quantifizierung auf der Ebene von Komponenten und Bauelementen (Weißberger 2016; Optis und Wild 2010). Die grundlegenden Normen, welche zur Durchführung von Ökobilanzierungen und LCA-Screenings in allen Sektoren angewendet werden, sind:

- ÖNORM EN ISO 14040:2021 Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen und
- ÖNORM EN ISO 14044:2021 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitung

Die Grundlagen der Bewertung der Umweltqualität von Gebäuden sind in folgenden Normen definiert:

- ÖNORM EN 15978:2012 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode und
- ÖNORM EN 15643:2021 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 2: Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität enthalten.

Auf Bauprodukt- bzw. Komponentenebene sind folgende Normen als Grundlage heranzuziehen:

- ÖNORM EN 15804:2022 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen (EPD) – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte Grundlage sowie die
- ÖNORM EN ISO 14025:2006 Umweltkennzeichnung und -deklaration – Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren

Jedoch werden durch eine EPD keine ökologische Bewertungen abgegeben, sondern nur verifizierte Quantifizierungen von Ökobilanzdaten kommuniziert (Weißberger 2016). Entsprechend des aktuellen Normenwerks erfolgen auch die im Rahmen dieses Forschungsprojektes durchgeführten Lebenszyklusberechnungen. Gemäß dem aktuellen Stand der Technik werden zur Ökobilanzierung folgende zwei Modellierungsansätze unterschieden: attributive Ökobilanzen (A-LCA) bewerten die Umweltauswirkungen, die mit allen Phasen des Lebenszyklus eines Produkts, eines Prozesses oder eines Systems verbunden sind, von der Wiege bis zur Bahre (Cradle-to-Cradle, d. h. von der Rohstoffgewinnung über die Verarbeitung, Herstellung, Verteilung, Nutzung, Entsorgung). Die konsequenzorientierte Lebenszyklusanalyse (C-LCA) identifiziert die Konsequenzen für andere Systeme und Prozesse der Wirtschaft, basierend auf einer Veränderung innerhalb des betrachtenden Systems. Diese Methode verfolgt einen sehr transdisziplinären Ansatz und verknüpft unterschiedliche Lieferketten in unterschiedlichen Wirtschaftszweigen (Guintoli et al. 2019). Das Ziel der konsequenzorientierten Lebenszyklusanalyse ist das Abbilden von komplexen Wechselwirkungen zwischen Systemen und Lieferketten.

Im Rahmen dieses Projektes wird auf die Abbildung potenzieller Umweltwirkungen von Systemen technischer Gebäudeausrüstung und deren Vergleich abgezielt, daher wird ein attributiver Ansatz gewählt und dabei die Auswertungsmethoden nach IPCC angewendet.

4 Projektinhalt

4.1. Projektziele

Das Forschungsvorhaben zielt darauf ab, gebäudetechnische Produkte hinsichtlich ihrer möglichen Substitution mit biogenen Rohstoffen zu eruieren. Es sollen in einem ersten Schritt Komponenten mit dem größtmöglichem ökologischem Optimierungspotenzial identifiziert werden. Dafür werden für ein exemplarisches Beispielgebäude dem Stand der Technik entsprechende gebäudetechnische Anlagen definiert und systematisch dokumentiert. Als Referenzgebäude für die Definition der gebäudetechnischen Anlagen wird ein Bürogebäude gewählt. Der Fokus auf Bürogebäude erfolgt einerseits auf Basis der gesichteten Literatur, welche sich in den meisten Fällen speziell auf den Bereich der Ein- und Mehrfamilienhäuser bei der Betrachtung der Gebäudetechnik konzentriert und somit die Büronutzung unterrepräsentiert ist und andererseits, weil für Bürogebäude speziell in den Bereichen der Lüftungs- und Kühltechnik sowie Elektrotechnik ein signifikant höheres Substitutionspotenzial prognostiziert wird (Passer et al. 2012; Weißenberger 2016; Chuchra et al. 2020). Folgende übergeordneten Ziele werden demnach verfolgt:

Quantitative Ziele

- Massenbilanz der gebäudetechnischen Anlagen auf Basis des definierten Referenzgebäudes
- Klassifizierung der einzelnen Komponenten anhand eines technischen Anforderungskatalogs als Grundlage für die Potenzialanalyse
- Potenzialabschätzung für den Einsatz biogener Materialien und Verbundwerkstoffe in der technischen Gebäudeausrüstung
- LCA-Screening Ergebnisse
- Massen- und Stoffstromanalysen der bestehenden und optimierten Produktsysteme

Qualitative Ziele

- Definition eines Referenz-Bürogebäudes als Grundlage für die Erstellung der Massenbilanz der technischen Gebäudeausrüstung
- Erhebung der benötigten Rohstoffqualitäten bzw. Rohstoffmix für die einzelnen Materialien
- Identifikation von Stärken und Schwächen biogener Materialien und Verbundwerkstoffe für den Einsatz in der technischen Gebäudeausrüstung (Materialeigenschaften)
- Erkenntnisse über Stärken und Schwächen potenzieller Substitutionsprodukte bezogen auf deren ökologische Performance
- Erarbeitung von innovativen Verbundwerkstoffkonzepten

4.2. Aufbau des Forschungsvorhabens

Die Untersuchungen in diesem Forschungsprojekt beschäftigen sich mit der ökologischen Analyse eines Referenzgebäudes, wobei ein spezieller Fokus auf die technische Gebäudeausrüstung gelegt wird. Es soll das Potenzial der ökologischen Optimierung technischer Gebäudeausrüstung durch die Substitution von bestehenden gebäudetechnischen Komponenten durch biogene bzw. ökologisch verbesserte Materialien untersucht werden. In einem ersten Schritt muss somit ein repräsentatives, am aktuellen Stand der Technik geplantes und den aktuellen bautechnischen Verordnungen entsprechendes Referenzgebäude definiert werden. Der Fokus liegt, wie in vorangegangenen Kapiteln erläutert, auf Bürogebäuden, da hier nach eingehender Recherche wissenschaftlicher Fachliteratur mit einem erhöhten Optimierungspotenzial in den Bereichen Lüftungs- und Kühltechnik, sowie Elektrotechnik gerechnet wird und diese bei ökologischen Analysen gegenüber Ein- und Mehrfamilienhäusern unterrepräsentiert sind (Passer et al. 2012; Weißenberger 2016; Chuchra et al. 2020).

Auf Basis des Referenzgebäudes werden anschließend die Bauteile der gebäude- und bautechnischen Komponenten in einer Massenbilanz nach Materialien und Massenanteilen zusammengefasst, welche die Grundlage für die Analyse von Substitutionspotenzialen in der Gebäudetechnik bildet. Zur Durchführung dieser Vorhaben wurden vier Arbeitspakete definiert, welche im Zuge des Projekts bearbeitet wurden (siehe Tabelle 1):

Tabelle 1: Übersicht der Arbeitspakete

	Arbeitspaket-Bezeichnung	Geplantes Ergebnis
AP01	Projektmanagement	Endbericht
AP02	Systemdefinition und Massenbilanz	Definition des Referenzgebäudes mit Massenbilanz und Anforderungskatalog
AP03	Potenzialanalyse für Biopolymere und Holzwerkstoffe	Quantifizierbare Potenziale zu biobasierten Polymeren, Verbundwerkstoffen und Holzwerkstoffen
AP04	Analyse des ökologischen Optimierungspotenzials	Ökologische Analyse, Lebenszyklusanalyse eines Referenzgebäudes mit Fokus auf technische Gebäudeausrüstung

4.3. Methodik

4.3.1. Datenermittlung des Referenzgebäudes

In diesem Kapitel ist die Methodik zur Ermittlung der relevanten Daten des Referenzgebäudes dokumentiert, welches die Berechnungsgrundlage für die weiteren Aufgabenstellungen in den einzelnen Arbeitspaketen bildet. Ziel der Datenermittlung ist die Aufstellung einer Massenbilanz in Kilogramm (kg) je verbauter Komponente bzw. Bauteilschicht. Die Planungsunterlagen sowie Ausschreibungsunterlagen für das Referenzgebäude wurden durch einen wirtschaftlichen Partner zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um ein aktuell in Bau befindliches Bürogebäude, welches im

Frühling 2023 fertiggestellt wird. Planstand war zum Zeitpunkt der Datenerfassung die Ausführungsplanung.

Auswertung der Energieausweisdaten

Als Grundlage zur Ermittlung der eingesetzten Baumassen der Bautechnik im Referenzgebäude werden die einzelnen Bauteile aus den Eingaben im Energieausweis herangezogen. Der Export des Bauteilkatalogs als Microsoft Excel Datei bildet somit den ersten Teil der Datengrundlage zur Erstellung der Massenbilanz für die nachfolgende Potenzial- und Lebenszyklusanalyse. Nach Export des Bauteilkatalogs werden die Massen der einzelnen Bauteilschichten aus Schichtdicke, Materialdichte und der jeweiligen Bauteilfläche ermittelt und nach *ÖNORM B 1801-1 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 1: Objekterrichtung* in einer Massenbilanz bzw. Inventarliste erfasst.

Auswertung der Ausschreibungsunterlagen

Da eine vollständige Aufstellung der verbauten Massen im Gebäude inkl. gebäudetechnischer Anlagen für Potenzial- und Lebenszyklusanalysen erfolgen soll, werden zusätzlich zur Erfassung der Bauteile der Bautechnik aus den Energieausweisdaten die Ausschreibungsunterlagen der einzelnen Technik-Gewerke zur Massenermittlung herangezogen. Diese bilden den zweiten Teil der Datengrundlage und werden aus den Leistungsbeschreibungen der konstruktiven Ausschreibungsunterlagen der Technik-Gewerke (HKLS) und weiteren verbauten Anlagen ermittelt. Zur Überführung der Komponentenlisten in die Massenbilanz nach *ÖNORM B 1801-1* werden die jeweiligen Gewichtangaben der einzelnen Komponenten je Stück aus den Angaben in Produktdatenblättern ermittelt. Aus der Summe der Stückzahlen und den Gewichtsangaben je Stück bilden sich die Massen der einzelnen Komponenten. Nicht für jedes Produkt ist eine Ermittlung der Gewichtsangaben aus Produktdatenblättern möglich. Um auch diese Massenbestandteile zu ermitteln, werden die verwendeten Materialien für die jeweiligen Komponenten und deren Materialdichte recherchiert und auf Basis der Stückzahlen deren Massen erfasst. Im nachfolgenden Kapitel sind die wichtigsten Eckdaten und Parameter des Referenzgebäudes dokumentiert.

Referenzgebäude

Beim Referenzgebäude handelt es sich um ein Bürogebäude im Bundesland Vorarlberg, welches den aktuellen bautechnischen Vorgaben im Bundesland entspricht und somit die Anforderungen der *OIB Richtlinie 6, April 2019 Energieeinsparung und Wärmeschutz* laut *Bautechnikverordnung 2017 (LGBl.Nr. 93/2016)* erfüllt. Der Gebäudestandard entspricht dem aktuellen Stand der Technik und eignet sich somit für den Projektgegenstand. Ein Steckbrief des Gebäudes mit Eckdaten und wichtigsten Parametern ist in nachfolgender Tabelle 2 dokumentiert.

Tabelle 2: Hauptparameter des Referenzgebäudes

Parameter	Wert	Einheit
Geometrie		
Bruttogrundfläche (BGF) ²	3.799	m ²
Nettogrundfläche (NGF) ³	3.039	m ²
Lichte Raumhöhe OG1-5	2,93	m
Lichte Raumhöhe EG	3,83	m
Fensterfläche	791	m ²
Fensterflächenanteil (Fensterfläche/Fassadenfläche)	53	%
Kompaktheit	0,27	-
Anzahl Vollgeschoße gesamt (UG+EG+OG1-5)	7	-
Bautechnik		
Bauweise	Mittelschwere Bauweise	-
HWB _{Ref, RK} ⁴	30,00	kWh/m ² a
Außenwand-Konstruktion	Monolithisch (Dämmziegel)	-
U-Wert, Mittelwert EG & OG	0,13	W/m ² K
Fenster-Konstruktion	Dreifach-Sonnenschutzglas	-
Fensterrahmen	Holz-Alu-Rahmen	-
U-Wert Fenster	0,91	W/m ² K
Dachform	Flachdach	-
Gebäudetechnik		
Heizungstyp/Wärmerzeugung	Luft/Wasser Wärmepumpe	-
Wärmeabgabe	Flächenheizung	-
Energieträger	Strom	-
Warmwasserbereitstellung	Dezentral	-
Lüftung	Lüftungsanlage mit WRG	-
Solar-/PV-Anlage	Keine Solar/PV	-
Kühlung	Fan-Coil-System	-

Geometrie

Das Referenz-Bürogebäude verfügt über sieben Vollgeschoße (inkl. UG) mit einer gesamten Bruttogrundfläche von ca. 3.000 m², welche im Referenzgebäude gleichmäßig auf das EG und OG aufgeteilt ist. Die Grundflächen von EG und OG sind als Rechteck mit jeweils einer Länge von 25,00 m und einer Breite von 25,00 m festgelegt. Der Anteil der Fensterfläche an der Fassadenfläche beträgt ca. 53 % bei einer lichten Raumhöhe von 3,83 m im Erdgeschoß und 2,93 m in den Obergeschoßen.

Bautechnik

Das Referenzgebäude ist in mittelschwerer Bauweise mit Flachdach ausgeführt. Die Fenster werden als Dreifach-Sonnenschutz-Verglasung mit Holz-Alu-Rahmen und einem U-Wert von 0,91 W/m²K ausgeführt – zusätzlich wird ein außenliegender Sonnenschutz montiert. Die Außenwand ist in monolithischer Bauweise mit einem ausgedämmten Ziegel mit einem mittleren U-Wert von

² Die Brutto-Grundfläche nach ÖNORM B 1800:2013 ist die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerks und ist in Netto-Grundfläche und Konstruktions-Grundfläche gegliedert (ÖNORM B 1800:2013).

³ Die Netto-Grundfläche nach ÖNORM B 1800:2013 ist die Summe der zwischen den aufgehenden Bauteilen befindlichen Bodenflächen (Fußbodenfläche) aller Grundrissebenen eines Bauwerks und ist in Nutzfläche, Funktionsfläche und Verkehrsfläche gegliedert.

⁴ HWB_{Ref, RK}: Spezifischer Referenzheizwärmebedarf mit realem Transmissionsleitwert und Referenzlüftungsleitwert mit Referenzklimabedingungen in kWh/(m²*a) nach ÖNORM H 5050-1:2019, Gleichung 6 (ÖNORM H 5050-1:2019).

0,13 W/m²K umgesetzt. Die wichtigsten Aufbauten der Außenbauteile sind Ergebnisteil im Punkt „Außen- und Innenbauteile“ dokumentiert.

Gebäudetechnik

Die Wärmeerzeugung im Gebäude erfolgt über eine Luft-Wasser-Wärmepumpe. Als Wärmeabgabesystem in den Stockwerken der Büronutzung Unterflurkonvektoren, im Gastronomiebereich im Erdgeschoss dient eine rohrleitungsgeführte Fußbodenheizung. Ausgeführt ist das Wärmeabgabesystem mit Einzelraumregelung mit Thermostatventilen. Die Bereitstellung des Warmwassers erfolgt dezentral. Das Gebäude verfügt über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und einer Kühlfunktion auf Basis eines Fan-Coil-Systems mit Luft- & Kaltwasser-Wärmetauscher.

Fenster

Die Fenster sind, wie im vorherigen Kapitel definiert, mit Dreifach-Sonnenschutzglas mit einer Argon Gasfüllung und einem U-Wert von 0,60 W/m²K ausgeführt und verfügen über Abstandhalter aus Edelstahl. Der Fensterrahmen ist als hochwärmedämmender Holz-Alu-Rahmen mit einem U-Wert von 1,30 W/m²K festgelegt. Die gesamte Fensterfläche umfasst ca. 790 m², was einem Anteil von ca. 50 % der Fassadenfläche entspricht.

4.3.2. Potenzialanalyse

Nach der grundlegenden Datenermittlung soll nun eine Bewertung der Potenziale erfolgen. Eine Festlegung, welche Kriterien unter welchen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen sind, sowie diese qualitativ oder quantitativ festzustellen, erfolgt im Rahmen dieses Arbeitsschritts.

Das Feld der „Technologiebewertung“, welches hier grundlegende Erkenntnisse liefert, ist in Literatur und Praxis umfangreich, insbesondere da wissenschaftlicher Fortschritt unmittelbar zu Technologieführerschaft einzelner Unternehmen der Marktwirtschaft führen kann und sich daher eine Vielzahl an Methoden entwickelten (vgl. Kröll 2007, S. 34). Die Herangehensweisen reichen von Expert:innen-Interviews und Brainstorming über SWOT-Analysen oder Modellsimulationen bis hin zu komplexen stochastischen Modellen und entsprechenden Validierungsmaßnahmen.

Im Zuge von BiBi-TGA erfolgt die Technologiebewertung hauptsächlich auf rudimentärer Ebene in Form des Projektkonsortiums als Expert:innen im jeweiligen Fachgebiet. Wo möglich erfolgt auch eine Bewertung des GWP-Potenzials als quantifizierbares Mittel, wobei auch hier aufgrund der Datenlage Abstriche gemacht werden müssen und mit Ungenauigkeiten zu rechnen ist.

In Anlehnung an übliche Kriterien der Technologiebewertung (vgl. Kröll 2007) wurden für den Sonderfall, den dieses Projekt abbildet, einige Möglichkeiten diskutiert und schlussendlich zusammengefasst und drei Kriterien zur Technologiebewertung ausgewählt:

- Technologischer Reifegrad TRL
- Wertigkeit der Materialien („Competitors“)
- Ökologisches Potential im Lebenszyklus A1-A3

Die Hintergründe werden im Folgenden erläutert.

Technologischer Reifegrad TRL

Grundlage für die Bewertung nach technologischer Reife („Technology Readiness Level“) sind die EU- bzw. FFG-Richtlinien, wie dargestellt. Ein TRL von 1 ist „Orientierte Grundlagenforschung“ und weist die Grundprinzipien einer Technologie nach, auf einer Stufe von 9 ist eine wettbewerbsfähige Markteinführung möglich.

Forschungskategorie	Technology Readiness Level
Orientierte Grundlagenforschung	TRL 1 Nachweis der Grundprinzipien
Industrielle Forschung	TRL 2 Ausgearbeitetes (Technologie-)Konzept TRL 3 Experimentelle Bestätigung des (Technologie-)Konzepts auf Komponentenebene TRL 4 Funktionsnachweis der Technologie im Labor(-maßstab) auf Systemebene
Experimentelle Entwicklung	TRL 5 Funktionsnachweis der Technologie in simulierter, dem späteren Einsatz entsprechender Umgebung – beim industriellen Einsatz im Fall von Schlüsseltechnologien TRL 6 Demonstration der Technologie in simulierter, dem späteren Einsatz entsprechender Umgebung – beim industriellen Einsatz im Fall von Schlüsseltechnologien TRL 7 Demonstration des Prototyp(-systems) in Einsatzumgebung TRL 8 System technisch fertig entwickelt, abgenommen bzw. zertifiziert
Markteinführung	TRL 9 System hat sich in Einsatzumgebung bewährt, wettbewerbsfähige Produktion im Fall von Schlüsseltechnologien

Abbildung 1: TRL gemäß FFG- bzw. EU-Richtlinien (Europäische Kommission 2012, S. 18)

Ogleich die Definitionen präzise sind, ist eine Bewertung im Rahmen des Projekts gewissen Unschärfen unterworfen. Die Festlegung des TRL erfolgt gemäß der Branchenexpertise der Konsortialpartner, die gegebenenfalls keine Informationen über Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten hinter verschlossenen Türen haben, insbesondere in internationalen Märkten. Daher wurden in der Bewertung die TRL 2-4, TRL 5-8 und TRL 9 zusammengefasst, wodurch sich eine vierstufige Bewertung ergibt.

Darüber hinaus hat sich bei der Erarbeitung herausgestellt, dass eine Bewertung gegliedert werden kann. Insbesondere bei biobasierten Kunststoffen kann das TRL des Grundstoffs vergleichsweise hoch sein, beispielweise wenn biobasiertes Granulat für Polyethylen verwendet wird. Dennoch gibt es am Markt keine Systeme von Abflussrohren aus diesem Material. Daher ergibt sich gemäß den Richtlinien ein TRL für die konkrete Technologie „Abflussrohre aus biobasiertem Bio-PE“ von Stufe 6.

Wertigkeit der Materialien („Competitors“)

Biobasierte Grundstoffe, also in erster Linie Granulate für Kunststoffe aus landwirtschaftlicher Erzeugung, aber auch Holz, sind bereits intensiv genutzte Materialien. Insbesondere bei Kunststoffgranulaten tritt, nicht unähnlich zum Green-on-Green-Konflikt der biobasierten Treibstoffe, die Lebensmittelproduktion unmittelbar in den Fokus. Im Projekt wurde die Frage aufgeworfen,

inwieweit die Materialien, die in der TGA neu eingeführt werden können, bereits höherwertigere Nutzungen aufweisen.

Die Kategorie der Technologiebewertung „Competitors“ ist eine qualitative Recherche, ob das für die Technologie notwendige Basismaterial bereits marktwirtschaftlich genutzt ist. Hintergrund soll sein, dass eine Zweckmäßigkeit beurteilt wird, denn über die technische Machbarkeit hinaus müssen auch Lieferketten bewertet werden. Um dies dennoch in Zahlen widerspiegeln zu können wird eine simple Bewertungsskala konstruiert, die als Schnellorientierung zu interpretieren ist, nicht jedoch als eine ausführliche Analyse der Lieferkettensituation.

Die Bewertungsskala sieht wie folgt aus:

Tabelle 3: Bewertungsskala Materialwertigkeit

Stufe	Beschreibung
1	Grundmaterial wird bereits explizit für andere Märkte herangezogen und dort stark genutzt. Zudem sind andere Anwendungsfelder aus ökonomischen oder ökologischen Gesichtspunkten besser geeignet als die Nutzung in Bauwesen oder TGA. Primär betrifft dies Lebensmittel und/oder Nutzpflanzen, die Agrarfläche benötigen.
2	Das Grundmaterial wird explizit für andere Anwendungen genutzt, ist jedoch nicht unmittelbar mit Lebensmittelanbau verbunden. Beispielweise Holz, das ohnehin als Baustoff verwendet wird.
3	Grundmaterial ist ein Nebenprodukt, das deponiert oder thermisch verwertet wird. Tannin ist ein solches Beispiel, das aus Rinde gewonnen wird.



Abbildung 2: Bewertung von "Competitors" nach Wertigkeit der Materialien (Quelle Kat. 1: iStock; Kat. 2, Kat. 3: Eigene Darstellung)

Ökologisches Potential im Lebenszyklus A1-A3

Geplant war eine Bewertung sowohl von Referenz- als auch Alternativbewertung aus ökologischer Sicht. Im Zuge des LCA-Screenings des Bestandsgebäudes zeigte sich bereits, dass seriöse Aussagen nur für den derzeitigen Bestand auf Basis der vorhandenen Datensätze möglich sind – und für viele Alternativtechnologien keine oder niederwertige Datensätze zur Verfügung stehen und die Neuerstellung von Datensätzen den Umfang des Projekts übersteigt. Daher leitet die quantifizierbare Potenzialanalyse im Bereich „ökologisches Potential“ direkt zur Lebenszyklusanalyse über.

Substitutionskategorien

Die Arten der Substitution wurden zur besseren Einordnung noch zusätzlich nach Materialarten kategorisiert. Es sollen Materialien „konventioneller“ Gebäudetechnik durch biogene Materialien ersetzt werden, wobei unterschieden werden soll, was das Basismaterial für die Potentialanalyse darstellt und in welche technologische Richtung Potentiale bestehen. Für das Projekt wurden vier primär relevante Substitutionsrichtungen bestimmt. Diese wurden in einer 2x2-Matrix dargestellt, in den Zeilen, ob es sich um ein nicht-erneuerbares, konventionell in der TGA genutztes Material handelt oder ob es biogen ist. In den Spalten wurde unterschieden, ob es sich um Kunststoffe handelt oder nicht. In der folgenden Darstellung ist dies ersichtlich gemacht.

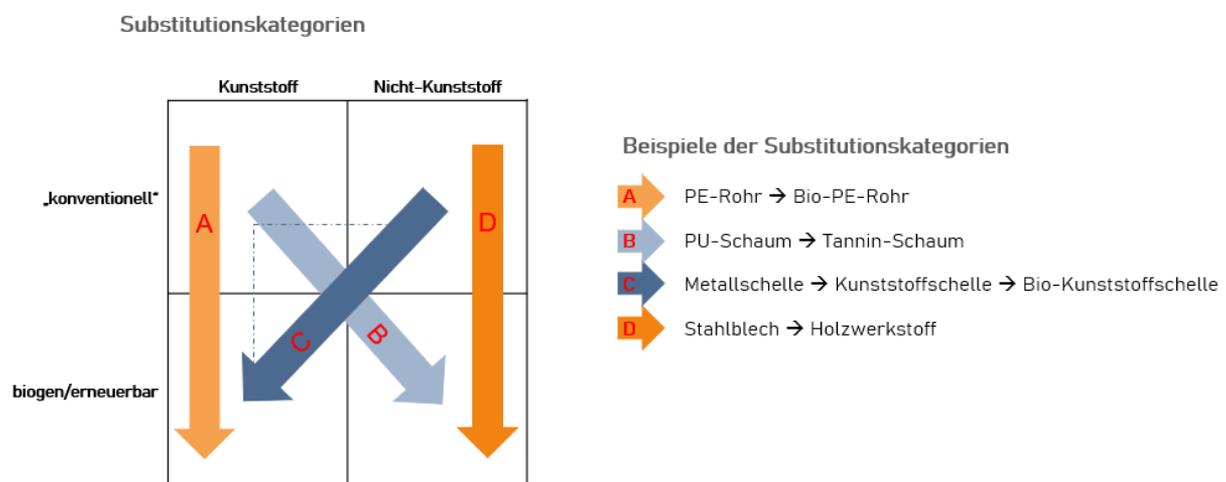


Abbildung 3: Substitutionskategorien- und Richtungen

Ebenso abgebildet sind die Substitutionsrichtungen, in denen ersetzt wird. So ist der Austausch von Polyethylen-Rohren durch biobasierte Polyethylen-Rohre Kategorie „A“, da es sich jeweils um Kunststoff handelt und nur die Herkunft des Granulats getauscht wird. In der Kategorie „B“ finden sich Kunststoffe, die durch Materialien getauscht werden, die sich üblicherweise nicht als solche kategorisieren lassen, wie beispielsweise Tanninschaum. Die Kategorie „C“ stellt konventionell genutzte Nicht-Kunststoffe, primär Metalle, dar, die über einen Zwischenschritt bei petrochemischen Kunststoffen mit biogenen Kunststoffen getauscht werden sollen. In Kategorie „D“ handelt es sich ebenso typischerweise um Metalle, die beispielsweise durch Holz getauscht werden sollen.

4.3.3. Lebenszyklusanalyse

Zur Ermittlung der Umweltwirkung des Referenzgebäudes und der einzelnen Gewerke und Komponenten wird eine Lebenszyklusanalyse gemäß der europäischen Norm EN 15978 durchgeführt und folgt somit dem Modularitätsprinzip, d.h. es erfolgt eine Zuordnung der Umweltwirkungen zu den einzelnen Lebenszyklusphasen. Entsprechend den Vorgaben des Normenwerks erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln die Definition der Methodik für die Lebenszyklusanalyse. Darunter fallen auch die Methoden und Rahmenbedingungen der ÖNORM EN ISO 14040 und der ÖNORM EN ISO 14044 und beinhalten die Dokumentation der nachfolgenden dargestellten Prozessschritte der EN 15978 (Abbildung 4):

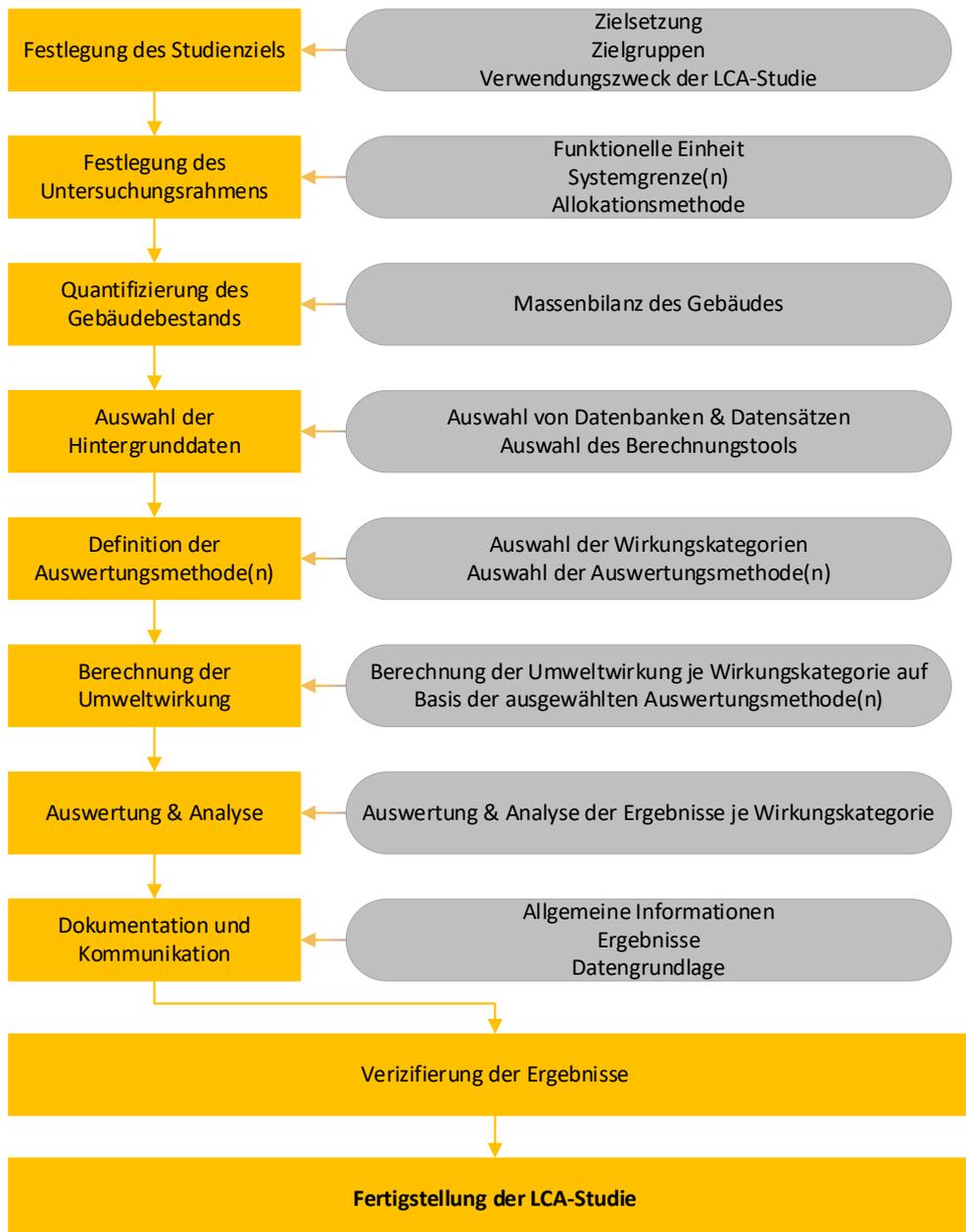


Abbildung 4: Prozessschritte für die Erstellung einer Lebenszyklusanalyse gemäß ÖNORM EN 15978:2012 (e.D. nach Passer et al. 2012)

Ziel und Untersuchungsrahmen

Das Hauptziel der Studie besteht darin, aus den Umweltwirkungen der einzelnen eingesetzten Produkte der technischen Gebäudeausrüstung in Kombination mit den Methoden aus der Potenzialanalyse Komponenten mit hohem ökologischen Optimierungspotenzial in der TGA zu identifizieren. Durch die Identifikation dieser Komponenten sollen neue Produktentwicklungen und Materialentwicklungen für Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung angeregt werden, mit dem Ziel, die gebäudebezogene Umweltwirkung zu reduzieren und den Eintrag von biogenen Materialien in Gebäuden zu erhöhen. Ein weiteres Teilziel der Lebenszyklusanalyse in vorliegender Studie ist die Verifizierung und der Vergleich der potenziellen Umweltwirkung der einzelnen Gewerke des Referenzgebäudes kategorisiert nach ÖNORM B 1801-1 gegenüber anderen publizierten Studien über Gebäudeökobilanzen. Ergebnisse in Hoxha et al. 2021 und Weißenberger 2016 zeigen, dass die gebäudebezogene Umweltwirkung der technischen Gebäudeausrüstung, also in den Lebenszyklusphasen der Herstellung (A1-A3), bis zu 25 % der Gesamtumweltwirkung dieser Lebenszyklusphase verursachen können. Hoxha et al. 2021 und Weißenberger 2016 zeigen somit in ihren Studien, dass eine vereinfachte Analyse der Umweltwirkung der verbauten Materialien in der technischen Gebäudeausrüstung zu signifikanten Abweichungen in den Studienergebnissen führen können. Wie in Röck et al. 2020a und Röck et al. 2020b publiziert, fokussieren sich zusätzlich viele Ökobilanzstudien auf Ein- und Mehrfamilienhäuser und weniger auf mehrgeschoßige Bürogebäude, weshalb in vorliegender Studie der Fokus auf Bürogebäude gelegt wird.

Systemgrenzen

Da der Fokus der Studie auf die materialgebundene Umweltwirkung, also gebäudebezogene Umweltwirkung gelegt wird, werden, wie in Tabelle 4 dargestellt, die Lebenszyklusphasen A1-A3 betrachtet. Die Systemgrenze beinhaltet somit die Gewinnung der Rohstoffe für die Herstellung aller Baumaterialien- und Komponenten (A1) sowie deren Transport zu den einzelnen Herstellungsstätten (A2) und deren anschließende Herstellungsprozesse (A3) und folgt somit einem Cradle-to-Gate-Ansatz. Da diese Studie ausschließlich die Herstellungsphase (A1-A3) bewertet, ist keine Definition einer zeitlichen Systemgrenze bzw. eines Betrachtungszeitraums des Gebäudes definiert. Die Datengrundlage der derzeit verfügbaren Datensätze über A1-A3 hinausgehend ist ernüchternd und eine wissenschaftlich fundierte Arbeit auf Basis der wenigen Daten kaum möglich. Hier besteht Nachholbedarf in den entsprechenden Disziplinen.

Tabelle 4: Modularer Aufbau der Lebenszyklusphasen eines Gebäudes gemäß ÖNORM EN 15978:2012 (nach Hoxha et al. 2021)

INFORMATIONEN ZUR LEBENSZYKLUSBEURTEILUNG VON GEBÄUDEN																ERGÄNZENDE INFORMATIONEN
Produktion			Errichtung		Nutzung							Entsorgung				Vorteile & Belastungen außerhalb der Systemgrenze
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohstoffgewinnung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau/Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Potenzial für Wiederverwertung, Rückgewinnung & Recycling
✓	✓	✓														

Funktionelle Einheit

Die Studie bezieht sich auf ein Bürogebäude mit einem $HWB_{Ref,RK}$ von $30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung werden für das Gebäude auf $\text{kg/m}^2 \text{ NGF}$ (Kilogramm pro Quadratmeter Nettogrundfläche) bezogen. Dem aktuellen Stand der Ökobilanzforschung im Gebäudebereich entsprechend, wird somit als funktionelle Einheit $\text{kg/m}^2 \text{ NGF}$ für ein Bürogebäude mit einem $HWB_{Ref,RK}$ von $30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ festgelegt.

Allokationsverfahren

Als Allokationsverfahren wird, entsprechend der durchgeführten Datenerfassung in kg je Komponente bzw. Material, eine Allokation nach Masse (kg) durchgeführt, welche die Grundlage für die Durchführung der Wirkungsabschätzung darstellt. Weitere Informationen zur Datenerfassung können dem Kapitel 4.3.1 entnommen werden.

Datengrundlage und -qualität

Die Bestandsaufnahme der Ökobilanzstudie stützt sich auf Daten der GaBi LCA Datenbank 2021. Diese setzt sich gesamtheitlich aus der GaBi Professional Datenbank sowie 22 Zusatzdatenbanken für unterschiedliche Branchen und Bilanzierungsmodelle zusammen. Folgende Datenbanken werden zum Aufbau des Ökobilanzmodells verwendet:

- GaBi LCA Professional Datenbank
- Zusatzdatenbank XIV Bauprodukte
- Zusatzdatenbank XIX Biokunststoffe

In der GaBi-Datenbank werden drei Datensatz- bzw. Prozesstypen differenziert:

Tabelle 5: Prozesstypen der GaBi LCA Professional Datenbank

Einheitsprozess (u-so):	Ein Einheitsprozess wird oft als Gate-to-Gate-Prozess bezeichnet und enthält die Daten für einen bestimmten Prozessschritt und nicht für den gesamten Lebenszyklus eines Produktes. Alle Zwischenflüsse (z.B. Energie- oder Materialflüsse) müssen noch mit den entsprechenden Hintergrunddaten verknüpft werden
Aggregierter Prozess (agg):	Ein aggregierter Prozess umfasst die gesamten Inputs von der Rohstoffgewinnung bis zum fertigen Produkt (Cradle-to-Gate) oder für den gesamten Lebenszyklus (Cradle-to-Grave). Es müssen somit keine zusätzlichen Inputs verbunden werden
Teilaggregierter Prozess (p-agg):	Bei einem teilaggregierten Prozess sind einige Flüsse (z.B. Energie- oder Materialflüsse) noch nicht verknüpft. Diese Inputs müssen somit noch im Modell verbunden werden. Ziel dieses Prozesstyps ist es, dem Nutzer die Möglichkeit zu bieten, spezifische Flüsse zu adaptieren und werden somit oft auch als teilweise verknüpfte Prozesse bezeichnet.

Die vorliegende Ökobilanzstudie wurden vorwiegend aggregierte Datensätze mit Cradle-to-Gate-Daten herangezogen. Diese sind für die *Zusatzdatenbank XIV Bauprodukte* nach den Vorgaben der ÖNORM EN 15804:2022 erstellt, welche die Rechenregeln zur Erstellung von Umweltproduktdeklarationen (EPD) für Bauprodukte beinhaltet. Die *Zusatzdatenbank XIX Biokunststoffe* enthält vorwiegend aus aggregierten und teilaggregierten Datensätzen für die Herstellung von biobasierten Kunststoffgranulaten. Zur Modellierung einzelner Komponenten, für welche keine aggregierten Datensätze zur Verfügung stehen, werden durch Einheitsprozesse oder teilaggregierte Prozesse und entsprechender Ergänzung der relevanten Inputflüsse Cradle-to-Gate-Modelle der jeweiligen Komponenten modelliert und in das Bilanzmodell des Referenzgebäudes ergänzt. Die verwendeten Datenbanken beinhalten vorwiegend aggregierte Datensätze aus Deutschland und übergeordnet aus der Europäischen Union (EU). D.h. die entsprechenden Energiemixe für die Herstellung der Komponenten entsprechen somit je nach Datensatz dem Energiemix der Europäischen Union oder dem Energiemix Deutschlands. Als Softwarelösung zur Erstellung der Lebenszyklusanalyse wird die *GaBi Professional LCA Software* verwendet und weitere Auswertungen werden in Microsoft Excel erstellt.

Sachbilanz

Die Massen der verbauten Materialien und Komponenten sind den Planungs- und Ausschreibungsunterlagen der Ausführungsplanung entnommen. Zur Überführung der Komponentenlisten aus den Ausschreibungsunterlagen in die Massenbilanz nach ÖNORM B 1801-1 werden die jeweiligen Gewichtangaben der einzelnen Komponenten je Stück aus den Angaben von Produktdatenblättern ermittelt. Aus der Summe der Stückzahlen der Ausschreibungsunterlagen und den Gewichtsangaben je Stück bilden sich die Massen der einzelnen Komponenten. Nicht für jedes Produkt ist eine Ermittlung der Gewichtsangaben aus Produktdatenblättern möglich - um auch diese Massenbestandteile zu ermitteln, werden die verwendeten Materialien für die jeweiligen Komponenten und deren Materialdichte recherchiert und auf Basis der Stückzahlen deren Massen erfasst. Ziel der Ökobilanz ist die vollumfängliche Erfassung der verbauten Komponenten laut Ausschreibungsunterlagen, weshalb keine Abschneideverfahren oder -kriterien innerhalb der Gewerke angewandt werden.

Wirkungsabschätzung und Wirkungskategorien

In der Wirkungsabschätzung werden die Sachbilanzdaten mit den spezifischen Charakterisierungsfaktoren der betrachteten Wirkungskategorien verknüpft, um die potenzielle Umweltwirkung je Wirkungskategorie zu ermitteln. Für die vorliegende Studie werden der Indikator Treibhauspotenzial (GWP) betrachtet. Dieser wird anhand der Auswertungsmethode nach IPCC AR6 in der Wirkungsabschätzung angegeben. In Abbildung 5 ist die Berechnung des Wirkungsindikators für die Wirkungskategorie Treibhauspotenzial (GWP_{100}) beispielhaft anhand dem Prozess *Energiemix Österreich, Bereitstellung von einer Kilowattstunde (kWh)* dargestellt. Die Darstellung beinhaltet nur die Haupttreiber mit größtem Einfluss auf das Ergebnis des Wirkungsindikators für die Wirkungskategorie Treibhauspotenzial, dazu gehören die chemischen Verbindungen Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Kohlenmonoxid (CO) und Distickstoffoxid (N_2O) – auch andere chemische Verbindungen leisten einen Beitrag zum Treibhauspotenzial, jedoch sind diese von untergeordneter Bedeutung und dementsprechend nicht dargestellt. Für die Wirkungskategorie Treibhauspotenzial errechnet sich somit ein Wirkungsindikatorwert von 0,397 kg CO_2 -eq je bereitgestellter Kilowattstunde aus den Teilergebnissen der oben genannten chemischen Verbindungen. Verbindungen wie Kohlenmonoxid und Distickstoffoxid tragen auch zu den Ergebnissen von Wirkungsindikatoren in anderen Wirkungskategorien bei. Kohlenmonoxidemissionen sind neben dem Beitrag zum Treibhauspotenzial auch für das Wirkungsindikatorergebnis der Wirkungskategorie Photochemisches Ozonbildungspotenzial (POCP) mitverantwortlich (rote Bereiche), Distickstoffoxid trägt demgegenüber zum Eutrophierungspotenzial, d.h. zum erhöhten Nährstoffeintrag nicht organischer Verbindungen (z.B. Stickstoff & Phosphor) in Ökosysteme bei (grüne Bereiche). Diese schematische Darstellung zeigt, wie Outputflüsse aus dem betrachteten Produktsystem den Wirkungskategorien zugerechnet werden.

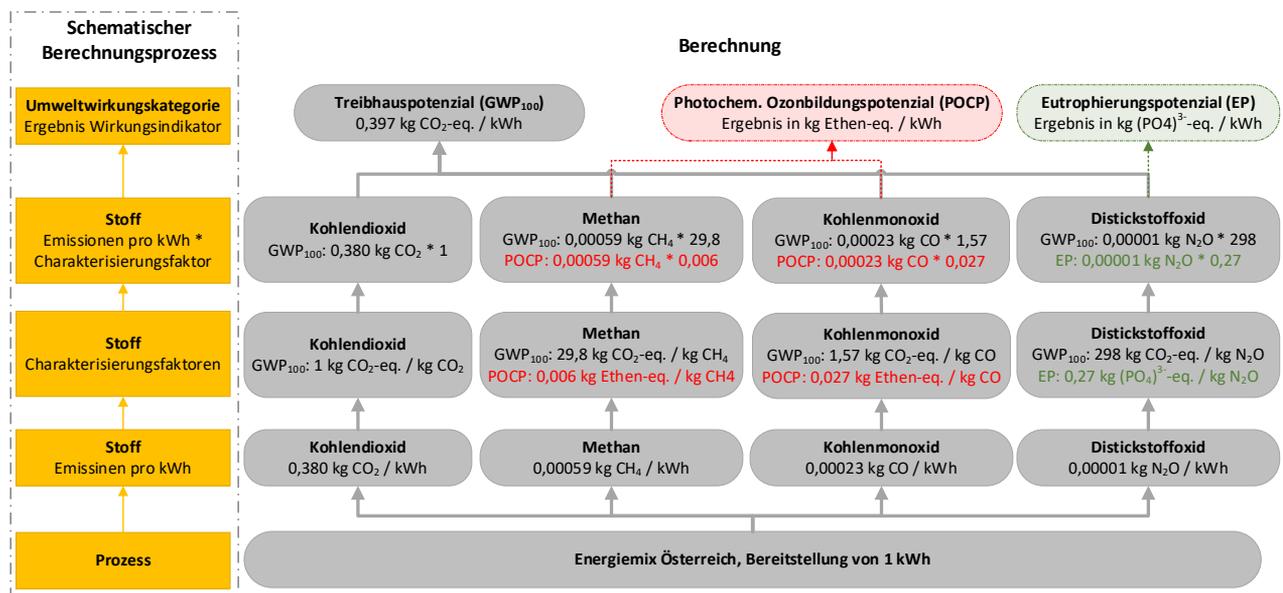


Abbildung 5: Darstellung der Berechnung des Wirkungsindikators für die Wirkungskategorie Treibhauspotenzial (GWP_{100}) anhand dem Beispielprozess "Energiemix Österreich, Bereitstellung von einer Kilowattstunde (kWh)" (e.D. in Anlehnung an Forschungszentrum Jülich GmbH)

Gebäudevergleich

Zusätzlich zur Auswertung der Lebenszyklusanalyse als Grundlage zur weiteren Verarbeitung der Ergebnisse in der Potenzialanalyse, wird ein Gebäudevergleich angestrebt. Das Referenzgebäude ist in monolithischer Bauweise (mit ausgedämmten Ziegelaußenwänden) und Hohlkörperbeton-

Zwischendecken sowie einem Stahlbeton-Flachdach ausgeführt. Diese Hauptkomponenten werden im Gebäudevergleich durch Holzbaulemente ersetzt. Ziel des Vergleichs ist Ergebnisse darüber zu generieren, inwieweit sich die Umweltwirkungsanteile der Technik-Gewerke (HKLS) gegenüber der Baukonstruktion (monolithische Bauweise vs. Holzbauweise) verhalten, wenn diese in Holzkonstruktion ausgeführt sind. Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit der beiden Gebäudevarianten werden die Holzbauteile mit denselben energetischen Anforderungen (U-Wert-Anforderungen) konstruiert.

5 Ergebnisse

5.1. Potenzialanalyse

In diesem Kapitel werden, aufgeteilt auf die zuvor bestimmten Substitutionskategorien, neuartige Technologien bewertet, was deren Markreife und Materialwertigkeit betrifft. Dabei wurden Elemente gewerkübergreifend zusammengefasst, da sich beispielweise diverse Arten von Kunststoffrohren oder Formteilen überall in der TGA finden.

Beispiel	Bedeutung TRL	Bedeutung Competitors
□□□	TRL 1	-
■□□	TRL 2 TRL 3 TRL 4	Schlechteste Einordnung Das Produkt wird für Lebensmittelindustrie oder andere hochwertige Einsätze genutzt
■ ■ □	TRL 5 TRL 6 TRL 7 TRL 8	Mittlere Einordnung Das Produkt wird gleichwertig in anderen Gewerken genutzt
■ ■ ■	TRL 9	Gute Einordnung Das Produkt wird niederwertig oder gar thermisch verwertet oder deponiert

5.1.1. Kategorie A

Kategorie A ist eine der primären Substitutionsrichtungen, da sich Kunststoffe durch chemisch ähnliche Materialien aus biogenen Quellen ersetzen lassen, wobei durch die Vielzahl an möglichen Kunststoffkomponenten genaue Aussagen über Herstellungsverfahren der konkreten Produkte eine gewisse Ungenauigkeit herrscht.

Tabelle 6: Potenzialanalyse für Kategorie A

Beispiel	Material Referenz	Material Substitution	TRL Substitution	Competitors Substitution
Diverse Rohrleitungen (Abwasser, Druckrohre, Verteilleitungen)	PE-HD, PE100, PE-S2, PP, PVC	Bio-PEx Bio-PP Bio-PVC PEF	■ ■ ■ □ ■ ■ ■ □ ■ □ □ □ ■ □ □ □	■ ■ ■ □
Heizungsrohre Niedertemperatur	PP	Bio-PP	■ ■ ■ □	■ ■ ■ □
Gehäuse, Schalter, Bedienfelder	ABS, PC, PVC	Bio-PC PLA	■ ■ ■ □	■ ■ ■ □
Leerverrohrungen	PVC-Flexrohre	Bio-PVC	■ □ □ □	■ ■ ■ □

5.1.2. Kategorie B

Diese Kategorie umfasst Materialien, die derzeit aus klassischem Kunststoff hergestellt werden und deren Ersatz durch biogene Nicht-Kunststoffe angestrebt wird. Das größte Potential liegt hier in Dämmmaterialien aus Tannin-Schaum, wobei hier konsistente Werte auf Basis des Naturstoffs das derzeit größte Hindernis darstellen. Kleinteile lassen sich bereits heute aus Holzwerkstoffen herstellen, sind aber wesentlich teurer.

Schutzanstriche aus Naturharz sind denkbar, jedoch sind auch hier Zusatzstoffe notwendig, um alle Anforderungen der Normen zu erfüllen – und diese werden erst tragend, wenn mit Holzwerkstoffen gearbeitet wird, die die Hygieneanforderungen erfüllen.

Tabelle 7: Potentialanalyse für Kategorie B

Beispiel	Material Referenz	Material Substitution	TRL Substitution	Competitors Substitution
Kälte­dämmung	Polyurethan, Elastomer, synth. Kautschuk	Tannin-Schaum	■ ■ ■ □	■ ■ ■ ■
Schutzanstriche, Lacke	Kunstharz, Epoxy	Naturharze	Substitution lediglich in Kombination mit Holzwerkstoffen möglich	
Taster, Gehäuse, Schalter	Diverse Kunststoffe	Holzwerkstoffe	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ □

5.1.3. Kategorie C

Der Austausch von Metallen mit Kunststoff ist in niederwertigen Bauten bereits heute oft Standard. Diese Substitutionsrichtung wird in Kategorie C erfasst. Biogene Grundmaterialien zu wählen kann hier Abhilfe schaffen, jedoch ist die Langlebigkeit der Materialien noch nicht ausreichend erforscht, insbesondere bei neuartigen Kunststoffen.

Tabelle 8: Potenzialanalyse für Kategorie C

Beispiel	Material Referenz	Material Substitution	TRL Substitution	Competitors Substitution
Diverse Rohrleitungen	Kupfer, Edelstahl, Rotguss	Bio-PEx Bio-PP Bio-PVC	■ ■ ■ □ ■ ■ ■ □ ■ □ □ □	■ ■ ■ □
Kälte­dämmung	Elastomer, synth. Kautschuk	Bio-PU	■ ■ ■ □	■ ■ ■ □
Wärmedämmung	Mineral-, Steinwolle	Keine geeigneten Alternativen für Rohrleitungs- und Lüftungsdämmung abseits von geringen Bestandteilen an Kunstharz. Cellulose ist für Rohrleitungen nicht geeignet.		
Kabelwannen, Tragschalen, Schaltschränke	Stahlblech verzinkt, Edelstahl	div. Bio-Polyester	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ □
Lüftungs­kanäle & Kleinteile	Stahlblech verzinkt	Bio-PVC	■ □ □ □	■ ■ ■ □

5.1.4. Kategorie D

Diese Kategorie beschreibt in erster Linie Komponenten, die derzeit mit Metall ausgeführt werden und durch Holzwerkstoffe und WPC ersetzt werden können. Bei Tragelementen ist dies heute bereits möglich, ebenso bei Gittern und Tellerventilen. Der Fall von sich den Umgebungsparametern anpassenden Teilen, also dem Einsatz von 4D-Druck, kann nicht nur Ersatz, sondern auch Mehrwert schaffen, der weiterer Forschung bedarf. Durch diese Technologien lassen sich Low-Tech-Lösungen schaffen, sofern die Ergebnisse aus Materialwissenschaft positiv sind und Prototypen die Anforderungen auch über längere Zeit erhalten können.

Tabelle 9: Potentialanalyse für Kategorie D

Beispiel	Material Referenz	Material Substitution	TRL Substitution	Competitors Substitution
Lüftungsleitungen	Stahlblech	Holzwerkstoffe, WPCs	■ □ □	■ ■ □
Diverse Lüftungsgitter, Tellerventile, Kabelwannen	Stahlblech, Aluminium	Holzwerkstoffe, WPCs	■ ■ ■	■ ■ □

5.1.5. Feststellungen zu biogenem Kunststoff

Es gibt eine Reihe von Biopolymeren (z. B. Bio-PE, Bio-PET), die für die Herstellung von Produkten mit Standardverfahren aus der Kunststoffverarbeitung verwendet werden. Des Weiteren werden auch eine Vielzahl an Biokunststoffen nur teilweise biobasiert hergestellt, dies ist ebenfalls für die LCA ein entscheidender Punkt. Hierbei ist aber noch die Unterscheidung zwischen biologisch abbaubar (z. B. PLC) und nicht biologisch abbaubar (Bio-PE) sowie Wiederverwendbarkeit hinsichtlich der ökologischen Betrachtung (Systemgrenzen) entscheidend. Diese Biopolymere weisen vergleichbare Eigenschaften auf, jedoch gibt es eine Preisdifferenz zwischen Biopolymeren (z. B. Bio-PE) und erdölbasierten Kunststoffen (PE).

Des Weiteren wurden erste Unterteilungen der Biopolymere und weiterer Materialien (Holz, Leder) hinsichtlich der Verarbeitungs- und Herstellungsprozesse (z. B. Spritzguss, Extrusion, additive Fertigungsverfahren, ...) durchgeführt, da nicht jedes Herstellungsverfahren (z. B. Extrusion) für jedes Biopolymer (z. B. Lignin, Tannin) anwendbar ist und in späterer Folge gibt es dadurch auch Einschränkungen für die Produkte hinsichtlich Formgebung und Eigenschaften bzw. Additive und aufwendige Verarbeitungsschritte werden notwendig. Deshalb sind Materialkombinationen mit unterschiedlichen Ausgangsstoffen oftmals schwierig herzustellen. Durch die bisherigen Erfahrungen der Projektpartner wurden erste Materialien (z. B. Holzverbundwerkstoffe, PLA-Komposite mit Holzfasern) hergestellt und auf deren Potentiale (z. B. Festigkeiten, chemische Beständigkeit, ...) untersucht. Die Ergebnisse dienten dazu, dass unterschiedliche prototypenartige Produkte für den weiteren fachlichen Diskurs mit Expertinnen und Experten hergestellt oder zumindest Vorbereitungen für weitere Proof-of-Concept-Formteile getroffen wurden.

Beispielsweise kann PLA (Polylactic acid) zu 3D-Druck Filamente verarbeitet werden und durch Füllstoffe und Additive können die Eigenschaften verändert werden. Beispielsweise kann durch die Zugabe von Holzfasern, das 3D-gedruckte Produkt seine Eigenschaften ändern. Es wird hierbei vom 4D-Druck gesprochen. Im Grunde ist der 4D-Druck also eine Weiterentwicklung des 3D-Drucks, bei dem spezielle Materialien verwendet werden, um Objekte zu drucken, die ihre Form nach der Herstellung verändern können. Ein Auslöser kann Feuchtigkeit, Wärme oder andere Formen von Energie sein. Diese Objekte könnten als automatische Lüftungsklappen in Nassräumen dienen, die ohne zusätzlichen Strom oder Impuls sich bei hoher Luftfeuchtigkeit im Raum öffnen und einen Luftaustausch gewährleisten können.

5.1.6. Zusammenfassung

Im Resümee lassen sich einige Tendenzen feststellen:

- Hohe Level der Marktreife sind für wenig oder kaum belastete Bauteile zu erwarten. Dies betrifft Gehäuse, Schalter, aber auch Klemmschellen, Steckdosen und Leerrohre.
- Bei einigen Kunststoffen (wie z.B. PE oder PP) gibt es Granulate am Markt mit denen funktional identische Bauteile gefertigt werden können, jedoch sind die genauen Herstellungsprozesse noch in Forschung und für den konkreten Anwendungsfall weder getestet noch zertifiziert, trotz hoher Erwartungshaltung.
- Holzwerkstoffe sind grundsätzlich für viele Anwendungen möglich, allerdings müssen Harze, Lacke und Beschichtungen zum Einsatz kommen, um Anforderungen zu genügen. Holzwerkstoffe zum 3D-Druck beizufügen ist für Kleinteile jedoch durchaus denkbar.
- Während für Gebäudehüllen und flächige Dämmungen Alternativen wie beispielsweise Cellulose frei am Markt verfügbar sind, so sind diese für Rohrleitungen montagebedingt kaum geeignet. Zwar kann man Einblasdämmungen für Rohrleitungen überlegen – diese benötigen dann aber Rohrleitungshülsen, was zu zusätzlichem Materialaufwand führen würde, der konventionell von Metallen gedeckt wird.
- Was Lieferketten angeht, zeigt sich Tannin-Schaum als attraktive Alternative, da das Basismaterial Baumrinde derzeit thermisch verwertet wird. Als Naturstoff, dessen Verarbeitung derzeit hauptsächlich akademisch stattfindet, ist gleichbleibende Qualität über große Chargen von Tanninschaum problematisch.
- Rohrleitungen, die bereits jetzt aus Kunststoffen gefertigt sind, zeigen Potential, die Herstellungsverfahren und Praxiswerte müssen jedoch getestet werden.

5.1.7. Einbindung in die Ziele „Stadt der Zukunft“

Sowohl Ziel 1 („Beitrag zur Entwicklung resilienter Städte und Stadtteile mit hoher Ressourcen- und Energieeffizienz, verstärkter Nutzung erneuerbarer Energieträger sowie hoher Lebensqualität“) als auch Ziel 3 („Aufbau und Absicherung der Technologieführerschaft bzw. Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen und Forschungsinstitute auf dem Gebiet intelligenter Energielösungen für Gebäude und Städte“) konnten angesprochen werden. Tatsächlich lässt sich über die Energieeffizienz alternativer Herstellungsmethoden (Ziel 1) zu diesem Zeitpunkt keine schlüssige Aussage treffen, aber zumindest die Möglichkeiten lokaler Produktion sind als positiv für die Resilienz zu bewerten.

Die Technologieführerschaft, was biogene Technologien in Österreich betrifft, ist wesentlich greifbarer und stellt sich auch in geplanten, weiteren Forschungstätigkeiten dar. Nachwachsende Rohstoffe bieten insbesondere für Österreich großes Potential, da die nicht-erneuerbaren Quellen in Österreich massiv beschränkt sind und eine eigenständige Kunststoffproduktion erst durch erneuerbare Technologien langfristig ohne Abhängigkeiten an Drittstaaten möglich ist.

5.2. Lebenszyklusanalyse

5.2.1. Massenbilanz des Referenzgebäudes

Um die Umweltwirkung des Referenzgebäudes zu ermitteln, wurde eine Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment) nach ÖNORM EN 15978:2012 durchgeführt. Als Systemgrenze sind die Bereiche „Bauwerk-Rohbau“, „Bauwerk-Ausbau“, sowie die gebäudetechnischen Anlagen und Elektroinstallationen in „Bauwerk-Technik“ nach ÖNORM B 1801-1 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 1: Objekterrichtung definiert. Der Fokus dieser Vorstudie liegt auf den Herstellungsprozessen der einzelnen Baustoffe bis zum „Werktor“ bzw. auf einem „Cradle-to-Gate“-Ansatz und beinhaltet demnach die Module A1 bis A3 der ÖNORM EN 15978:2012. Die Grenze für die Module A1 bis A3 behandelt die Prozesse „von der Wiege bis zum Verlassen des Werksgeländes“ (Rohstoffgewinnung, Transport zur den Herstellungseinrichtungen und Herstellungs- und Fertigungsprozesse) für sämtliche Baustoffe, Bauprodukte und Komponenten die in den drei Bereichen der ÖNORM B 1801-1 erfasst wurden. Für die Lebenszyklusanalyse der Baustoffe, Bauprodukte und Komponenten gelten die Regeln zur Bestimmung ihrer Auswirkungen und Aspekte nach ÖNORM EN 15804:2022 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte.

Massenbilanz Bauwerk-Rohbau nach ÖNORM B 1801-1

Die Massenbilanz des Bereichs Bauwerk-Rohbau ÖNORM B 1801-1 (nachfolgend Konstruktion genannt) setzt sich aus folgenden den Außen- und Innenbauteilen des Referenzgebäudes zusammen:

- Bodenkonstruktion
- Deckenkonstruktion
- Dachkonstruktion
- Außenwandkonstruktion
- Innenwandkonstruktion
- Fensterelemente inkl. Sonnenschutz

Außen- und Innenbauteile

Nachfolgend sind die wichtigsten Außen- und Innenbauteile des Referenzgebäudes im Schichtaufbau nach den Eingaben in GEQ dargestellt.

Tabelle 10: Zusammenfassung der einzelnen Bauteilschichten der wichtigsten Außen- und Innenbauteile

Bauteilschichten (von innen nach außen)	Dicke [m]	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]
Außenwand			
Innenputz	0,015	0,910	1700
Ziegel mit Steinwoll-Einlagen	0,500	0,074	632
Außenputz	0,0250	0,910	1700
U-Wert Bauteil [W/m²K]	0,14		
Bauteilstärke [m]	0,54		

Flachdach			
Gipskartonplatten 2-lagig* ⁵	0,015	0,210	700
Luftraum*	0,130	1,094	1
Stahlbeton mit Hohlkörpern	0,320	2,300	2063
Aluminium-Bitumen Dampfsperre	0,005	0,230	1100
EPS-W 25 (23 kg/m ³), im Mittel	0,240	0,036	23
Dachabdichtung	0,010	0,230	1100
Schutz-/Gleit-/Trennvlies	0,0004	0,500	300
Speicher-, Drainmatte inkl. Filtervlies*	0,020	0,170	640
Pflanzensubstrat - extens. Begrünung*	0,100	2,000	1700
U-Wert Bauteil [W/m²K]	0,14		
Bauteilstärke [m]	0,57		
Bauteilstärke inkl* [m]	0,82		

Warme Zwischendecke			
Bodenbelag (Teppich)	0,010	0,060	200
Doppelboden-Systemplatte	0,040	0,048	101
Luftraum	0,170	1,094	1
Klemmfalz	0,030	0,039	13
Stahlbeton mit Hohlkörpern	0,320	2,300	2,063
Luftraum*	0,130	1,094	1
Gipskartonplatten 2-lagig*	0,015	0,210	700
U-Wert Bauteil [W/m²K]	0,43		
Bauteilstärke [m]	0,57		
Bauteilstärke inkl* [m]	0,70		

⁵ Bauteilschichten, welche mit einem * markiert sind, zählen nicht zum U-Wert

Auf Basis der spezifischen Bauteilflächen ergeben sich für die einzelnen Bauteilschichten zusammenfassend folgende Baustoffmassen:

Tabelle 11: Zusammenfassung der Baustoffmassen für den Bereich Bauwerk-Rohbau nach ÖNORM B 1801-1

Baustoff/Komponente	Masse in Tonnen
Bodenbelag	30
Doppelbodensystem inkl. Stahlstifte	16
Zement-/ Zementfließestrich	121
Dichtungsbahnen (Dampfbremsen, Winddichtungen etc.)	12
Dämmstoffe inkl. Kleber	18
Hohlkörperbeton inkl. Polypropylen-Strukturgeber	2 215
Dämmziegel (Außenwand)	463
Normalbeton	1 183
Armierungsstahl für Normalbeton	198
Gipskartonplatten	117
Begrünungssubstrat inkl. Drainageflies	108
Innen- und Außenputz	46
Nutzholz	7
Fenster inkl. Sonnenschutz	29
Σ Gesamtmasse Bauwerk-Rohbau	4 569

Die nachfolgende Abbildung 6 zeigt die Baustoffmassen der einzelnen Komponenten der Konstruktion anteilig in Prozent.

Anteilige Baustoffmassen in Prozent (%) der Konstruktion nach ÖNORM B 1801-1

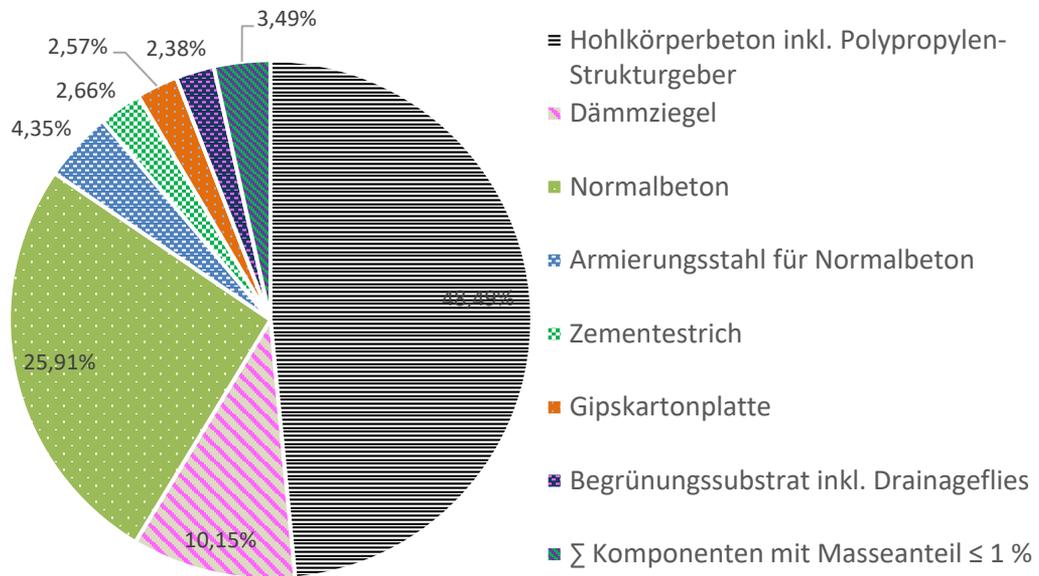


Abbildung 6: Anteilige Baustoffmassen in Prozent (%) der Konstruktion nach ÖNORM B 1801-1

Den größten Anteil mit ca. 50 % nimmt der Hohlkörperbeton inkl. der Polypropylen-Strukturgeber der Zwischendecken in den Obergeschoßen ein. 25 % fallen auf den Normalbeton für das Flachdach, die Tiefgaragenwände und Decken sowie den Betonkern des Stiegenhauses. Zusätzlich werden ca. 5 % der Gesamtmasse durch benötigten Armierungsstahl verursacht. Die Außenwand ist in einer monolithischen Bauweise mit einem ausgedämmten Ziegelmauerwerk konstruiert, auf welche 10 % der Gesamtmasse des Bereichs Bauwerk-Rohbau entfallen. Kleinere Beiträge zur Gesamtmasse verursachen die Gipskartonplatten für die abgehängte Deckenkonstruktion, sowie der Zementestrich und das Begrünungssubstrats des Flachdachs.

Massenbilanz Bauwerk-Technik nach ÖNORM B 1801-1

Nachfolgend sind die Massenbilanzen der einzelnen Gewerke für den Bereich Bauwerk-Technik dokumentiert, welche für die Berechnung der Lebenszyklusanalyse sowie für die Potenzialanalyse herangezogen wurden.

Elektroinstallation

Die Massenbestandteile für das Gewerk Elektrotechnik im Bereich Bauwerk-Technik setzen sich primär aus den nachfolgend in Tabelle 12 dargestellten Komponenten mit einer Summe von ca. 3,7 Tonnen zusammen. Die Materialfraktion der Aufzugskomponenten beinhalten primär unterschiedliche Metalle sowie Kunststoffe (Kabel etc.). Auf die Aufzugsanlage entfällt in diesem Gewerk der größte Massenanteil. Die Komponenten der Brandmeldeanlage setzen sich zu größten Teilen aus unterschiedlichen Kunststoffen wie Polyethylen oder Polyvinylchlorid zusammen. Die Kategorie Dosen, Schalter und Fühler sind aus verschiedenen Kunststoffen (vorwiegend Polyethylen) sowie aus Metallteilen (z.B. verzinktes Stahlblech) gefertigt. Die Schränke, Wannen und Kabel setzen sich zu größten Teilen aus Metallen (z.B. Kupfer, Stahlblech verzinkt/pulverbeschichtet) und Kunststoffanteilen zusammen.

Tabelle 12: Zusammenfassung der Massenbestandteile für das Gewerk Elektrotechnik im Bereich Bauwerk-Technik nach ÖNORM B 1801-1

Baustoff/Komponente	Masse in Tonnen
Aufzugsanlage	3,66
Brandmeldeanlage	0,22
Dosen, Schalter und Fühler	0,44
Schränke, Wannen und Kabel	0,66
Σ Gesamtmasse Elektrotechnik	3,66

Wärmeversorgung

Die Massenbestandteile für das Gewerk Wärmeversorgung im Bereich Bauwerk-Technik setzen sich aus den nachfolgend in Tabelle 13 dargestellten Komponenten zusammen und betragen ca. 9 Tonnen. Die Materialfraktion der Wärmeversorgungsanlagen beinhalten primär unterschiedliche Metalle sowie Kunststoffe (Kabel etc.). Die Komponenten der Wärme- und Kälte­dämmung setzen sich zu größten Teilen aus unterschiedlichen Kunststoffen zusammen. Die Kategorie der Wärmeabgabe ist vorwiegend aus verschiedenen Metallen (Stahlblech verzinkt, Edelstahl und Aluminium) gefertigt und macht den zweitgrößten Anteil an der Gesamtmasse dieses Gewerks aus. Die Wärmebereitstellung setzt sich zu größten Teilen aus Metallen und Kunststoffen (Stahlblech verzinkt/pulverbeschichtet, Polyvinylchlorid, Polyurethan, etc.) zusammen. Den größten Anteil dieses Gewerks betrifft die Wärmeverteilung mit 4,66 Tonnen Material, welches sich hauptsächlich aus unterschiedlichen Metallen (Edelstahl, Kupfer, Messing/Rotguss, Stahlblech verzinkt) zusammensetzt.

Tabelle 13: Zusammenfassung der Massenbestandteile für das Gewerk Wärmeversorgung im Bereich Bauwerk-Technik nach ÖNORM B 1801-1

Baustoff/Komponente	Masse in Tonnen
Wärmeversorgungsanlagen	0,31
Wärme- und Kälte­dämmung	0,23
Wärmeabgabe	3,09
Wärmebereitstellung	0,79
Wärmeverteilung	4,66
Σ Gesamtmasse Wärmeversorgung	9,08

Lüftungsanlagen

Die Massenbestandteile für das Gewerk Klima-/Lüftungsanlagen im Bereich Bauwerk-Technik setzen sich aus den nachfolgend in Tabelle 14 dargestellten Komponenten zusammen und betragen in Summe ca. 22 Tonnen. Die Materialfraktion der Brandschutzklappen beinhaltet primär unterschiedliche Metalle. Die Komponenten der Feuer- und Schalldämmung setzen sich zu größten Teilen aus unterschiedlichen Metallen und einem geringen Kunststoffanteil zusammen. Die Kategorie der Luftleitungen, Einbauten und Luftdurchlässe ist vorwiegend aus verschiedenen Metallen (Stahlblech verzinkt, Edelstahl und Aluminium) gefertigt und macht mit ca. 15 Tonnen an der Gesamtmasse dieses Gewerks den größten Anteil aus. Die Lüftungsgeräte setzen sich zu größten Teilen aus Metallen

(Stahlblech verzinkt/pulverbeschichtet, Aluminium, Kupfer, etc.) zusammen und beinhalten zusätzlich Materialien wie Steinwolle und unterschiedliche Kunststofffraktionen. Die Schalldämpfer sind für 1,31 Tonnen der Masse dieses Gewerks verantwortlich und bestehen hauptsächlich aus verzinktem Stahlblech/NIRO und aus Mineralwolle. Den Wärme- und Kälte­dämmung besteht zu größten Teilen aus Calciumsilikat für die Brandschutzverkleidungen sowie aus unterschiedlichen Kunststoffen (z.B. Elastomer/Synthetischer Kautschuk, Epoxidharz) und Metallen (z.B. Aluminium) zusammen.

Tabelle 14: Zusammenfassung der Massenbestandteile für das Gewerk Lüftungsanlagen im Bereich Bauwerk-Technik nach ÖNORM B 1801-1

Baustoff/Komponente	Masse in Tonnen
Brandschutzklappen	0,58
Feuer- und Schalldämmung	0,13
Luftleitungen, Einbauten, Luftdurchlässe	15,23
Lüftungsgeräte	1,78
Schalldämpfer	1,31
Wärme- und Kälte­dämmung	2,78
Σ Gesamtmasse Klima-/Lüftungsanlagen	21,82

Sanitäranlagen

Das Gewerk Sanitäranlagen ist für ca. 8 Tonnen Material verantwortlich (siehe Tabelle 15). Die Abwasseranlagen bestehen vorwiegend aus Kunststoffen wie Polyethylen, Polypropylen oder Polyurethan und Metallen wie Aluminium, Edelstahl und Stahlblech und sind für ca. 4,8 Tonnen dieses Gewerks verantwortlich. Die Feuerlöschanlagen bestehen hauptsächlich aus Metallen, deren Massenanteil mit ca. 0,5 Tonnen für dieses Gewerk geringer ausfällt. Die sanitären Einrichtungen wie Toiletten, Waschtische und Anschlussgarnitur sind vorwiegend aus Keramik und Kunststoff gefertigt und sind für ca. eine Tonne verantwortlich. Ein großer Teil dieses Gewerks machen die Verteilleitungen sowie die Ventile des Bereichs Wasseranlagen aus, welche primär aus unterschiedlichen Metallfraktionen gefertigt sind und für ca. 1,6 Tonnen verantwortlich sind.

Tabelle 15: Zusammenfassung der Massenbestandteile für das Gewerk Sanitäranlagen im Bereich Bauwerk-Technik nach ÖNORM B 1801-1

Baustoff/Komponente	Masse in Tonnen
Abwasseranlagen	4,72
Feuerlöschanlagen	0,45
Sanitäre Einrichtungen	0,96
Wasseranlagen	1,56
Σ Gesamtmasse Sanitäranlagen	7,69

Zusammenfassung der Massenbilanz Bauwerk-Technik nach ÖNORM B 1801-1

Abbildung 7 zeigt eine Zusammenfassung der einzelnen Materialfraktionen in den Gewerken des Bereichs Bauwerk-Technik. In allen Gewerken (ausgenommen Sanitäranlagen) dominiert der Einsatz von unterschiedlichen Metallen. Speziell im Gewerke Klima-/Lüftungsanlagen ist dieser Anteil mit ca. 18 Tonnen am weitesten ausgeprägt. Im Gewerke Elektroinstallation sind zusätzlich zum großen Anteil an Metallen, welcher primär auf die Aufzugsanlage sowie den Kupferanteil in den Verkabelungen zurückzuführen ist, ca. 0,6 Tonnen Kunststoff verbaut. Diese beinhalten Kunststoffe wie Polyethylen und Polyvinylchlorid, welche zur Herstellung der Kabelkanäle, Elektrodosen, Schalter und Fühler eingesetzt werden. Das Gewerke Klima-/Lüftungsanlagen besteht zusätzlich zum großen Metallanteil aus ca. einer Tonne Kunststoff (für Feuer- und Schalldämmung sowie Luftleitungen und Luftdurchlässe) sowie aus ca. einer Tonne Calciumsilikat, welche für die Brandschutzverkleidung der Wärme- und Kälte­dämmung eingesetzt werden. Zusätzlich sind hier ca. 0,8 Tonnen Mineralwolle für Schalldämpfer, Wärme- und Kälte­dämmung sowie für weitere Einbauten verbaut. Der Bitumenanteil mit ca. 0,2 Tonnen ist auf eingesetzte Schwerfolien zur Schalldämmung zurückzuführen.

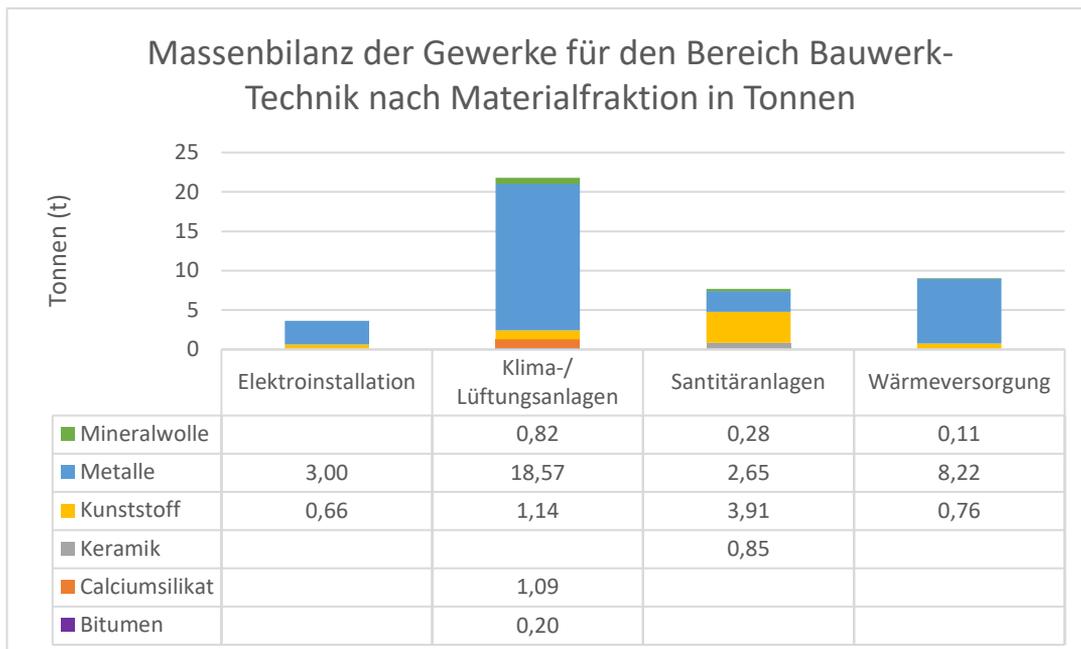


Abbildung 7: Massenaufstellung der Gewerke für den Bereich Bauwerk-Technik nach Materialfraktion in Tonnen (t)

Massenbilanz des Referenzgebäudes nach ÖNORM B 1801-1

Tabelle 16 zeigt eine Gegenüberstellung der Massenbestandteile der Baukonstruktion und der Bauwerk-Technik. Das Gesamtgewicht des Referenzgebäudes beträgt 4 607 Tonnen von denen 4 565 Tonnen auf die Baukonstruktion und 42,2 Tonnen auf die Gebäudetechnik zurückzuführen sind. Damit beträgt der Anteil der Baukonstruktion etwa 99% und der Anteil der Gebäudetechnik etwa 1% am Gesamtgewicht. Die Hauptmaterialien der Gebäudekonstruktion sind dabei Hohlkörper- und Normalbeton, während in der Gebäudetechnik vor allem Metalle und Kunststoffe verwendet werden. In den folgenden Abschnitten wird analysiert, welche Treibhausgaspotentiale sich aus der Massenbilanz ableiten lassen.

Tabelle 16: Zusammenfassung der Massenbestandteile der Baukonstruktion und die Gewerke im Bereich Bauwerk-Technik nach ÖNORM B 1801-1

Massenbilanz nach Gewerk	Masse in Tonnen
Baukonstruktion (Bautechnik)	4 565
Gebäudetechnik	
Wärmeversorgung	9,03
Klima-/Lüftungsanlagen	21,82
Sanitär	7,69
Elektroinstallationen	3,66
Σ Gewerk Baukonstruktion (Bautechnik)	4 565
Σ Gewerke Gebäudetechnik	42,2
Σ Gesamt	4 607

5.2.2. Ökobilanzergebnisse des Referenzgebäudes

Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse für die Wirkungskategorie Treibhauspotenzial (GWP_{100}) für die betrachteten Lebenszyklusphasen A1-A3 des Gesamtgebäudes. Die Auswertung nach IPCC AR6 gibt die Ergebnisse in der betrachteten Wirkungskategorie auf zwei Arten an: diese werden inkl. biogenem Kohlenstoff (GWP_{100} , inkl. biogenem CO_2) und exkl. biogenem CO_2 (GWP_{100} , exkl. biogenem CO_2) ausgegeben. In Abbildung 8 sind diese Werte einzeln dargestellt sowie zusätzlich der Anteil an biogenem Kohlendioxid separat angegeben (GWP_{100} , Anteil CO_2 (biogen)).

Bei Nichtberücksichtigung des biogenen Kohlendioxids errechnen sich für das Gebäude, bezogen auf die funktionelle Einheit $kg\ CO_2\text{-eq.}/m^2_{NGF}$, Gesamtemissionen von $353\ kg\ CO_2\text{-eq.}/m^2_{NGF}$ für die betrachteten Lebenszyklusphasen A1-A3. Der biogen gespeicherte Kohlenstoff im betrachteten System ($-21\ kg\ CO_2\text{-eq.}/m^2_{NGF}$), welcher aus dem CO_2 -Bindungspotenzial von Materialien wie beispielsweise Holz resultiert, kommen dem Produktsystem als CO_2 -Senke zugute. Unter Berücksichtigung des biogenen Kohlendioxids im betrachteten System reduzieren sich somit die Gesamtemissionen auf $332\ kg\ CO_2\text{-eq.}/m^2_{NGF}$.

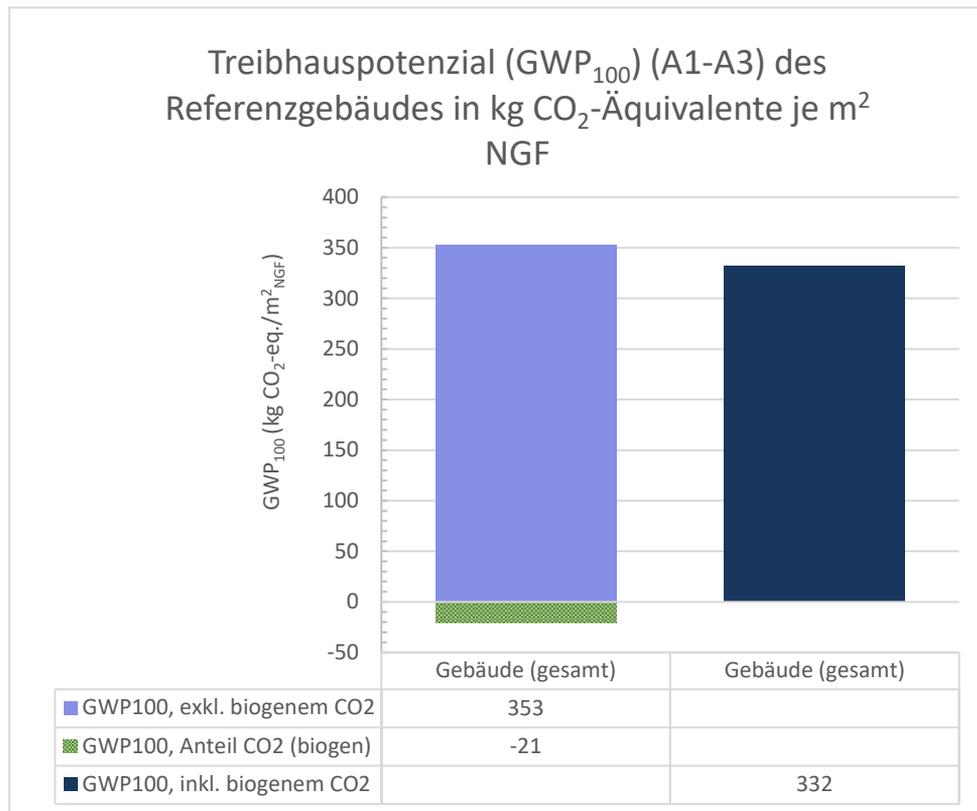


Abbildung 8: Treibhauspotenzial (GWP₁₀₀) (A1-A3) des Referenzgebäudes in kg CO₂-Äquivalente je m² NGF

In Abbildung 9 sind die Ergebnisse für die Wirkungskategorie Treibhauspotenzial differenziert nach den einzelnen Gewerken abgebildet. Zusätzlich zu den Absolutwerten sind in der Grafik die prozentuellen Anteile der Umweltwirkung der einzelnen Gewerke an der Gesamtumweltwirkung in % (oberhalb der Säulen) angegeben. Die LCA-Analyse zeigt, dass der größte Anteil der Konstruktion zuzuschreiben ist, welche für ca. 293 kg CO₂-eq/m²_{NGF} verantwortlich ist. Der Gesamtbeitrag der Technikgewerke beläuft sich in Summe auf ca. 39 kg CO₂-eq/m²_{NGF}. Dies entspricht 11,75 % des Treibhauspotentials des Gesamtgebäudes. Den größten Anteil der Technik-Gewerke liefert das Gewerk Lüftung mit einem Beitrag von ca. 18 kg CO₂-eq/m²_{NGF} gefolgt vom Gewerk Heizung mit ca. 11 kg CO₂-eq/m²_{NGF}. Die Technik-Gewerke mit den niedrigsten Beiträgen sind die Sanitäreanlagen mit ca. 6,5 kg CO₂-eq/m²_{NGF} sowie die Elektroinstallationen mit ca. 3 kg CO₂-eq/m²_{NGF}.

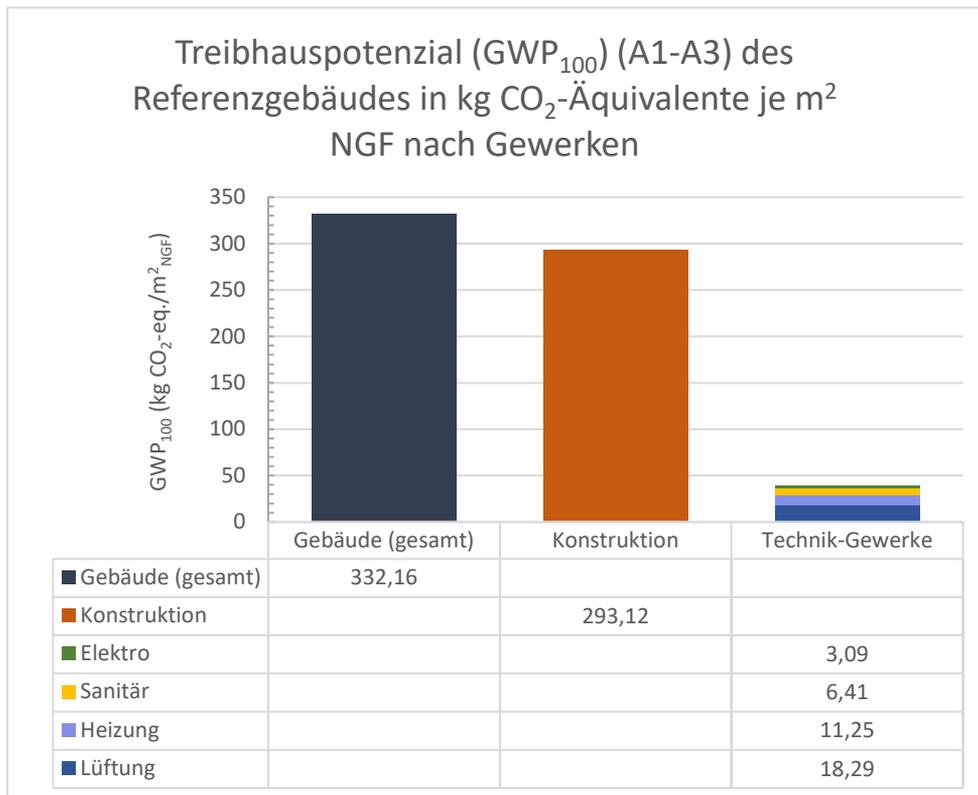


Abbildung 9: Treibhauspotenzial (GWP₁₀₀) (A1-A3) des Referenzgebäudes in kg CO₂-Äquivalente je m² NGF nach Gewerken

LCA-Ergebnisse der Gewerke

Nachfolgend werden die LCA-Ergebnisse der einzelnen Gewerke nach Bauteilen bzw. Subgewerken analysiert. Wie in Abbildung 9 dargestellt, ist die Konstruktion für den größten Anteil an der gesamten Umweltwirkung mit ca. 293 kg CO₂-eq/m²_{NGF} (inkl. biogenem CO₂) verantwortlich. In Abbildung 10 ist das Treibhauspotenzial im Gewerk Konstruktion nach den einzelnen Bauteilen differenziert dargestellt. Zusätzlich wird in der Abbildung, wie in 5.2.2 erläutert, zwischen dem Ergebnis inklusive biogenem CO₂ und ohne biogenem CO₂ differenziert. Dadurch kann aufgezeigt werden, in welchen Bauteilen CO₂-Senken durch bspw. Bauteilschichten aus Holz vorhanden sind. Das Ergebnis zeigt, dass die Zwischendecken sowie die Außenwand ca. 60 % an den potenziellen Treibhausemissionen in diesem Gewerk verursachen (Zwischendecke: 125 kg CO₂-eq/m²_{NGF} und Außenwand: 50 kg CO₂-eq/m²_{NGF}). Durch das jeweils geringe CO₂-Speicherpotenzial der Bauteile (Zwischendecke aus Hohlkörperbeton und Außenwand aus ausgedämmtem Ziegelmauerwerk) bilden diese nur sehr geringfügig CO₂-Senken. Die CO₂-Senke in den Zwischendecken von 8 kg CO₂-eq/m²_{NGF} (133 kg CO₂-eq/m²_{NGF} - 125 kg CO₂-eq/m²_{NGF}) sind auf den Kartonanteil in den Gipskartonplatten zurückzuführen. Die übrigen 40 % der Umweltwirkung innerhalb des Gewerks teilen sich auf die Bauteile Flachdach, Zwischenwände, Fenster inkl. Sonnenschutz sowie die erdanliegenden Bodenbereiche und die Tiefgaragendecke zwischen EG und UG auf. Die CO₂-Senken des Flachdachs und der Zwischenwände sind bei ersterem auf das eingesetzte Begrünungssubstrat und bei zweiterem auf das Konstruktionsholz zurückzuführen.

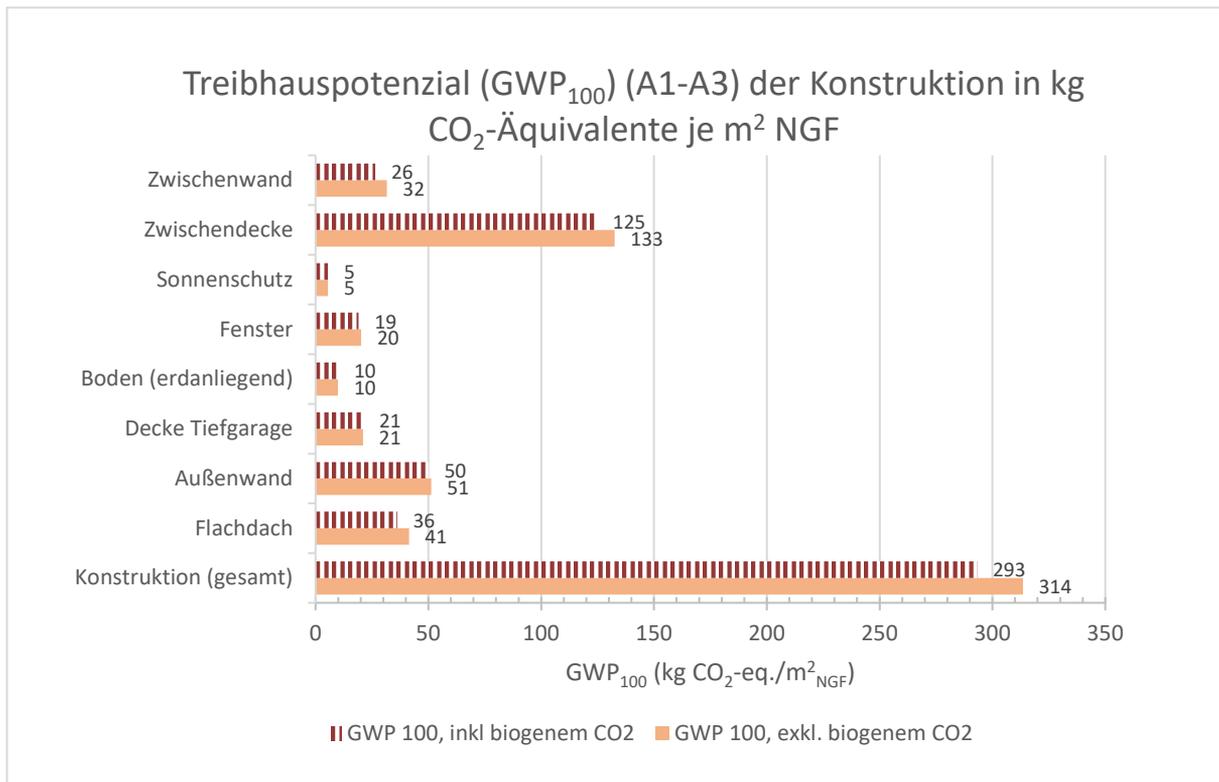


Abbildung 10: Treibhauspotenzial (GWP₁₀₀) (A1-A3) der Konstruktion in kg CO₂-Äquivalente je m² NGF

Die Ergebnisse des Gewerks Elektroinstallation sind nachfolgend in Abbildung 11 dargestellt. Dieses trägt, bezogen auf die Gesamtemissionen des Gebäudes, am geringsten zur Umweltwirkung in der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial bei. Jedoch ist auch der geringe Massenanteil mit ca. 3,66 Tonnen am Gesamtgebäude ausschlaggebend für dieses Ergebnis. Den größten Beitrag leistet hier die Aufzugsanlage des Gebäudes mit ca. 1,74 kg CO₂-eq/m²_{NGF}, wobei zu beachten ist, dass hier nicht nur die Elektronikkomponenten der Aufzugsanlage, sondern auch die Konstruktion inkl. der Kabine bilanziert ist. Dies ist darauf zurückzuführen, da ein spezifischer Datensatz für Aufzugsanlagen der GaBi Professional Datenbank verwendet wurde, welcher die Komponenten der Aufzugsanlage inkl. Kabine und Verkabelung je Gewerk zusammenfasst. Entsprechend wurde dieser in Summe für die sieben Geschosse adaptiert.

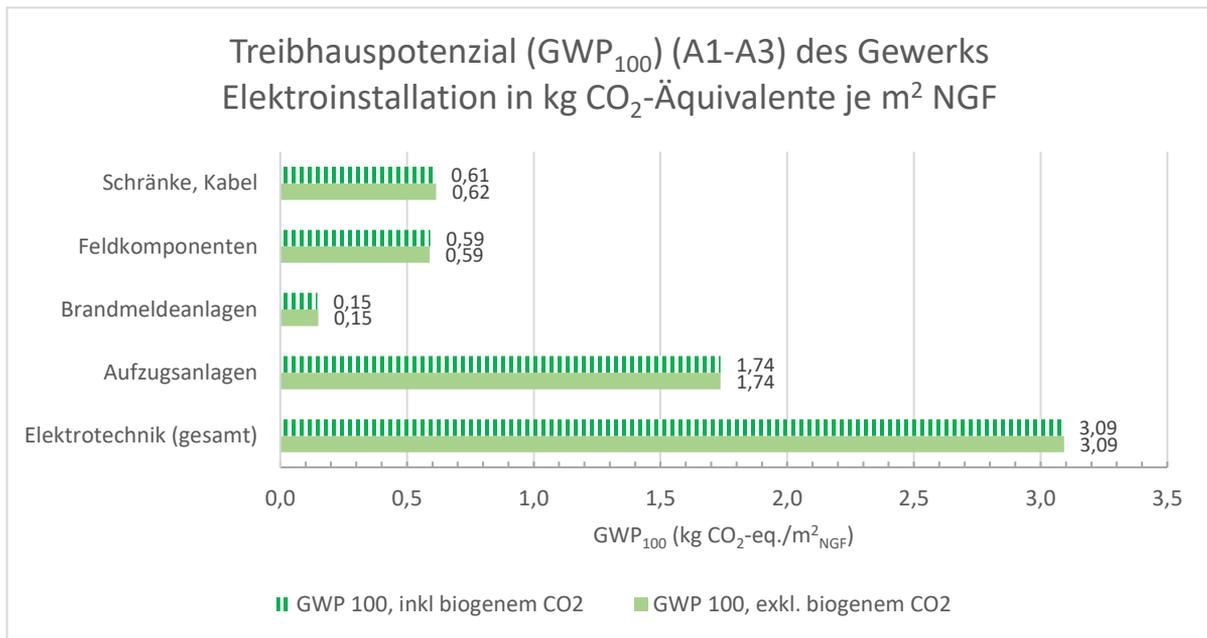


Abbildung 11: Treibhauspotenzial (GWP₁₀₀) (A1-A3) des Gewerks Elektroinstallation in kg CO₂-Äquivalente je m² NGF

Diese Abbildung zeigt die Ergebnisse des Treibhausgaspotentials des Gewerks Heizung. Die größten Beiträge sind auf die Wärmeverteilung mit 5,76 kg CO₂-eq/m²_{NGF} und die Wärmeabgabe mit 4,24 kg CO₂-eq/m²_{NGF} zurückzuführen. Sie haben auch die größten Massenanteile innerhalb des Gewerks. Von den Gebäudetechnik Gewerken hat das Gewerk Heizung den zweigrößten Anteil am gesamten Treibhausgaspotential des Referenzgebäudes. Er lässt sich durch den starken Einsatz von Metallen in der Wärmeverteilung und -abgabe erklären.

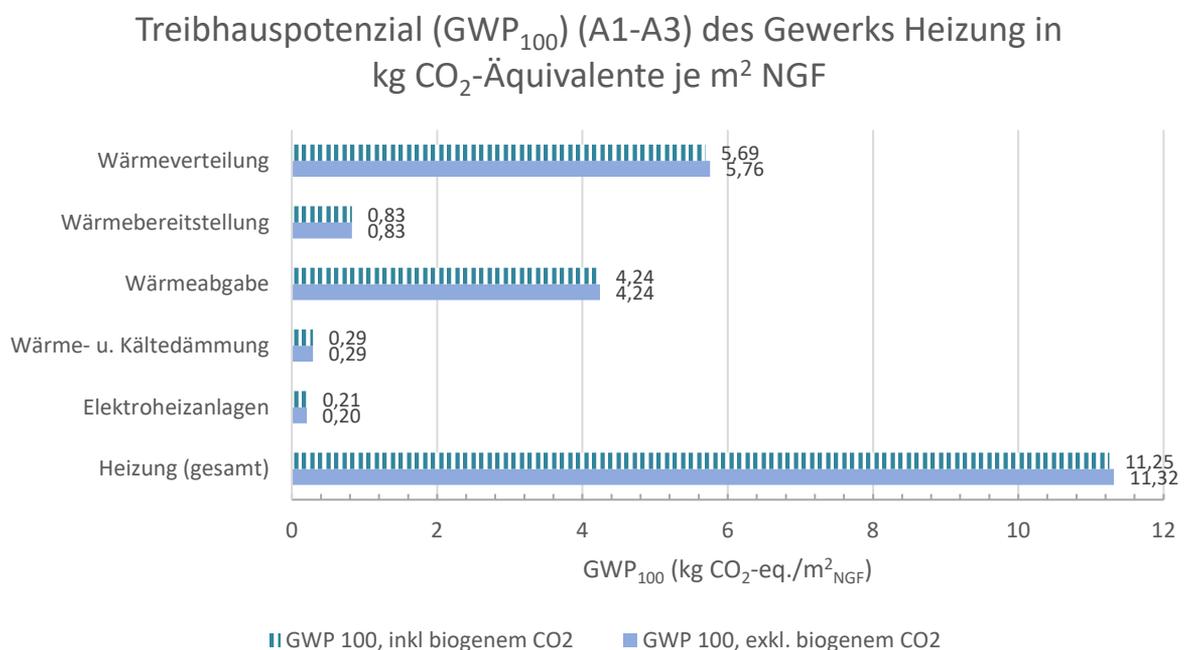


Abbildung 12: Treibhauspotenzial (GWP₁₀₀) (A1-A3) des Gewerks Heizung in kg CO₂-Äquivalente je m² NGF

Die Ergebnisse des Gewerks Lüftungstechnik sind in Abbildung 13 zu finden. Mit 18,32 kg CO₂-eq/m²_{NGF} trägt die Lüftungstechnik am stärksten von allen Gebäudetechnik-Gewerken zum Treibhausgaspotential des Referenzgebäudes bei. Davon entfallen 12,8 kg CO₂-eq/m²_{NGF} und damit etwa 70% auf die Luftleitungen. Ähnlich dem Gewerk Heizung hat auch hier das Subgewerk mit dem größten Massenanteil den größten Anteil am Treibhausgaspotential. Auch hier ist die Verwendung von Metallrohren in den Luftleitungen ausschlaggebend für deren hohes Treibhausgaspotential.

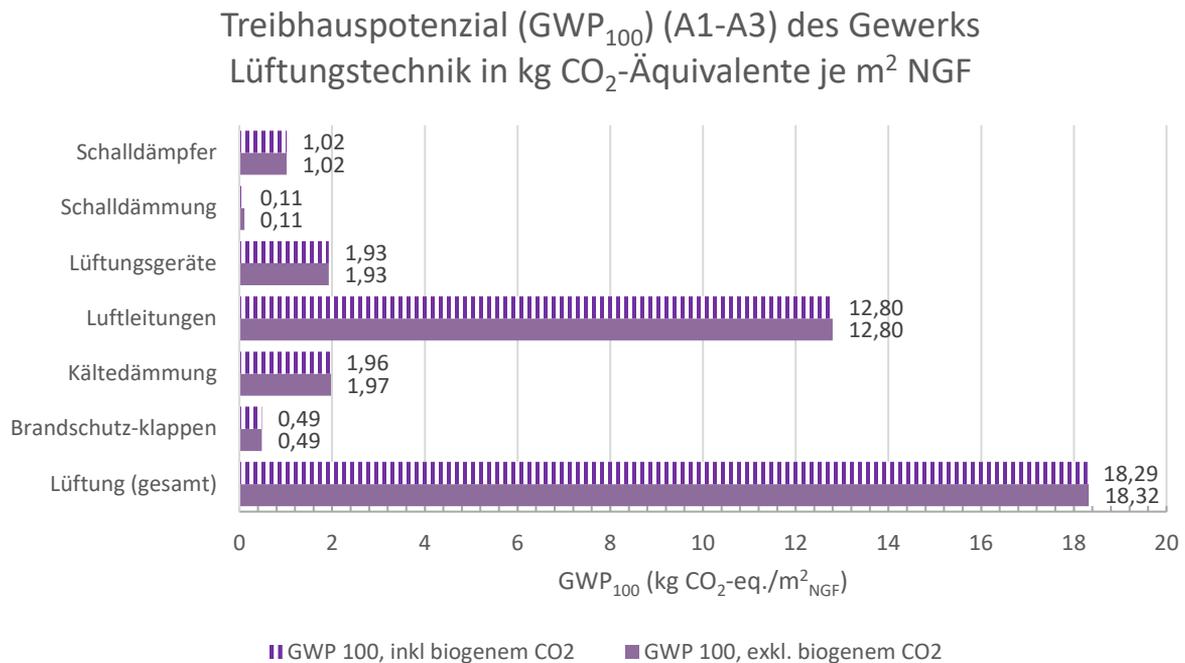


Abbildung 13: Treibhauspotenzial (GWP₁₀₀) (A1-A3) des Gewerks Lüftungstechnik in kg CO₂-Äquivalente je m² NGF

Im Gewerk Sanitärtechnik werden überwiegend Kunststoffe verwendet. Das schlägt sich auch in den Ergebnissen des Treibhausgaspotentials nieder. Diese sind in Abbildung 14 abgebildet. Insgesamt sind der Sanitärtechnik 6,41 kg CO₂-eq/m²_{NGF} zuzuordnen, wobei der Großteil davon den Abwasseranlagen zuzuschreiben ist. Vergleicht man die Sanitärtechnik mit der Heizung so fällt folgendes auf: Die Masse der Sanitärtechnik beträgt etwa 85% der Masse des Gewerks Heizung, während ihr Treibhausgaspotential nur etwa 57% des Treibhausgaspotentials der Heizung beträgt. Die Ursache dafür ist in den unterschiedlichen Zusammensetzungen der verwendeten Materialien zu finden. Die Komponenten mit den größten Anteilen des Treibhausgaspotentials der Sanitäranlagen sind die Verteilleitungen Wasser, Abflussrohre und Löschwasserleitungen.

Treibhauspotenzial (GWP₁₀₀) (A1-A3) des Gewerks Sanitärtechnik in kg CO₂-Äquivalente je m² NGF

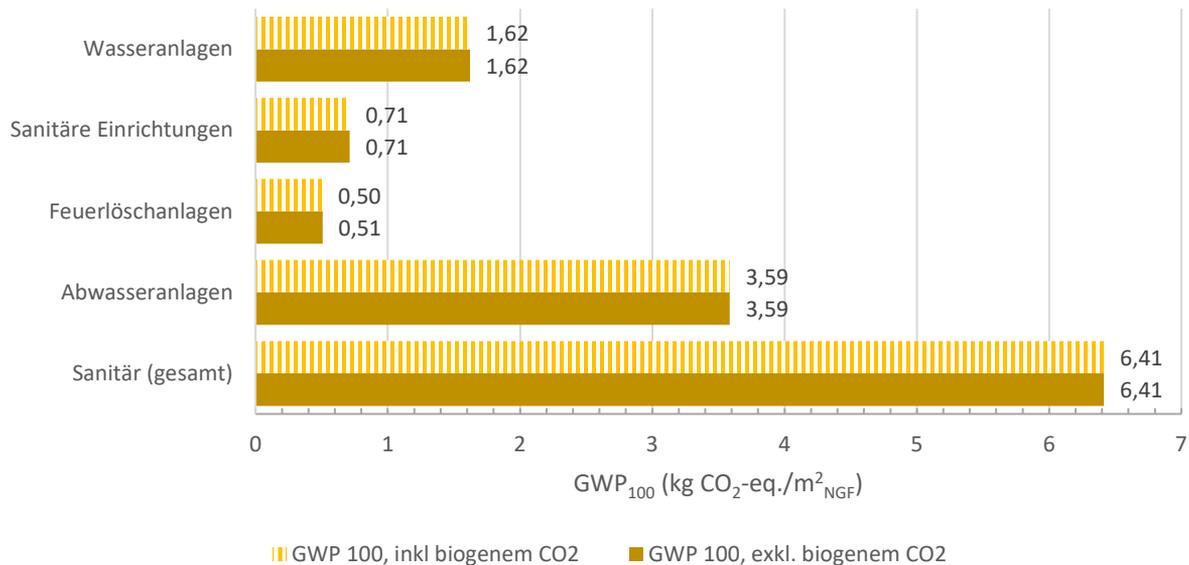


Abbildung 14: Treibhauspotenzial (GWP₁₀₀) (A1-A3) des Gewerks Sanitärtechnik in kg CO₂-Äquivalente je m² NGF

Im Vergleich der Ergebnisse der Gebäudetechnik-Gewerke inklusive und exklusive biogenem CO₂, fällt auf, dass diese nur geringe Unterschiede aufweisen. Das ist nicht verwunderlich, da im Referenzgebäude kaum biogene Materialien in der Gebäudetechnik verwendet werden.

5.2.3. Ökobilanzergebnisse des Gebäudevergleichs

Um die Auswirkungen der Baukonstruktion auf das Treibhauspotential des Gesamtgebäudes zu analysieren, wurden in einem Szenario einzelne Bauteile der Konstruktion durch eine Holzkonstruktion ersetzt. Dafür wurden Bauteile des Flachdachs, der Zwischendecken der Obergeschosse und der Außenwand getauscht. Die Gebäudetechnik-Gewerke blieben dabei unverändert. Die Ergebnisse sind in Abbildung 15 dargestellt. Zu beachten ist, dass hier das Treibhauspotential exklusive biogenem CO₂ abgebildet ist. Im Vergleich des Treibhausgaspotentials der Holzkonstruktion mit jenem der ursprünglichen Konstruktion des Referenzgebäudes zeigt sich eine Reduktion um 63,5 kg CO₂-eq/m²_{NGF} und damit um etwa 22%. Daraus ergibt sich ein größerer Anteil der Gebäudetechnik am Treibhauspotential des Gebäudes. Während der Anteil der Gebäudetechnik am Treibhauspotentials des Referenzgebäudes in seiner ursprünglichen Bauweise 11,8% beträgt, wächst dieser auf 14,5% wenn eine Holzkonstruktion verwendet wird.

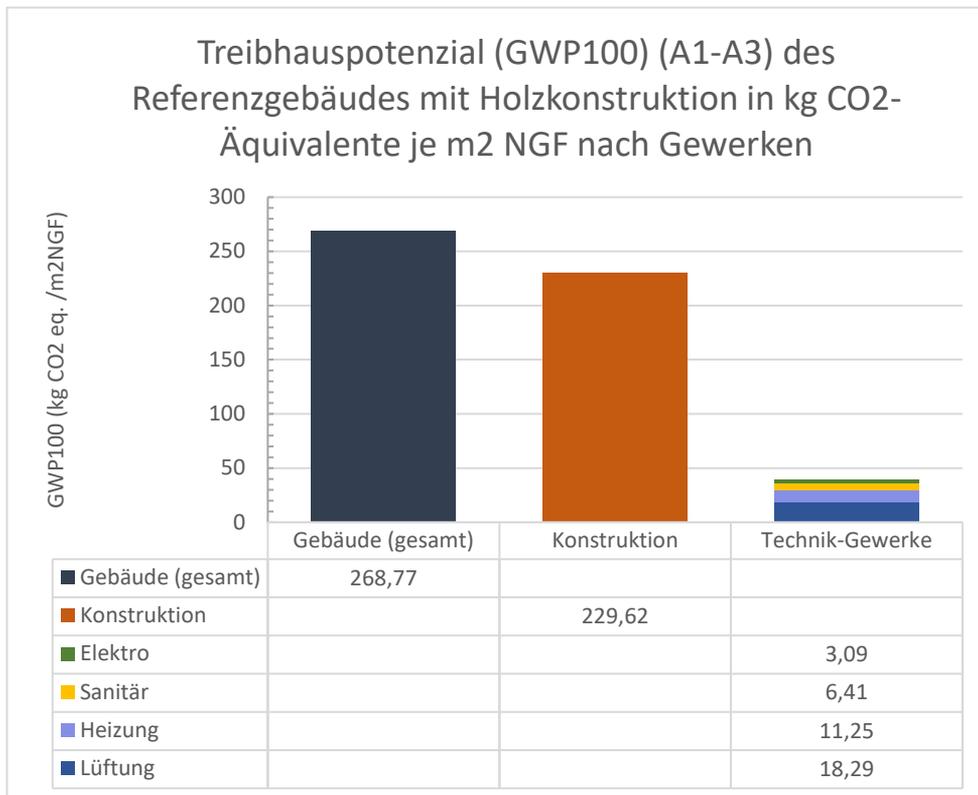


Abbildung 15: Treibhauspotenzial (GWP100) (A1-A3) des Referenzgebäudes mit Holzkonstruktion in kg CO₂-Äquivalente je m² NGF nach Gewerken

5.2.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Massenbilanz hat gezeigt, dass etwa 99% der Masse des Referenzgebäudes auf die Gebäudekonstruktion und etwa 1% auf die Gebäudetechnik entfallen. Die verschiedenen Materialfraktionen innerhalb der Gebäudetechnik teilen sich dabei wie folgt auf: Metalle 76,8%, Kunststoffe 15,3%, Mineralwolle 2,9%, Calciumsilikat 2,6%, Keramik 2% (siehe Abbildung 16). Am meisten ins Gewicht fallen die Lüftungsanlagen und die Wärmeversorgung mit hohem Metalleinsatz in den Rohrleitungen. Die Kunststoffe werden überwiegend in den Sanitäreinrichtungen verbaut.

Anteilige Baustoffmassen in Prozent (%) der Gebäudetechnik nach ÖNORM B 1801-1

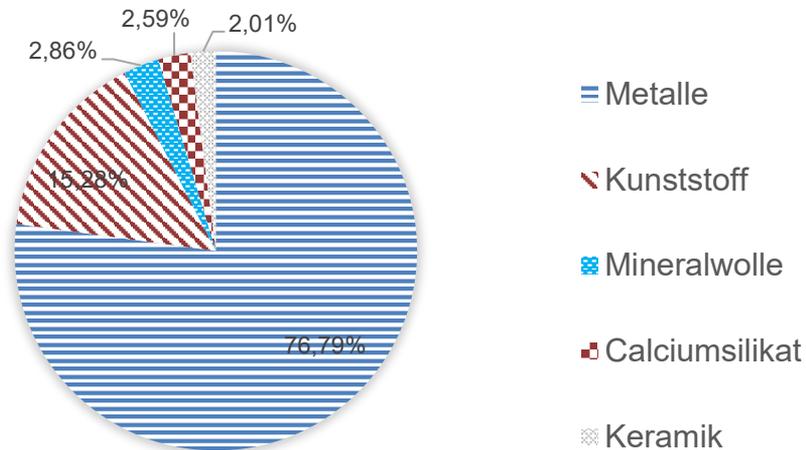


Abbildung 16: Anteilige Baustoffmassen in Prozent (%) der Gebäudetechnik nach ÖNORM B 1801-1

Während der Masseanteil der Gebäudetechnik am Referenzgebäude sehr klein ist, fällt ihr Beitrag zum Treibhauspotential deutlich größer aus. Die Gebäudetechnik ist für etwa 12% des Treibhauspotentials verantwortlich. Bei Verwendung einer Holzkonstruktion für das Referenzgebäude steigt dieser Anteil auf etwa 15%. Der Großteil des Treibhauspotentials in der Gebäudetechnik und damit hohes Optimierungspotential liegt in den Rohrleitungen der Lüftungsanlagen und der Wärmeversorgung. Eine Aufstellung der Komponenten mit den größten Treibhausgaspotential-Anteilen nach Gebäudetechnik-Gewerk ist in Abbildung 17 dargestellt.

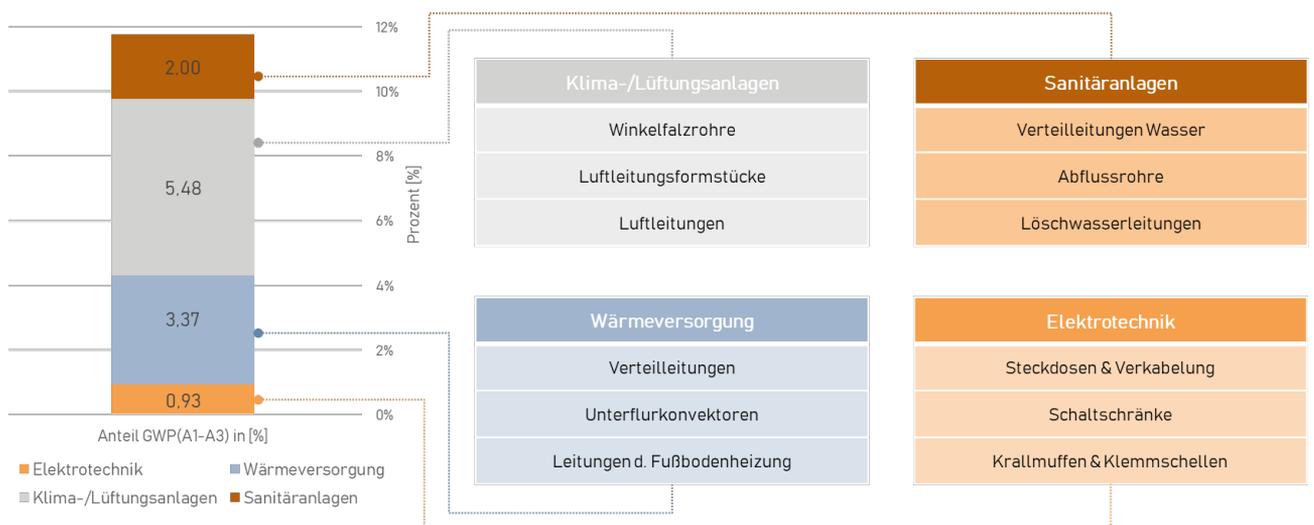


Abbildung 17: Komponenten mit größten Treibhauspotential-Anteilen je Gebäudetechnik-Gewerk

6 Schlussfolgerungen

Im Laufe des Projekts haben sich diverse Annahmen bewahrheitet und es zeigen sich Übereinstimmungen mit Werten aus Literatur und Fachexpertise. Die Datenlage bei Lebenszyklusdatensätzen für die Untersuchung ist hingegen problematisch und zeigt negative Auswirkungen auf die Forschungsfragen. Dem Lerneffekt und Erkenntnisgewinn aus dem Projekt tun dies jedoch keinen Abbruch.

Die Gebäudetechnik ist, obgleich sie nur etwa ein Prozent der Gesamtmasse ausmacht, ein relevanter Treiber des GWP in den Lebenszyklusphasen A1-A3. Mit etwa zwölf Prozent des Gesamtpotentials am Gebäude ist weiteres Optimieren sinnvoll, zumal Baumasse und Gebäudehüllen im Fokus laufender Reduktionsmaßnahmen sind und sich daher das Verhältnis noch weiter zur TGA verschiebt. Weitere Forschung in diesem Bereich ist als sinnvoll zu bewerten und auch für TGA-Betriebe in der Marktwirtschaft von Bedeutung.

Innerhalb der TGA ist im Referenzobjekt die Klima- und Lüftungstechnik der größte Faktor, zurückzuführen auf den hohen Metallanteil der Lüftungsrohre. Darauf folgt die Wärmeversorgung, die jedoch einen größeren Kunststoffanteil aufweist – und keine klassischen Radiatoren-Heizungen aus Metall. Metalle sind ein resilientes Material und daher in der TGA präferiert, obwohl vereinzelt Kunststoffe eingesetzt werden. Zudem ist die Metallproduktion in starkem Wandel und durch die Nutzung von Wasserstoff im Prozess in den nächsten Jahren wesentlich nachhaltiger als derzeit, womit eventuelle Vorteile durch Kunststoffe negiert werden.

Zur Abschätzung der Umweltwirkung von Bio-Kunststoffen liegen ohnedies derzeit kaum verlässliche Daten vor, zudem sind Additive und Herstellungsprozesse komplex, sodass ein einfaches Austauschen der Granulate in einem Lebenszyklusdatensatz für beispielsweise Rohrleitungen nicht möglich ist.

Drop-In-Technologien für Kunststoffe, also den Ersatz von erdölbasierten durch biogene Granulate in der Herstellung, sind bereits jetzt möglich und auch teilweise für den Markt verfügbar, jedoch noch nicht für TGA-Komponenten eingesetzt und zertifiziert. Diese biogenen Granulate stehen jedoch in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion (z.B. aus Zuckerrüben) und sollten daher mit Bedacht eingesetzt werden.

Neuartige biogene Kunststoffe, beispielsweise PLA, sind für stark beanspruchte Produkte in der TGA, beispielsweise Rohr- und Lüftungsleitungen, wenig geeignet. Für viele Kleinteile, insbesondere Steckdosen, Leerverrohrungen und Gehäuse der Elektrotechnik ist ein Einsatz aber durchaus denkbar. Festzustellen ist, dass biologische Abbaubarkeit für viele Anwendungen erstrebenswert ist, für Gebäude jedoch darauf geachtet werden muss, unter welchen Bedingungen sich Materialien abbauen.

Biogene Kunststoffe jedweder Art bedürfen jedoch bei Markteintritt adäquate Lebenszyklusanalysen, denn allein die biogene Quelle des Granulats und anderer, einzelner Additive und Inhaltsstoffe ist noch keine Aussage über „nachhaltigere“ Herstellung, zumal der Herstellungsprozess ident zu konventionellem Kunststoff ist und somit weitere Ungenauigkeiten entstehen.

Abseits von Kunststoffen konnten wir uns hauptsächlich mit Holzwerkstoffen beschäftigen. Klassischer Holzwerkstoff (in Form von Platten) könnte mit Lacken und Schutzschichten durchaus in der Lage sein, in der TGA Platz zu finden – sogar für hochwertige Luftleitungen. Durch den erhöhten Volumenbedarf

im Vergleich zu Metallkanälen und die zusätzlich notwendigen Maßnahmen zur Sicherung der hygienischen Anforderungen ist ein Mehraufwand inkludiert, der diese Lösung finanziell unattraktiv macht. Auch auf technischer Seite gibt es derzeit keine biogenen Lösungen hoher Marktreife für diese Lacke, wodurch nur eine „Problemstelle“ durch eine andere, noch wenig erforscht getauscht wird.

Auf der anderen Seite stehen Wood-Plastic-Composites, die im 3D-Druck für Formteile bereits innovative Lösungen liefern können. Als Musterbeispiel sind Lüftungsgitter zu nennen – hier kommen die Stärken des sogenannten „4D-Drucks“ besonders zur Geltung. Mit dieser Technologie und WPC ist es möglich, auf Basis von Parametern wie Feuchtigkeit allein durch die Materialeigenschaften deren Form zu verändern und so in Nassräumen ohne zusätzliche Technologie funktionale Lüftungsklappen zu kreieren. Die Langzeitperformance bedarf zusätzlicher Forschung, jedoch ist die Technologie vielversprechend.

7 Ausblick und Empfehlungen

Als Sondierungsprojekt konnte BiBi-TGA Wegweiser für zukünftige Forschung feststellen, die jedoch Hand in Hand mit wirtschaftlichen Partnern stattfinden muss, die in der TGA verankert sind. Von akademischer Seite gibt es eine Vielzahl an Ideen, die auch an Instituten mit größeren Laboren, insbesondere in der Verfahrenstechnik, aktiv erforscht werden. Für erfolgreiche Fortführung der in diesem Projekt entstandenen Erkenntnisse müssen auch diese miteinbezogen werden.

Die verfügbaren Datensätze für Lebenszyklusanalysen von biobasierten Kunststoffen sind momentan nur rudimentär, da lediglich die Werte des verwendeten Granulats getauscht wurden. Da gegebenenfalls an Herstellungsprozess und notwendigen Additiven Veränderungen vorgenommen werden müssen, kann so nur eine grobe Abschätzung getroffen werden. Erst mit Prototypisierung können solche Prozesse in einem LCA abgebildet werden. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass sich beim Sprung zur Serienproduktion ebenso die Parameter ändern und nicht unmittelbar positive Ergebnisse zu erwarten sind.

Darüber hinaus sind für zukünftige Forschungen sicherlich die Nutzung, der Abbau und das Recycling des Materials von großem Interesse – also einer Erweiterung der Lebenszyklusbetrachtung bis hin zu „Cradle-to-Cradle“. Bevor dieser Schritt über explizit für biogene Kunststoffe in TGA – oder generell im Bauwesen – gemacht werden können, müssen biogene Materialien, insbesondere Kunststoffe und Tannine, erst in ihrer Marktreife steigen.

Als „Low-Hanging Fruits“ lassen sich viele Kunststoff-Kleinteile ansehen, deren Anforderungen überschaubar sind. Zwar machen für ein einzelnes Objekt diese Kunststoffteile einen viel geringeren Anteil aus als beispielweise Lüftungsrohre aus Stahlblech oder Rohrleitungen und Kupfer und Rotguss.

Ambitionierter ist die Nutzung von „4D-Druck“ für bewegliche Teile in der TGA. Der Reifegrad der Technologie und insbesondere das Wissen über deren Verhalten über längere Zeiträume sind für eine Anwendung in der TGA derzeit noch schwer greifbar. Sollte weitere Forschung positive Ergebnisse liefern, könnte sie für Low-Tech-Lösungen in der TGA spannende Möglichkeiten liefern.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: TRL gemäß FFG- bzw. EU-Richtlinien (Europäische Kommission 2012, S. 18).....	21
Abbildung 2: Bewertung von "Competitors" nach Wertigkeit der Materialien (Quelle Kat. 1: iStock; Kat. 2, Kat. 3: Eigene Darstellung)	22
Abbildung 3: Substitutionskategorien- und Richtungen	23
Abbildung 4: Prozessschritte für die Erstellung einer Lebenszyklusanalyse gemäß ÖNORM EN 15978:2012 (e.D. nach Passer et al. 2012).....	24
Abbildung 5: Darstellung der Berechnung des Wirkungsindikators für die Wirkungskategorie Treibhauspotenzial (GWP ₁₀₀) anhand dem Beispielprozess "Energimix Österreich, Bereitstellung von einer Kilowattstunde (kWh)" (e.D. in Anlehnung an Forschungszentrum Jülich GmbH).....	28
Abbildung 6: Anteilige Baustoffmassen in Prozent (%) der Konstruktion nach ÖNORM B 1801-1	38
Abbildung 7: Massenaufstellung der Gewerke für den Bereich Bauwerk-Technik nach Materialfraktion in Tonnen (t).....	41
Abbildung 8: Treibhauspotenzial (GWP ₁₀₀) (A1-A3) des Referenzgebäudes in kg CO ₂ -Äquivalente je m ² NGF	43
Abbildung 9: Treibhauspotenzial (GWP ₁₀₀) (A1-A3) des Referenzgebäudes in kg CO ₂ -Äquivalente je m ² NGF nach Gewerken.....	44
Abbildung 10: Treibhauspotenzial (GWP ₁₀₀) (A1-A3) der Konstruktion in kg CO ₂ -Äquivalente je m ² NGF	45
Abbildung 11: Treibhauspotenzial (GWP ₁₀₀) (A1-A3) des Gewerks Elektroinstallation in kg CO ₂ -Äquivalente je m ² NGF	46
Abbildung 12: Treibhauspotenzial (GWP ₁₀₀) (A1-A3) des Gewerks Heizung in kg CO ₂ -Äquivalente je m ² NGF	47
Abbildung 13: Treibhauspotenzial (GWP ₁₀₀) (A1-A3) des Gewerks Lüftungstechnik in kg CO ₂ -Äquivalente je m ² NGF	47
Abbildung 14: Treibhauspotenzial (GWP ₁₀₀) (A1-A3) des Gewerks Sanitärtechnik in kg CO ₂ -Äquivalente je m ² NGF.....	48
Abbildung 15: Treibhauspotenzial (GWP ₁₀₀) (A1-A3) des Referenzgebäudes mit Holzkonstruktion in kg CO ₂ -Äquivalente je m ² NGF nach Gewerken	49
Abbildung 16: Anteilige Baustoffmassen in Prozent (%) der Gebäudetechnik nach ÖNORM B 1801-150	
Abbildung 17: Komponenten mit größten Treibhauspotential-Anteilen je Gebäudetechnik-Gewerk.	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Arbeitspakete.....	17
Tabelle 2: Hauptparameter des Referenzgebäudes.....	19
Tabelle 3: Bewertungsskala Materialwertigkeit.....	22
Tabelle 4: Modularer Aufbau der Lebenszyklusphasen eines Gebäudes gemäß ÖNORM EN 15978:2012 (nach Hoxha et al. 2021).....	26
Tabelle 5: Prozesstypen der GaBi LCA Professional Datenbank.....	27
Tabelle 6: Potenzialanalyse für Kategorie A.....	31
Tabelle 7: Potentialanalyse für Kategorie B	31
Tabelle 8: Potenzialanalyse für Kategorie C	32
Tabelle 9: Potentialanalyse für Kategorie D.....	33
Tabelle 10: Zusammenfassung der einzelnen Bauteilschichten der wichtigsten Außen- und Innenbauteile	36
Tabelle 11: Zusammenfassung der Baustoffmassen für den Bereich Bauwerk-Rohbau nach ÖNORM B 1801-1.....	37
Tabelle 12: Zusammenfassung der Massenbestandteile für das Gewerk Elektrotechnik im Bereich Bauwerk-Technik nach ÖNORM B 1801-1.....	39
Tabelle 13: Zusammenfassung der Massenbestandteile für das Gewerk Wärmeversorgung im Bereich Bauwerk-Technik nach ÖNORM B 1801-1.....	39
Tabelle 14: Zusammenfassung der Massenbestandteile für das Gewerk Lüftungsanlagen im Bereich Bauwerk-Technik nach ÖNORM B 1801-1.....	40
Tabelle 15: Zusammenfassung der Massenbestandteile für das Gewerk Sanitäranlagen im Bereich Bauwerk-Technik nach ÖNORM B 1801-1.....	40
Tabelle 16: Zusammenfassung der Massenbestandteile der Baukonstruktion und die Gewerke im Bereich Bauwerk-Technik nach ÖNORM B 1801-1	42

Abkürzungsverzeichnis

BGF	Bruttogrundfläche
CH ₄	Methan
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EPD	Umweltproduktdeklaration
EU	Europäische Union
GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)
HWB	Heizwärmebedarf
kWh	Kilowattstunde
kWh/(m ² *a)	Kilowattstunde pro Quadratmeter und Jahr
LCA	Life Cycle Assessment
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MJ	Megajoule
NGF	Nettogrundfläche
N ₂ O	Distickstoffoxid (Lachgas)
PEB	Primärenergiebedarf
POCP	Photochemisches Ozonbildungspotenzial
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
THG	Treibhausgas
usw.	und so weiter
W/m ² K	Watt pro Quadratmeter und Kelvin

9 Literaturverzeichnis

Albers, K.-J. (Hg.) (2018): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Einschließlich Trinkwasser- und Kältetechnik sowie Energiekonzepte. 79. Auflage, 2019/2020. Augsburg: ITM InnoTech Medien GmbH (Recknagel Edition).

Anderl, M.; Geiger, K.; Gugele, B.; Gössl, M.; Haider, S.; Heller, C. et al. (2019): Klimaschutzbericht 2019. Hg. v. Umweltbundesamt GmbH. Wien.

Blengini, G. A.; Di Carlo, T. (2010): The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. In: *Energy and Buildings* 42 (6), S. 869–880. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.12.009.

Chuchra, D.; Di Bari, R.; Jorgji, O.; Albrecht, S. (2020): Die Bedeutung von Anlagentechnik für die Ökobilanz von Nichtwohngebäuden - Ergebnisse eines neuen Anlagenkonfigurators. In: M. Monsberger, C.J. Hopfe, M. Krüger und A. Passer (Hg.): BauSIM 2020 - 8th Conference of IBPSA Germany and Austria. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz, S. 219–226.

Europäische Kommission (Hg.) (2012): Communication from the commission: 'A European strategy for Key Enabling Technologies – A bridge to growth and jobs'. Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions. Brüssel (COM(2012) 341 final).

Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2010): Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung). Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32010L0031>.

Firschenschlager, H.; Reinberg, V.; Kisser, J. (2018): Roadmap 2050 Biobasierter Kunststoff – Kunststoff aus nachwachsenden Rohstoffen. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Wien (Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 6a).

Guintoli, J.; Bulgheroni, C.; Marelli, L.; Sala, S.; Pant, R.; Lusser, M.; Avraamides, M. (2019): Brief on the use of Life Cycle Assessment (LCA) to evaluate environmental impacts of the bioeconomy. Hg. v. Publications Office of the European Union. Luxembourg.

Hoxha, E.; Maierhofer, D.; Saade, M.R.M; Passer, A. (2021): Influence of technical and electrical equipment in life cycle assessments of buildings: case of a laboratory and research building. In: *Int J Life Cycle Assess* 26 (5), S. 852–863. DOI: 10.1007/s11367-021-01919-9.

ÖNORM B 1800:2013, 2013: ÖNORM B 1800:2013 Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken und zugehörigen Außenanlagen.

ÖNORM B 1801-1: ÖNORM B 1801-1:2022 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 1: Objekterrichtung.

ÖNORM EN 15643:2021, 2021: ÖNORM EN 15643:2021 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Allgemeine Rahmenbedingungen zur Bewertung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken.

ÖNORM EN 15804:2022, 2022: ÖNORM EN 15804:2022 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte.

ÖNORM EN 15978:2012, 2012: ÖNORM EN 15978:2012 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode.

ÖNORM EN ISO 14025:2006, 2006: ÖNORM EN ISO 14025:2006 Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Typ III Umweltdeklarationen - Grundsätze und Verfahren.

ÖNORM EN ISO 14040:2021, 2021: ÖNORM EN ISO 14040:2021 Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen.

ÖNORM EN ISO 14044:2021, 2021: ÖNORM EN ISO 14044:2021 Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen.

ÖNORM H 5050-1:2019, 2019: ÖNORM H 5050-1:2019 Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Teil 1: Berechnung des Gesamtenergieeffizienzfaktors.

Optis, M.; Wild, P. (2010): Inadequate documentation in published life cycle energy reports on buildings. In: *Int J Life Cycle Assess* 15 (7), S. 644–651. DOI: 10.1007/s11367-010-0203-4.

Passer, A.; Kreiner, H.; Maydl, P. (2012): Assessment of the environmental performance of buildings: A critical evaluation of the influence of technical building equipment on residential buildings. In: *Int J Life Cycle Assess* 17 (9), S. 1116–1130. DOI: 10.1007/s11367-012-0435-6.

Philp, J. C.; Ritchie, R. J.; Guy, K. (2013): Biobased plastics in a bioeconomy. In: *Trends in Biotechnology* 31 (2), S. 65–67. DOI: 10.1016/j.tibtech.2012.11.009.

Röck, M.; Balouktsi, M.; Mendes Saade, M. R.; Rasmussen, F. N.; Hoxha, E.; Birgisdottir, H. et al. (2020a): Embodied GHG emissions of buildings – Critical reflection of benchmark comparison and in-depth analysis of drivers. In: *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 588 (3), S. 32048. DOI: 10.1088/1755-1315/588/3/032048.

Röck, M.; Saade, M. R. M.; Balouktsi, M.; Rasmussen, F. N.; Birgisdottir, H.; Frischknecht, R. et al. (2020b): Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. In: *Applied Energy* 258, S. 114107. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114107.

Stoifl, B.; Bernhardt, A.; Karigl, B.; Lampert, C.; Neubauer, M.; Thaler, P. (2017): Kunststoffabfälle in Österreich - Aufkommen und Behandlung - Materialien zum Bundes-Abfallplan 2017. Hg. v. Umweltbundesamt GmbH.

United Nations Environment Programme (2020): 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi.

Weißberger, M. N. (2016): Lebenszyklusorientierte Analyse der ökologischen Eigenschaften von Niedrigstenergiewohngebäuden unter besonderer Berücksichtigung der Gebäudetechnik. mediaTUM - Dokumenten- und Publikationsserver der Technischen Universität München.

Wietschel, M. (2010): Energietechnologien 2050; Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung. Hannover, Karlsruhe: Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; Fraunhofer-Verl. (ISI-Schriftenreihe Innovationspotenziale).

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at