

DIE BEDEUTUNG VON ANLAGENTECHNIK FÜR DIE ÖKOBILANZ VON NICHTWOHNGBÄUDEN ERGEBNISSE EINES NEUEN ANLAGENKONFIGURATORS

D. Chuchra^{1,2}, R. di Bari^{1,2}, O. Jorgji^{1,2} und S. Albrecht²

¹Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

²Fraunhofer IBP, Stuttgart, Deutschland

ABSTRACT

Buildings make a significant contribution to global warming, resource consumption and the production of waste. With improved energy standards, the share of the environmental impacts of the life cycle caused by the production and end-of-life of building technology components is increasing. Due to their complexity, building services components account for up to 25 % of a building's total greenhouse gas emissions. In the assessment methods currently used, the distribution and the transfer are often simplified or not reflected in the evaluation procedures. For this reason, a system configurator was developed that can be used flexibly in the planning process and is adapted to the available information. First results show that the share of distribution and transfer systems can amount to up to 80 % of the total greenhouse gas emissions of a cost group and is therefore not negligible, as has been the case so far.

KURZFASSUNG

Gebäude leisten einen erheblichen Beitrag zur globalen Erwärmung, dem Ressourcenverbrauch und der Produktion von Abfällen. Mit verbesserten Energiestandards steigt der Anteil der Herstellung und des Lebensendes gebäudetechnischer Komponenten an den Umweltwirkungen des Lebenszyklus. Aufgrund der Komplexität liegt der Anteil gebäudetechnischer Komponenten an den gesamten Treibhausgasemissionen eines Gebäudes bei bis zu 25 %. In den derzeit angewendeten Bewertungsverfahren werden die Verteilung und Übergabe oft vereinfacht oder nicht abgebildet. Es wurde daher ein Anlagenkonfigurator entwickelt, der flexibel im Planungsprozess eingesetzt werden kann und an die verfügbaren Informationen angepasst ist. Erste Ergebnisse zeigen, dass der Anteil der Verteil- und Übergabesysteme bis zu 80 % an den gesamten Treibhausgasemissionen einer Kostengruppe betragen kann und daher nicht wie bisher vernachlässigbar ist.

EINLEITUNG

Erklärtes Ziel der Bundesregierung Deutschlands ist es, bis 2050 die jährlichen Treibhausgasemissionen um mindestens 80 % im Vergleich mit 1990 zu reduzieren (BMUB 2016). Deutschland folgt damit dem langfristigen europäischen 80 % Ziel, das

im Rahmen der Klimaschutzziele 2030 festgelegt wurde (Europäische Kommission 2018). Damit dieses Ziel erreicht werden kann, müssen alle Bereiche des täglichen Lebens und der Wirtschaft in dieser Hinsicht optimiert werden. Eine besondere Verantwortung trägt dabei der Bausektor, was Abbildung 1 verdeutlicht.



Abbildung 1: Verbrauch von Energie und Ressourcen im Bausektor

Etwa 40 % des europäischen Energieverbrauches entfallen auf den Bausektor, dieser verursacht rund 40 % der weltweiten Treibhausgasemissionen und trägt mit einem Anteil von 30 bis 40 % zum weltweiten Müllaufkommen bei. In Deutschland verursachen Gebäude 35 % des Endenergiebedarfes und etwa 30 % der Treibhausgasemissionen (Umweltbundesamt 2018).

Die Notwendigkeit, den Energieverbrauch und damit die Treibhausgasemissionen von Gebäuden zu senken, ist spätestens mit der Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung beziehungsweise mit dem Inkrafttreten des Energieeinspargesetzes im Jahr 1977 durch den Gesetzgeber anerkannt und geregelt worden. Auch über 40 Jahre später werden die Anforderungen an die Gebäude durch die Energieeinsparverordnung regelmäßig verschärft (Bundesgesetzblatt 2013) und dem Stand der Technik angenähert, was zu immer effizienteren Gebäuden führt. Bereits heute können Häuser gebaut werden, die in ihrer Nutzungsphase mehr Energie erzeugen als sie verbrauchen. Wird diese Entwicklung im Kontext der Lebenszyklus-analyse betrachtet, so wird der Anteil der für die Herstellung und das Lebensende benötigten

Energie und Ressourcen am gesamten Lebenszyklus immer größer. Folglich wird es zukünftig immer wichtiger werden, schon zu Beginn der Konzeption die Umweltwirkungen von gebäudetechnischen Anlagen bestimmen, bewerten und vergleichen zu können, um den Anteil des Ressourcenverbrauchs für die Herstellung und das Lebensende zu minimieren.

STAND DES WISSENS

Anlagentechnik ist ein zentraler Bestandteil moderner Gebäude. Gemeinsam mit der Gebäudehülle wird sichergestellt, dass ausreichen Wärme, Warmwasser und Frischluft zur Verfügung steht.

Bessere Standards und höhere Anforderungen an die Gebäude führen zu immer weniger Energieverbrauch während der Nutzungsphase und so werden die Anteile der Herstellung und des Lebensendes am Lebenszyklus immer relevanter. Diese Standards sind bereits so weit entwickelt, dass die Nutzungsphase selbst nur noch wenig Potential für Optimierungen bietet. Größeres Potential liegt dagegen in der Herstellung und des Lebensendes der Komponenten (Passer et al. 2012, Ibn-Mohammed et al. 2013).

Dennoch wird die Anlagentechnik in der Ökobilanzierung von Gebäuden noch immer nicht optimal abgebildet, obwohl diese einen nicht zu vernachlässigenden Teil der Umweltwirkungen ausmacht (Stoffregen et al. 2010, Passer A. 2010, Pohl S. 2014, Weißenberger M. 2016).

Zwar kann über eine detaillierte Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und 14044 (Europäisches Komitee für Normung, 2006) Anlagentechnik detailliert berechnet werden, dies ist jedoch zeitintensiv und erfordert Expertenwissen im Bereich der Komponenten selbst, der Lebenszyklusanalyse und der Modellierung. Benötigt werden stattdessen Werkzeuge und Datensätze mit denen Architekten und Ingenieure ihre Planungen in frühen Projektphasen eigenständig optimieren können (Gantner, J. 2018).

Für die Gebäudeökobilanzierung im deutschsprachigen Raum stellt die Datenbank ÖKOBAUDAT (BMI 2020) diese Datensätze zu Verfügung. Die öffentlich zugängliche Plattform und Umweltdatenbank umfasst Stand heute etwa 1.200 Datensätze für Baustoffe und -produkte und Informationen rund um die Ökobilanzierung von Gebäuden. Sie wird vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) herausgegeben und bis zu zweimal jährlich aktualisiert. Ziel der ÖKOBAUDAT ist es, vereinheitlichte und qualitativ hochwertige Daten entgeltfrei für die Lebenszyklusanalyse von Gebäuden zur Verfügung zu stellen. Die Datensätze der ÖKOBAUDAT finden verbindliche Anwendung im „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen“ und werden auch international für die Bilanzierung von Gebäuden genutzt. Die ÖKOBAUDAT ist mit den enthaltenen Datensätzen ein maßgeblicher Baustein bei der Berechnung von Umweltwirkungen von Gebäuden, da sie als

Datengrundlage bei der Zertifizierung durch die DGNB Anwendung findet. Obwohl viele Bauprodukte und Komponenten bereits enthalten sind, bestehen gerade im Bereich der Anlagentechnik noch Defizite (Gantner J. 2018). So sind beispielsweise keine Datensätze von Kältemaschinen und Blockheizkraftwerken vorhanden, die jedoch häufig Bestandteile von Nichtwohngebäuden sind.

Einige etablierte Berechnungstools benutzen die ÖKOBAUDAT ebenfalls als primäre Datenquelle. Dazu gehören die im Folgenden aufgeführten Anwendungen.

- Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BMVBS 2010)
- eLCA (BBSR 2015)
- Ökobilanz-Bau (HOINKA GmbH 2019)
- DGNB Navigator (DGNB 2020)
- SBS Building Sustainability (thinkstep AG 2018)
- GENERIS (Fraunhofer IBP 2020)
- OneClick LCA (Binova Ltd 2018)
- CAALA (CAALA GmbH 2018)
- LEGEP (WEKA MEDIA GmbH 2018)

Obwohl die Verwendung einer Datenbank für eine Vielzahl von Anwendungen Vorteile in Form der Verfügbarkeit und Relevanz bietet, so ziehen sich auch die Schwächen und Defizite durch sämtliche Anwendungen. Im Vergleich zu Bauteilen der Gebäudehülle ist die Datenbasis für gebäudetechnische Anlagen in weitaus geringerem Maß vorhanden. Von den rund 1.200 Einträgen gehören nur knapp über 100 zu den Kostengruppen 410, 420 und 430 nach DIN 276 (Deutsches Institut für Normung 2018). Es fehlen außerdem wesentliche Komponenten der Kühlung und größere Wärmeerzeuger, um auch Nichtwohngebäude umfangreich abbilden zu können.

Abgrenzung zum Stand des Wissens

Um die bestehenden Methoden zu bewerten wurde eine Matrix mit verschiedenen Kriterien erstellt und diese auf Übereinstimmung mit der jeweiligen Methode überprüft. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse als Übersicht.

Tabelle 1: Analyse der Methoden zur Ökobilanzierung von Gebäuden

Ökobilanz nach ISO 14040	+	/	-	+	-	+
Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen	/	-	-	-	+	+
Vereinfachtes Verfahren nach BNB	-	/	-	-	+	+
Webanwendung eLCA	/	/	-	-	+	+
Webanwendung Ökobilanz-Bau	/	/	-	-	+	+
DGNB Navigator	/	/	-	-	+	+
SBS Building Sustainability	/	/	+	-	+	+
OneClick LCA	/	/	-	/	/	+
Sonstige Forschungsansätze	+	/	/	+	-	-

+ Übereinstimmung mit dem Kriterium
 / Eingeschränkte Übereinstimmung mit dem Kriterium
 - Keine Übereinstimmung mit dem Kriterium

Anlagentechnik detailliert abbildbar
 Anwendbarkeit in frühen LP
 Funktionsebenen nach Leistungsphasen
 Hoher Aufwand bei der Anwendung
 Datengrundlage öffentliches verfügbar
 Datengrundlage nach EN 15804

Zunächst wird deutlich, dass der Fokus bestehender Methoden auf späteren Projektphasen liegt, weil eine bestimmte Detailtiefe der Planung vorhanden sein muss. Im gleichen Zug steigt auch die Komplexität der Datenerhebung und Auswertung und damit der Aufwand bei der Erstellung. Ebenfalls Einfluss auf den Aufwand hat die Verfügbarkeit der Datengrundlage. Wird auf detaillierte Hintergrunddaten zugegriffen, entstehen unter Umständen Kosten für die Datensätze und Ökobilanz-Software ist, im Gegensatz zu Microsoft Excel, nicht standardmäßig in jedem Planungsbüro vorhanden. Ein guter Ansatz ist daher die Verwendung der ÖKOBAUDAT. Tools, die diese Datenbasis nutzen, haben jedoch die gemeinsame Schwachstelle, gebäudetechnische Komponenten in den meisten Fällen nur vereinfacht abbilden zu können. Verschiedene Ebenen bei der Eingabe werden bisher nur in einzelnen Methoden angewendet (di Bari R. 2019).

Der Schwerpunkt des neuen Anlagenconfigurators wird daher auf eine Anwendung in frühen Leistungsphasen der Planung gelegt, was bedeutet, dass erste Abschätzungen schon mit sehr wenig projektspezifischen Informationen vorgenommen werden können. Es handelt sich dabei zwar ebenfalls um ein vereinfachtes Verfahren, es werden jedoch die wesentlichen Massen aller relevanter Komponenten erfasst und ausgewertet. Darüber hinaus werden repräsentative Bau-, Funktions- und Elementsysteme erarbeitet, die eine Verfeinerung der Eingabedaten im Lauf eines Projektes ermöglichen. Für die ersten Berechnungen wird der Fokus auf größeren Büro- und Verwaltungs-, Industrie- und Schul- bzw. Geschäftsgebäuden gelegt.

METHODE

Ziel des Vorgehens ist es, eine Datengrundlage und ein Berechnungstool für Komponenten der Kostengruppe 410, 420 und 430 zur qualifizierten Abschätzung der Umweltwirkungen aufzubauen und erste Benchmarks für verschiedene Nichtwohngebäude und Nutzungen zu generieren. Abbildung 2 zeigt die grundlegenden Schritte der Methode.

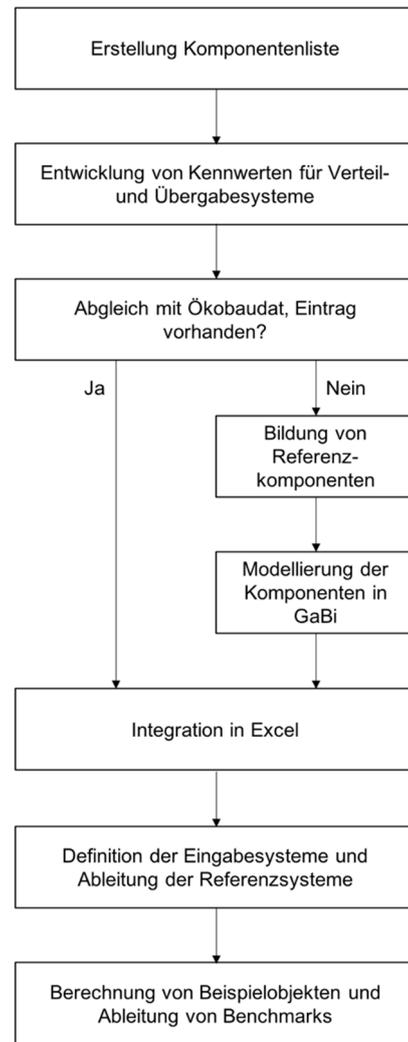


Abbildung 2: Einzelschritte zur Berechnung von Benchmarks haustechnischer Komponenten

Komponentenermittlung

Zunächst werden die relevanten Komponenten ermittelt und zusammengestellt. Als relevante Komponenten werden die Komponenten angesehen, die für die Art der Nutzung erforderlich sind, üblicherweise eingesetzt werden oder einen wesentlichen Massenanteil an der Gebäudetechnik haben.

Die ermittelten Komponenten werden in einzelne Leistungsbereiche gegliedert. Dies ist erforderlich, da die Masse und damit das Umweltprofil einer

Komponente von ihrer Leistung abhängig sind. In der Praxis kann eine einzelne Maschine meistens einen größeren Leistungsbereich abdecken, sodass eine Verringerung der Anzahl zu modellierenden Komponenten erreicht wird und dennoch ein breites Leistungsspektrum abgebildet werden kann. Die Teilungskriterien können zum Beispiel das Gewicht, die Stromaufnahme oder physikalische Eigenschaften, wie die Luftgeschwindigkeit im Gehäuse eines Lüftungsgerätes, sein. Diese Informationen können aus Herstellerunterlagen ermittelt und bewertet werden.

Da das Umweltprofil der Verteilung und Übergabe aufgrund des hohen Masseanteils grundsätzlich als relevant eingestuft wird und die bestehenden Verfahren zur Bestimmung von Leitungslängen ohne detaillierte Planung keine hinreichend genauen Ergebnisse liefern, werden neue Kennwerte für die Integration in das Berechnungstool abgeleitet. Auf die genaue Vorgehensweise bei der Kennwertermittlung für die Verteilung wird im Folgenden genauer eingegangen.

Kennwertermittlung für die Verteilung

Leistungsverzeichnisse aus bereits umgesetzten Projekten stellen für diese Ableitung die Grundlage dar, die zusammen mit weiteren projektspezifischen Größen ausgewertet wurden. Die Auswahl der zu erhebenden Daten wird zunächst je Gewerk festgelegt. Dabei werden alle wesentlichen Massen ermittelt, die Bestandteil der Verteilung sind. Tabelle 2 zeigt die diese Bestandteile für die Gewerke Heizung / Kälte, Lüftung, Sanitär und nutzerspezifische Anlagen. Darüber hinaus werden auch die objektspezifischen Daten, wie zum Beispiel die Nutzfläche, die Hüllfläche und auch die technische Ausstattung dokumentiert, um die ermittelten Kennwerte besser einschätzen und anpassen zu können.

Tabelle 2: Bestandteile der Verteilung nach Gewerk

Gewerk	Bestandteile der Verteilung
Heizung/Kälte	Länge Rohrleitung
	Anzahl Formstücke
	Mittlere Dimension
Sanitär	Länge Trinkwasserleitung
	Anzahl Formstücke Trinkwasser
	Mittlere Dimension Trinkwasser
	Länge Schmutzwasserleitung
	Anzahl Formstücke Schmutzwasser
Mittlere Dimension Schmutzwasser	
Lüftung	Fläche Kanalnetz
	Länge Alu-Flexschläuche
	Mittlere Dimension Alu-Flexschläuche
Nutzerspezifische Anlagen	Länge Rohrleitungen
	Anzahl Formstücke
	Mittlere Dimension Rohrleitungen

Die berechneten Projekte umfassen vier Büro- und Verwaltungsgebäude, drei Industriehallen und drei Schul- und Geschäftshäuser mit partieller Wohnungs-

nutzung. Um eine größtmögliche Auswahl und Detailtiefe zu erreichen, werden Daten aus den Leistungsverzeichnissen der Projekte erhoben, die in der folgenden Liste zusammengestellt sind.

- Objektspezifische Daten
- Technische Gebäudeausrüstung
- Leitungslängen getrennt nach Material und Dimension
- Formstücke getrennt nach Material, Dimension und Art des Formstücks
- Lüftungskanäle und Formstücke
- Wickelfalzrohre
- Flexible Aluminiumschläuche
- Anzahl Pumpen
- Anzahl Armaturen

Neben den erforderlichen Daten für die Ableitung der Kennwerte, sind die ausgewerteten Projekte auch Grundlage der ersten Berechnungen.

Modellierung

Die zur Bewertung der Gebäudetechnik erforderlichen Komponenten werden den vorhandenen Datensätzen in der ÖKOBAUDAT gegenübergestellt, um zu ermitteln, für welche Komponenten die Datengrundlage und die Modellierung erstellt werden muss. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um größere Komponenten für Nichtwohngebäude, wie große Wärmeerzeuger, Lüftungsgeräte und Kältemaschinen.

Um die Umweltwirkung der Komponenten abschätzen zu können, werden diese nach Typ gruppiert und es erfolgt eine Datenerhebung bei einer Auswahl an entsprechenden Herstellern. Diese haben die wesentlichen Materialien mit den zugehörigen Masseanteilen und ggfs. Produktionsschritte bereitgestellt, die dann mit GaBi Hintergrunddaten modelliert werden können.

Für jedes Material wurde die Vorkette mit einem passenden End-of-Life Szenario kombiniert, sodass die Komponenten anhand Ihrer Massenzusammensetzung berechnet werden können. Für die Herstellung wird ein generischer Prozess mit allen erforderlichen Materialien zur Modellierung der Komponenten als Inputs und der Komponente selbst als Output modelliert und mit entsprechenden Hintergrunddaten verknüpft. Im Fall des End-of-Life stellt die Komponente den Input und die einzelnen Materialien die Outputs dar, die mit einem üblichen, konservativen End-of-Life Datensatz verknüpft werden.

Um eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit der ÖKOBAUDAT zu erreichen, wurden die in Tabelle 3 dargestellten Wirkungskategorien für die Auswertung ausgewählt. Als Charakterisierungsmethode wurde CML 2001 Januar 2016 gewählt.

Tabelle 3: Ausgewählte Wirkungskategorien

Kategorie	Beschreibung	Referenzeinheit
ADPE	Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen	kg Sb Äq.
EP	Eutrophierungspotenzial	kg PO ₄ ³⁻ Äq.
ODP	Abbau potenzial der stratosphärischen Ozon-schicht	kg CFC11 Äq.
POCP	Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon	kg Ethen Äq.
GWP	Globales Erwärmungspotenzial	kg CO ₂ Äq.
AP	Versauerungspotenzial von Boden und Wasser	kg SO ₂ Äq.
PENRT	Total nicht erneuerbare Primärenergie	MJ
PERT	Total erneuerbare Primärenergie	MJ
PET	Total Primärenergie	MJ

Um eine größtmögliche Flexibilität in der Auswertung zu erhalten, werden die Umweltwirkungen der einzelnen Materialien massenbezogen ausgegeben und im Anlagenkonfigurator weiterverwendet. Dies ermöglicht das Anlegen neuer Komponenten, die mit den vorhandenen Materialien abgebildet werden können, ohne dass eine neue Modellierung in GaBi ts erforderlich ist. Für die Prüfung der Verknüpfungen innerhalb des Anlagenkonfigurators werden die Komponenten zusätzlich mit der Einheit "Stück" ausgegeben. Neben einigen Großkomponenten werden einfachere Bauteile wie Pumpen und verschiedene Rohrleitungen mit Datensätzen der ÖKOBAUDAT verglichen. Die Abweichung gegenüber den Datensätzen aus der ÖKOBAUDAT ist gering, weshalb die Grundkomponenten als validiert eingestuft werden können.

Anlagenkonfigurator

Um die Integration in den Planungsprozess zu erleichtern und schon zu Beginn mit wenigen Informationen Ergebnisse bereitstellen zu können, wird das Berechnungstool mit drei verschiedenen Eingabemasken ausgestattet. Die erste Stufe, das Bausystem, setzt dabei einen groben Rahmen für die Ausbildung und Nutzung eines Gebäudes. Vorhandene Informationen sind beispielsweise die Nutzung, die Fläche und ob ein hoher oder geringer energetischer Standard angestrebt wird. Die zweite Stufe, das Funktionssystem, detailliert den energetischen Standard in einzelne anlagentechnische Funktionssysteme, zum Beispiel eine Wärmepumpe als Wärmezeuger oder eine zentrale beziehungsweise dezentrale Lüftungsanlage. Dabei werden die Übergabe- und Verteilsysteme aus Kennwerten entsprechend der Eingabe ermittelt und berücksichtigt. Auf der dritten Stufe, dem Elementsystem, können die einzelnen Elemente frei eingegeben und kombiniert werden. Auch die Verteilung und die Übergabesysteme können in Anzahl und Ausführung frei gewählt werden. Der Detailgrad auf dieser Ebene entspricht in etwa dem der vorhandenen Tools für Bauprodukte.

Auf den verschiedenen Stufen sind demnach verschieden detaillierte Informationen für die Eingabe erforderlich. So sind im Bausystem die Nutzung, die

Fläche und der energetische Standard ausreichend, um eine erste Abschätzung treffen zu können. Im Funktionssystem kann zusätzlich die flächenbezogene Heiz- und Kühllast angegeben werden, um die erforderliche Größe und Anzahl der Komponenten genauer bestimmen zu können. Für die Eingabe im Elementsystem sind sämtliche Informationen zum Erzeuger, der Art, Länge und Ausführung der Verteilung sowie den Übergabesystemen erforderlich. So kann auch eine detaillierte Berechnung auf Basis von Leistungsverzeichnissen oder Massenauszügen erfolgen. Abbildung 3 zeigt die Eingabemöglichkeiten und die vordefinierten Größen für jedes Eingabesystem.

Das eigentliche Berechnungsprinzip ist bei allen Eingabearten identisch. Jeder Komponente sind die potentiellen Umweltwirkungen zugeordnet, die aus GaBi Hintergrunddaten oder der ÖKOBAUDAT stammen. Rohrleitungen und Dämmstoffe werden in eine Masse umgerechnet, der wiederum die Umweltwirkungen zugeordnet werden. Die einzelnen Komponenten und Systeme werden, je nach Auswahl, zusammengesetzt und aufaddiert. Aufgeschlüsselt nach Herstellung und End-of-Life und ausgewiesen nach Kostengruppen und der Summe KG400 wird für jede Wirkungskategorie ein Diagramm ausgegeben.

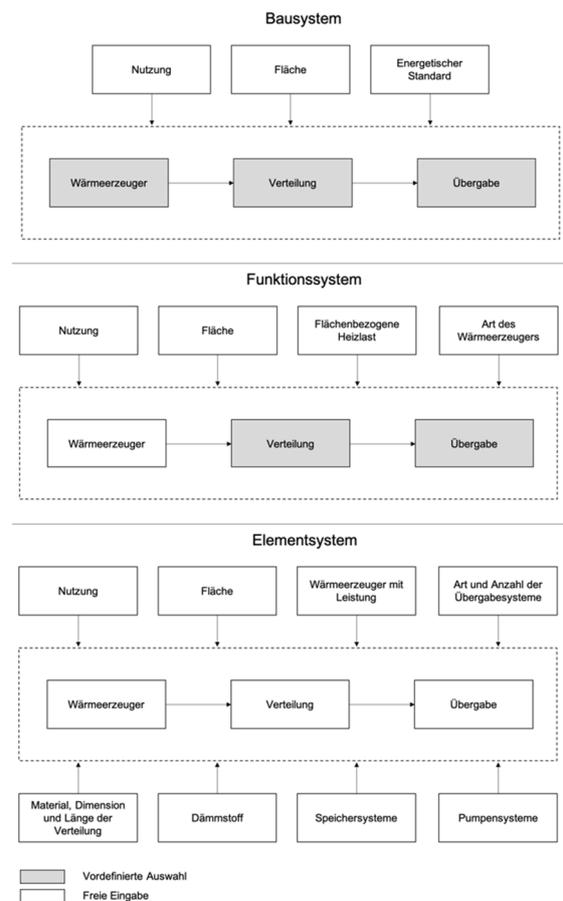


Abbildung 3: Eingabegrößen in den einzelnen Systemen

ERGEBNISSE

Um den erstellten Anlagenkonfigurator zu prüfen und den Einfluss der Anlagentechnik auf das Umweltprofil des Gebäudes zu bestimmen, wurden verschiedene Beispielobjekte mit GaBi Hintergrunddaten aus dem Servicepack 35 (2018) berechnet. Insgesamt zehn Büro- und Verwaltungsgebäude, Industriebauten und Schul- und Geschäftsgebäude mit unterschiedlicher Ausstattung wurden betrachtet, deren wesentliche Kenndaten in Tabelle 4 dargestellt sind.

Tabelle 4: Technische Ausstattung der berechneten Beispielobjekte

Nutzung	Fläche	Wärmeerzeuger	Kälteerzeuger	Lüftungsanlagen
Büro	13.500 m ²	Fernwärme, HK, BKT, FBH	Fernkälte, siehe WE	4x zentral, 52.000 m ³ /h
Büro	7.400 m ²	Brennwertk., Heiz-/Kühldecke	2x KKM	1x zentral 36.000 m ³ /h
Büro	1.900 m ²	BHKW, BKT, Heizflächen	AKM, KKM, BKT, siehe WE	1x zentral, 10.000 m ³ /h
Büro	11.900 m ²	WP, Brennwertk., FBH, Konv.	KKM, siehe WE	9x zentral, 56.000 m ³ /h
Schule	5.500 m ²	Fernwärme, Konvektoren	-	1x zentral, 17.000 m ³ /h
Schule	6.800 m ²	Fernwärme, HK, FBH	-	2x dezentral, 2.900 m ³ /h
Ärztelhaus	10.700 m ²	Brennwertk. HK, FBH, Solarth.	-	4x dezentral, 7.000 m ³ /h
Industrie	5.900 m ²	Anbindung an Bestand, HK	-	4x zentral 100.000 m ³ /h
Industrie	4.700 m ²	2 Brennwertk., Heiz-/Kühldecke	2x KKM	6x zentral 100.000 m ³ /h
Industrie	9.100 m ²	Dunkelstrahler, Brennwertk., FBH	-	1x zentral, 10.000 m ³ /h

Aus den Ergebnissen wurden flächenbezogene Benchmarks erstellt. In Abbildung 4 sind die Kennwerte für das Treibhauspotenzial dargestellt, anhand dessen die Erkenntnisse erläutert werden. Das Diagramm zeigt auf der Y-Achse den jährlichen flächenbezogenen Ausstoß von kg CO₂-Äquivalenten über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren und einer Lebensdauer der Anlagentechnik von 20 Jahren. Angegeben werden der Minimal- und Maximalwert sowie der Median für die jeweilige Nutzung. Obwohl eine recht geringe Anzahl an Objekten jeder Nutzung berechnet wurde, zeichnen sich einige Tendenzen ab. Zunächst liegt der Kennwert für Bürogebäude grundsätzlich in einem plausiblen Bereich. Oft werden etwa 1,5 kg CO₂-Äq./m²a als überschlägige Größe angenommen. Darüber hinaus variieren die Werte je nach Ausstattung. So besitzt das Objekt, das nach oben hin ausreißt, einen extrem hohen technischen Standard und zudem eine vergleichsweise geringe Fläche.

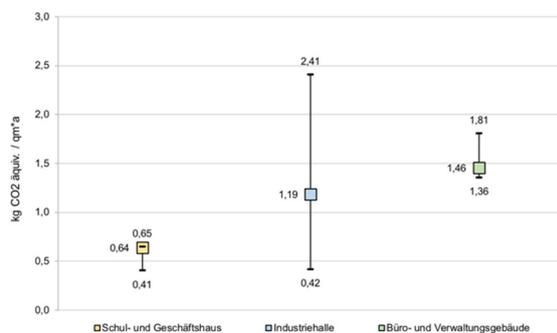


Abbildung 4: Kennwerte zur Bestimmung des Treibhauspotenzials anhand der Fläche

Dass Industrieobjekte eine große Varianz aufweisen, ist durch ihre Heterogenität begründet. Maßgebend für die Ergebnisse ist, ob z.B. eine Produktionshalle

gekühlt und/oder belüftet wird. Weil Hallengebäude für die Industrie meistens große Hüllflächen besitzen wird die technische Ausstattung entsprechend groß dimensioniert und der Impact je Fläche fällt relativ hoch aus. Die Industrieprojekte wurden daher so ausgewählt, dass eine unbelüftete und ungekühlte Halle auf der einen Seite sowie eine belüftete und gekühlte Halle auf der anderen Seite die minimale und maximale Ausstattung widerspiegeln. Der Median ist in diesem Fall besonders aussagekräftig, da er eine belüftete, aber ungekühlte Halle repräsentiert.

Auch dass die untersuchten Schul- und Geschäftsgebäude ein geringeres Treibhauspotential aufweisen als Industrie- und Bürogebäude, lässt sich begründen. Zum einen ist das A/V-Verhältnis im Vergleich zu Industriehallen oft besser, zum anderen sind Gebäude dieser Nutzung oftmals nicht gekühlt. Auch auf Lüftungsanlagen wird häufig verzichtet, entsprechend gering fällt das Treibhauspotential für die Herstellung und das Lebensende aus.

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Obwohl die Methode primär für die Anwendung in den Kostengruppen 410, 420 und 430 entwickelt wurde, lässt sie sich prinzipiell auf die gesamte Kostengruppe 400 anwenden. Einschränkungen können sich bei der Anwendung des vereinfachten Bau- und Funktionssystems ergeben, da Kennwerte für die Verteil- und Übergabesysteme vorliegen müssen. Speziell in den Kostengruppen 480 (Gebäudeautomation) und 440 (Starkstromanlagen) sind diese in großem Maß von der Ausstattung und der Nutzung abhängig. Diese Abhängigkeiten führen bei der Umsetzung entweder zu einem hohen Aufwand bei der Erstellung und Anwendung des Tools oder zu Ungenauigkeiten bei den Ergebnissen, die durch Vereinfachungen hervorgerufen werden.

Um unkompliziert weitere Komponenten abschätzen und eine generische Komponente der KG 400 erstellen zu können, wurden bei der Materialauswahl Vereinfachungen vorgenommen. Verdeutlicht werden kann dies am Beispiel von Kunststoff. Für die größtmögliche Genauigkeit müssten die Kunststoffe getrennt und detailliert betrachtet werden. Dies führt jedoch zu einer sehr großen Anzahl an Eingangsgrößen, die unter Umständen nur einer einzigen Komponenten zugeordnet werden. Aus diesem Grund wurde ein repräsentativer Kunststoff gesucht. Abbildung 5 zeigt den Vergleich des Treibhauspotenzials verschiedener Kunststoffe. Auf der Y-Achse ist das Treibhauspotenzial (GWP) der einzelnen Materialien in kg CO₂-Äq./kg Material aufgetragen. Auf der X-Achse sind unterschiedlich Kunststoffe dargestellt, die verglichen werden sollen. Es zeigte sich, dass die Abweichung des GWP bis auf wenige Ausnahmen in einem geringen Rahmen liegt. In diesem Fall könnte hochverdichtetes Polyethylen als optimistischer, Polystyrol als konservativer Ansatz verwendet werden.

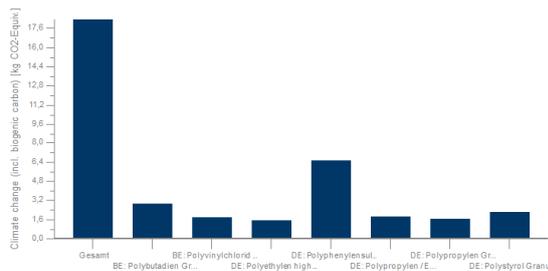


Abbildung 5: Übersicht über das Treibhauspotenzial verschiedener Kunststoffe

Durch die Integration des Bau- und des Funktionssystems kann eine Berechnung des Objekts bereits mit wenigen Informationen durchgeführt und der Rahmen, in dem sich die Ergebnisse bewegen, abgesteckt werden. Damit wird der Anforderung Rechnung getragen, das Tool auch in frühen Projektphasen oder für eine schnelle Abschätzung der Anlagentechnik anwenden zu können. Durch die Auswahl verschiedener Systeme unter denselben Randbedingungen können die Ergebnisse miteinander verglichen werden und so in den Entscheidungsprozess mit einfließen. Dennoch wird es durch die Integration des Elementsystems ermöglicht, beliebige Komponenten und Übergabesysteme unter Verwendung konkreter Leistungsbereiche, Materialien und Leitungslängen abzubilden. Dieser Spagat bedingt die Festlegung einiger Randbedingungen wie Rohrmaterial, Leitungslängen, Dimensionen und der Komponenten in den vereinfachten Systemen. Diese "Standardfälle" wurden basierend auf Erfahrungswerten im Bereich der Planung gebäudetechnischer Anlagen durch den Ersteller festgelegt und unterliegen seiner subjektiven Einschätzung. Es werden daher regionale Schwankungen erwartet, und vorherrschende Standards z.B. verschiedener Ingenieurbüros können einen Einfluss haben.

Wenngleich Gebäude immer individuell und in der Regel entsprechend den Anforderungen des Nutzers geplant werden, sind die Grundkomponenten bestehend aus Gründung, Tragwerk, Gebäudehülle und technischer Ausrüstung oftmals ähnlich beziehungsweise mit einer geringen Anzahl an Komponenten abbildbar. Für eine detaillierte Abschätzung der Umweltwirkungen von gebäudetechnischen Komponenten ist es weniger relevant, welches Fabrikat mit welchem Funktionsumfang letztendlich eingesetzt wird, sondern vielmehr, dass die Komponenten als solche in der passenden Leistungsklasse berücksichtigt werden. Vor diesem Hintergrund müssen auch die Ergebnisse bewertet werden, die sowohl in Form des Berechnungswerkzeuges als auch in Form der Berechnung von Beispielgebäuden erarbeitet wurden. Bei der Zusammenstellung der Komponenten wurde großer Wert daraufgelegt, möglichst viele Komponenten zu erfassen, die auch über die gängigen

Standardfälle hinausgehen. So wurden beispielsweise im Bereich Industrie Gas-Dunkelstrahler mit in die Liste aufgenommen. Für Büro-, Verwaltungs- und Schul- bzw. Geschäftshäuser wurden Blockheizkraftwerke und Absorptionskältemaschinen erfasst, denen aus wirtschaftlichen Gründen oftmals Brennwertkessel und Kompressionskältemaschinen vorgezogen werden. Um das Tool zu validieren und zu testen, wurden einige Beispielobjekte berechnet und aus den Ergebnissen Benchmarks für die Wirkungskategorien erstellt.

Dabei soll der Benchmark zum Treibhauspotenzial genauer erläutert werden. Für Büro- und Verwaltungsgebäude liegt das flächenbezogene Treibhauspotenzial zwischen 1,36 und 1,81 kg CO₂-äq./m²a bei einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren. In diesen Zahlen ist die Lebensdauer der Anlagen konservativ mit 20 Jahren angenommen. In der Praxis werden je nach Komponente auch 30 bis 40 Jahre erreicht. Für Industriehallen liegt der Benchmark bei 0,42 bis 2,41 kg CO₂-äq./m²a Die Auswahl der Projekte umfasst dabei die minimale und maximale Ausstattung von Industriehallen. Der Kennwert für Schul- und Geschäftshäuser liegt erwartungsgemäß etwas niedriger bei 0,41 bis 0,65 kg CO₂-äq./m²a was auf eine geringere technische Ausstattung zurückzuführen ist. Hierzu ist jedoch anzumerken, dass keine gekühlten Gebäude dieser Nutzung betrachtet wurden, der Kennwert also im oberen Bereich zu optimistisch dargestellt wird.

Entgegen der Vereinfachung im BNB werden die Verteil- und Übergabesysteme grundsätzlich als relevante Bauteile eingestuft, die einen erheblichen Anteil an der Gesamtmasse gebäudetechnischer Anlagen ausmachen und in der Regel aus Metallen oder Kunststoffen bestehen, deren Umweltwirkungen generell hoch sind. Diese Erwartung konnte durch die Berechnungen validiert werden. Im Bereich Lüftung wurde festgestellt, dass das Treibhauspotenzial der Verteilung und Übergabe bis zu 60 % an dem der Kostengruppe 430 ausmachen kann. Im Bereich Heizung liegt dieser Anteil sogar bei bis zu 80 % an der KG 420. Je größer die Objekte sind, umso stärker tritt dieser Effekt auf. Dies lässt sich damit begründen, dass die Verteilung und Übergabe nahezu linear mit zunehmender Fläche ansteigen. Bei den Erzeugern ist dies nicht der Fall, da die Maschinen im Normalfall einen größeren Leistungsbereich abdecken können. Es sind zwar Sprünge beim Gewicht der Anlagen vorhanden, jedoch nicht im gleichen Maße wie bei der Verteilung und Übergabe.

Im Zuge der Validierung ist aufgefallen, dass bei einigen Großkomponenten der ÖKOBAUDAT, namentlich zentrale Lüftungsgeräte und Wärmepumpen, die Modellierung fehlerhaft ist und die Umweltwirkungen zu gering bewertet werden. Dies ist insofern als kritisches Erkenntnis einzustufen, als dass ein Großteil der verfügbaren Methoden zur Bestimmung von Umweltwirkungen auf die

Datensätze der ÖKOBAUDAT setzen und Zertifizierungen auf dieser Basis erteilt werden. An diesem Beispiel wird deutlich, dass der Einfluss der Anlagentechnik von Gebäuden in der Ökobilanzierung aktuell unterschätzt wird.

AUSBLICK

Die gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass gebäudetechnische Komponenten detaillierter und in größerem Maßstab zu untersuchen sind und eine Grundlage an Datensätzen für die Verwendung in Nichtwohngebäuden geschaffen werden muss. Darüber hinaus müssen die bestehenden Datensätze der ÖKOBAUDAT im Detail geprüft und an den Stand der Technik angepasst werden.

Darüber hinaus soll die Nutzungsphase unter Berücksichtigung wesentlicher Randbedingungen ebenfalls in den Anlagenkonfigurator integriert werden. Dies ermöglicht die Ermittlung des break-even-points und gibt eine Antwort auf die Frage, in wie weit sich der Einsatz von gebäudetechnischen Anlagen lohnt. Oft kann ein geringerer Energiestandard nur durch den Einsatz von effizienterer Gebäudetechnik erreicht werden, zum Beispiel durch den Einsatz eines Lüftungsgerätes mit Wärmerückgewinnung. Wenn die Emissionen in der Nutzungsphase zukünftig weiter sinken, steigt zwangsweise der Anteil der Herstellung und Konstruktion der Gebäudetechnik ohne die das Erreichen des höheren Standards in erster Linie jedoch nicht möglich gewesen wäre. Das bedeutet, es muss immer der Gesamtimpact betrachtet werden. Damit steigt auch die Relevanz der Bewertung von Herstellung und End-of-Life der Haustechnik selbst.

Weitergehend könnten zukünftig dynamische Stromprofile variable Lebensdauern der Komponente in die Betrachtung mit einbezogen werden.

LITERATUR

Di Bari R. et al., 2019, Step-by-step implementation of BIM-LCA: A case study analysis associating defined construction phases with their respective environmental impacts

Bionova Ltd (Hrsg), 2018 OneClick LCA <https://www.oneclicklca.com/>

Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013 Teil I Nr. 67, 2013, Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung, (Hrsg), 2015, eLCA <https://www.bauteileditor.de>

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, (Hrsg), 2020, Ökobaudat <http://www.oekobaudat.de>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau, und Reaktorsicherheit (Hrsg) 2016. Klimaschutzfahrplan 2050

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg), Bekanntmachung über die Nutzung und die Anerkennung von Bewertungssystemen für das nachhaltige Bauen, 2010

CAALA GmbH (Hrsg), 2018 CAALA Software <https://caala.de/>

DIN Deutsches Institut für Normung e. V (Hrsg), 2018, Kosten im Bauwesen (DIN 276:2018)

DGNB GmbH (Hrsg), 2020, DGNB Navigator <https://www.dgnb-navigator.de>

Europäische Kommission (Hrsg) 2018, 2030 climate & energy framework

Europäisches Komitee für Normung (Hrsg), 2006, Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006)

Europäisches Komitee für Normung (Hrsg), 2006, Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)

Fraunhofer Institut für Bauphysik (Hrsg), 2020, GENERIS <https://www.generis.live/>

Gantner, J. et al., 2018, Ökobilanz - Integration in den Entwurfsprozess

Gantner, J. et al., 2018, Ökobau.dat 3.0-Quo Vadis? Buildings 2018, 8, 129

HOINKA GmbH (Hrsg), 2019, Ökobilanz Bau, <https://www.oekobilanz-bau.de>

Ibn-Mohammed T. 2013. Operational vs. embodied emissions in buildings - A review of current trends

Passer A. 2010. Zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden

Passer A. et al. 2012, Assessment of the environmental performance of buildings: A critical evaluation of the influence of technical building, Int J Life Cycle Assess (2012) 17:1116-1130

equipment on residential buildings

Pohl S. 2014. Analyse der Rechenverfahren für die Ökobilanzierung im Bewertungssystem nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB)

Stoffregen et al. 2010. Endbericht Ökologische Bewertung der Haustechnik

Weißberger M. 2016. Lebenszyklusorientierte Analyse der ökologischen Eigenschaften von Niedrigstenergiewohngebäuden unter besonderer Berücksichtigung der Gebäudetechnik

thinkstep AG (Hrsg), 2018, SBS Building Sustainability, <https://www.sbs-onlinetool.com>

Umweltbundesamt. 2018. Energiesparende Gebäude

WEKA MEDIA GmbH (Hrsg), 2018, Legep <https://www.weka-bausoftware.de/legep>