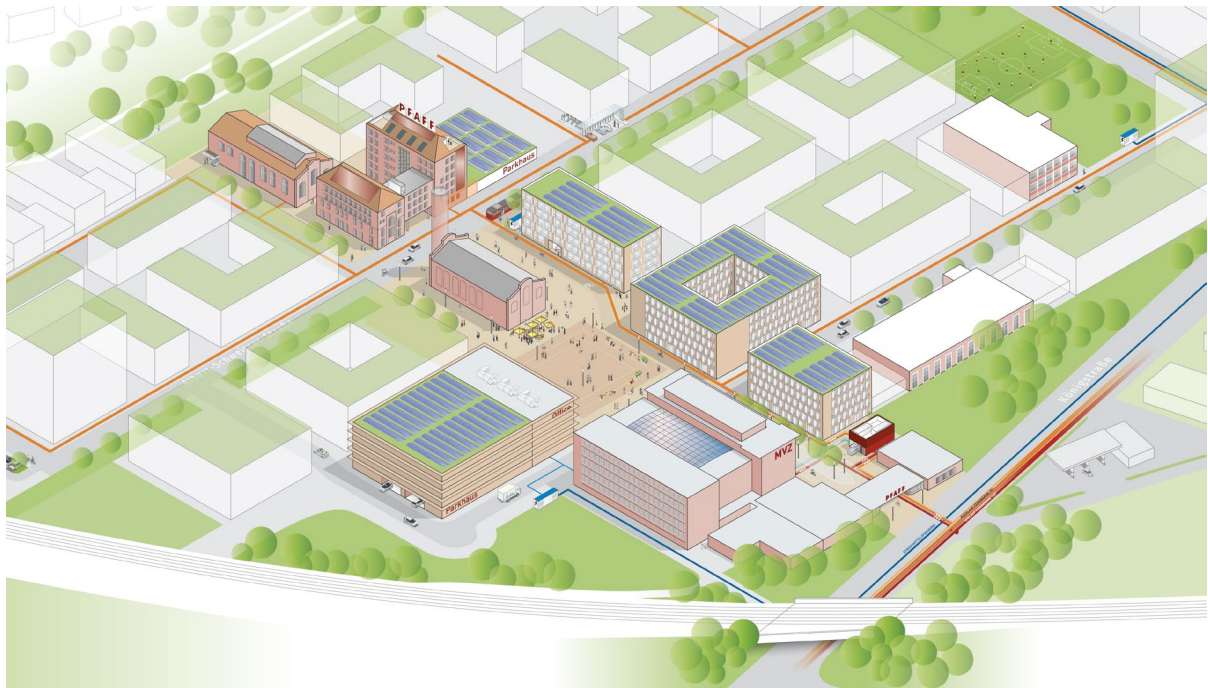


# Meilensteinbericht

## Meilenstein 1: Konzepterstellung LCA

### AP 2.2.5 LCA, Materialdatenbank

Meilensteinbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts  
zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff  
„Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern“



## < Meilensteinbericht

### Meilenstein 1: Konzepterstellung LCA

### AP 2.2.5 LCA, Materialdatenbank >

Meilensteinbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum  
Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff:

„Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern - Integrierte  
Konzepte, innovative Technologien und sozialwissenschaftliche Forschung  
im Leuchtturm für klimaneutrale Quartiere“

Teilvorhaben EnStadt:Pfaff: „IfaS Lebenszyklusbetrachtung“

Förderndes Ministerium:	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Projektträger:	Forschungszentrum Jülich GmbH
Förderkennzeichen:	03SBE112H
Projektlaufzeit:	01.10.2017 – 31.12.2024
Autoren:	Manuel Schaubt
Ausführende Stelle:	Hochschule Trier - Trier University of Applied Sciences - Umwelt- Campus Birkenfeld - Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS)
Veröffentlicht:	Juni 2019

Die Verantwortung der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Das Verbundprojekt EnStadt:Pfaff wurde von 8 Partnern  
durchgeführt und als Leuchtturmprojekt gemeinsam gefördert  
vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)  
und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Weitere Informationen zu EnStadt:Pfaff: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Einleitung, Motivation, Kontext .....	5
2	Zielsetzung, Aufgabenstellung, wissenschaftliche Fragestellungen .....	5
3	Methodik, Vorgehensweise, Stand der Wissenschaft .....	8
4	Datenerhebung .....	17
5	Ergebnisse .....	20
6	Literaturverzeichnis .....	22
6.1	Monographien .....	22
6.2	Online-Quellen .....	22

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beziehung zwischen „LCI parameter“ (links), „midpoint indicator“ (mittig) und „endpoint indicator“ (rechts) in ReCiPe 2008 .....	7
Abbildung 2:	Dateneingabematrix zur individuellen Bauteilerstellung .....	13
Abbildung 3:	Auswahl von Beton C 45/55 in der aktuellen Dateneingabe des Tool-Konzeptes .....	14
Abbildung 4:	Auswahl von MasterTop P660 in der aktuellen Dateneingabe des Tool-Konzeptes ..	14
Abbildung 5:	Ergebnisbereich des Tool-Konzeptes .....	16
Abbildung 6:	Legende der Kürzel für verschiedene Wertschöpfungs- bzw. Lebenszyklusstufen im Ökobaudat .....	18
Abbildung 7:	Relevante Datensätze aus der GEMIS-Datenbank .....	20

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Dateneingabe im Gebäudeaufbau-Tool (AP 2.2.5.3) .....	9
Tabelle 2:	Berechnungsmatrizen für Außenwand- und Dachfläche .....	10
Tabelle 3:	Zuordnung von Baubook-Bauteilen im Gebäudeaufbau-Tool (AP 2.2.5.3) .....	11
Tabelle 4:	Speicher- und Anzeigebereich des Tool-Konzeptes .....	15
Tabelle 5:	Ergebnisse zu Positionen im Speicher- und Anzeigebereich .....	15

# 1 Einleitung, Motivation, Kontext

Bisherige Untersuchungen im Bereich des Quartier- bzw. Gebäudeenergiebedarfs beziehen sich maßgeblich auf die energetischen Bedarfe bzw. Verbräuche während der Nutzungs- bzw. Betriebsphase von Gebäuden, nicht jedoch auf die gesamtökologischen Auswirkungen. Ein hoher Anteil an Energie wird jedoch auch in der Entstehungsphase von Gebäuden benötigt. Und auch am Ende der Nutzung eines Gebäudes entsteht erneuter Energieaufwand, sowohl beim Abriss von Gebäuden als auch dem Recycling bzw. der Deponierung von Baustoffen. Hierbei handelt es sich um sogenannte »Graue Energie«, die jene Energiemengen bezeichnet, welche für die Herstellung und Errichtung, damit einhergehender Transporte, aber auch Lagerung und Entsorgung benötigt werden. Der Begriff »Graue Energie« umfasst dabei alle Energieaufwände für sämtliche Vorprodukte bis hin zur Rohstoffgewinnung, sowie der nachgelagerten Prozesse, welche direkt auf Nutzungs- bzw. Betriebsphase folgen. Im Wesentlichen sollen somit alle indirekten Energieaufwendungen innerhalb eines Produktlebenszyklus erfasst werden. Dies ermöglicht sowohl Vergleiche der Energieaufwendungen für verschiedene Produktions- bzw. Konstruktions-Alternativen als auch einen gesamtenergetischen Vergleich zwischen verschiedenen Optionen. Hierbei kann sich z. B. eine auf den ersten vergleichenden Blick energiesparende Gebäudekonstruktionsoption als gesamtenergetisch aufwändiger entpuppen, v.a., wenn hierbei besonders energieintensiv herzustellende Materialien oder Produkte zum Einsatz kommen.

Mit steigender Effizienz von Gebäuden nimmt der Anteil an grauer Energie in aller Regel weiter zu, so dass eine ganzheitliche Betrachtung von der Herstellung der Werkstoffe über den Bau und der dazugehörigen Logistik, den Betrieb bis zum Rückbau/Abbruch sowie die nachfolgende Wiederverwertung der Materialien immer wichtiger wird. Um dies künftig bei der Materialauswahl zu berücksichtigen und Gebäudekonzepte zu präferieren, die eine flexible Umnutzung, eine Wiederverwendung von Komponenten und Materialien oder das Recycling von Materialien erleichtern, bedarf es einer systematischen Erfassung dieser Daten und eines einheitlichen Bewertungskonzeptes als Ergebnis von Lebenszyklusbetrachtungen.

# 2 Zielsetzung, Aufgabenstellung, wissenschaftliche Fragestellungen

Eine wesentliche Zielsetzung besteht darin graue Energie im Gebäudelebenszyklus soweit wie möglich zu identifizieren und zu quantifizieren und sowohl direkte als auch indirekte Energieaufwendungen adäquat darzustellen.

Die Quantifizierung erfolgt unter Verwendung zweier Entscheidungs- und Bewertungsindikatoren. Dem »kumulierten Energieaufwand« (KEA) und dem »kumulierten Energieverbrauch« (KEV). Beide ausgedrückt durch die Einheiten Joule (J) oder Kilowattstunde (kWh). Der wesentliche Unterschied zwischen KEA und KEV liegt hierbei in der Berücksichtigung von stofflich gebundener Energie. Der Energieinhalt von Produktmaterialien oder Produktkomponenten, welche weiterhin (kaskadisch) thermisch verwertet werden können bzw. brennbar sind, ist hierbei im KEA berücksichtigt, während der KEV diesen Energieinhalt außen vorlässt. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass Materialien wie z.B. Bitumen, (Poly-)Styrol, Polyethylen, Polypropylen, Polyvinylchlorid, Polyurethan aber auch Holz und Holzbaustoffe sowie andere auf Biomasse basierende Baumaterialien, welche über einen Heizwert verfügen, nicht im Betrag des KEV enthalten sind.

Gerade im Bereich der Gebäudeerrichtung kann daher der KEV ggf. aussagekräftigere Werte als der KEA liefern, da hier hohe Aufwands- und Verbrauchswerte grundsätzlich schlechter als niedrige eingestuft werden.

Eine weitere Dimension bzgl. der Aussagekraft lässt sich bei der Aufteilung beider Indikatoren in „nicht erneuerbar“ und „erneuerbar“ erreichen. Gerade unter Berücksichtigung klimapolitischer Ziele dürften v.a. der nicht erneuerbare KEA und KEV von Bedeutung sein.

Zudem ist neben der energetischen Betrachtung auch die Einbeziehung von Umweltindikatoren sinnvoll. Hierbei existiert im Bereich Ökobilanzierung und Life Cycle Assessment (LCA) ein breites Spektrum an Parametern. Die folgende Abbildung 1 verdeutlicht dies anhand einer Darstellung der ReCiPe-Methode, welche in den Niederlanden in Zusammenarbeit des Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (niederländische Behörde für Öffentliche Gesundheit und Umweltschutz), der Radboud University in Nijmegen, dem Institute of Environmental Sciences CML in Leiden sowie der Firma PRé Sustainability aus Amersfoort entstanden ist.

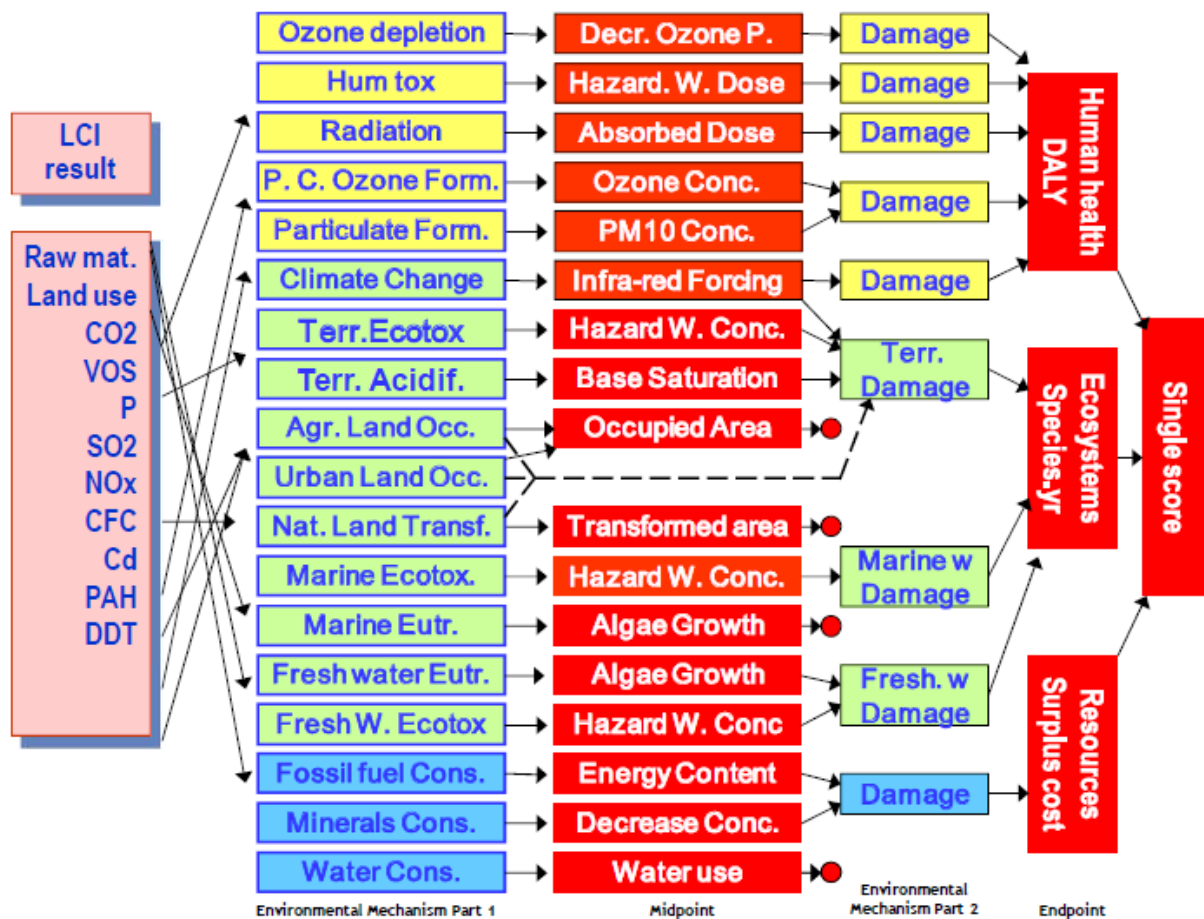


Abbildung 1: Beziehung zwischen „LCI parameter“ (links), „midpoint indicator“ (mittig) und „endpoint indicator“ (rechts) in ReCiPe 2008<sup>1</sup>

Die Abbildung zeigt beispielhaft die stufenweise Überführung einer Vielzahl von Parametern und dazugehörigen Indikatoren in die drei leicht verständlichen Kategorien Menschliche Gesundheit, Ökosysteme/Artenvielfalt und Ressourcenkosten. Am Ende wird die Möglichkeit der Zusammenführung in eine einzige „Score“ in Aussicht gestellt, wobei dieser letzte Schritt – aufgrund der nötigen Gewichtung der Kategorien höchst subjektiv zu werten ist – und deshalb individuell zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann.

Um im Ergebnis eine Überfrachtung mit Kennzahlen zu vermeiden wurden für das Projekt EnStadtPfaß lediglich vier Umweltindikatoren übernommen. Insgesamt werden somit jeweils zwei energetische Kennzahlen in jeweils zwei Ausprägungen (KEA<sub>erneuerbar</sub>, KEA<sub>nicht erneuerbar</sub>, KEV<sub>erneuerbar</sub>, KEV<sub>nicht erneuerbar</sub>) und vier Umweltindikatoren im Ergebnis abgebildet.

<sup>1</sup> Vgl. Goedkoop et al. (2013), p. 3.

Die ausgewählten Umweltindikatoren orientieren sich einerseits an der Popularität bzw. Bekanntheit entsprechender Umweltauswirkung andererseits jedoch auch an der puren Verfügbarkeit von Daten zu Produkten und Materialien. Aufgrund der Bekanntheit von klimawirksamen Gasen scheint es konsistent, dass der Umweltindikator Klimawandel sich in den Ergebnissen widerfindet. Dieser wird anhand der THG-Emissionen in CO<sub>2</sub>-äqu. dargestellt und ist der Kategorie Menschliche Gesundheit zuzuordnen. Desweiteren werden das bodennahe Ozonbildungspotenzial in C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>-äqu., welches ebenfalls der Kategorie Menschliche Gesundheit entspricht, sowie das Versauerungspotenzial in SO<sub>2</sub>-äqu. und das Eutrophierungspotenzial in PO<sub>4</sub>-äqu. für die Kategorie Ökosysteme/Artenvielfalt abgebildet. Die Kategorie Ressourcenkosten wird dahingegen durch die zwei energetischen Kennzahlen und deren Unterteilung in „erneuerbar“ und „nicht erneuerbar“ ausgedrückt. Das Aufzeigen weiterer Ressourcen-Kennzahlen ist insofern redundant als stoffliche Aufwendungen bereits in den Energiekennzahlen berücksichtigt werden.

### 3 Methodik, Vorgehensweise, Stand der Wissenschaft

Im Kern verfolgte die Vorgehensweise bei der Ermittlung von Energieeinsatz und Umweltauswirkungen bei der Errichtung von Gebäuden v.a. zwei Zweckbestimmungen. Erstens, die Evaluierung und Modifikation betrachteter Pilot-Konzepte bezüglich der Handhabung der vorhandenen Datensätze aus den verschiedenen analysierten Datenbanken. Und zweitens, der Reflexion des Tool-Entwicklungs-Prozesses im Sinne einer besseren Anwenderfreundlichkeit.

Im Wesentlichen wurden hierbei zwei bis dahin erstellte – sich ergänzende – Teil-Tool-Konzepte zur Diskussion gestellt. Das erste Teil-Tool spiegelt hierbei die Leistung für das AP 2.2.5.3 wider. Dabei handelt es sich um die Ebene der Erfassung der Gebäudeausmaße bzw. Kubatur, oder genauer, der Oberflächenausmaße der Kubatur. Dieses Teil-Tool ermöglicht eine relativ schnelle und anwenderfreundliche Oberflächenberechnung für grobe Gebäude-Bauteile (Böden, Wände, Decken, Dächer).

Die folgende Tabelle 1 zeigt diesbezüglich die Dateneingabemaske für ein fiktives „Gebäude 1“. Im oberen Bereich (grüne Felder) könnten hierbei – falls bekannt – direkt Flächenangaben zu Böden, Decken, Außen- und Innenwänden sowie Dachflächen erfolgen. Sind diese nicht direkt bekannt so wird die Kubatur, je nach Form der Gebäudegrundfläche und Dachform über Eingabewerte bewerkstelligt. Der Eingabebereich wurde so gestaltet, dass die Ergebnisse aus möglichst wenigen Dateneingaben ermittelt werden können.



Tabelle 1: Dateneingabe im Gebäudeaufbau-Tool (AP 2.2.5.3)

## Dateneingabe

Gebäude 1	Flächengröße
Gebäudegrundfläche (Böden)	
Bruttogrundfläche abzgl. Gebäudegrundfläche (Decken)	
Aussenwandfläche (Außenwände)	
Innenwandfläche (Innenwände)	
Dachfläche (Dächer)	

Alternative Eingabe von Gebäudemaßen zur automatischen Berechnung	
<b>Dachform</b>	<b>Satteldach</b>
Dachneigungswinkel	35 °
Dachüberstand (Ø aus allen betroffenen Seiten)	0,60 m
<b>Form der Gebäudegrundfläche*<sup>1</sup></b>	<b>Rechteck</b>
Länge 1 ( $l_1$ )* <sup>2</sup>	10,00 m
Länge 2 ( $l_2$ )* <sup>3</sup>	
Breite 1 ( $b_1$ )* <sup>4</sup>	10,00 m
Breite 2 ( $b_2$ )* <sup>5</sup>	
Höhe 1 ( $h_1$ ), Traufhöhe, Wandhöhe an der Tropfkante eines Gebäudes	6,00 m
Höhe 2 ( $h_2$ ), höchste Stelle (ggf. Firsthöhe)	9,50 m
Höhe pro Vollgeschoß* <sup>6</sup>	3,00 m
Flächenverhältnis von Innen- zu Außenwänden	1,00
<b>Ergebnisse</b>	
Gebäudegrundfläche (Böden)	100,0 m <sup>2</sup>
Bruttogrundfläche abzgl. Gebäudegrundfläche (Decken)	200,0 m <sup>2</sup>
Aussenwandfläche (Außenwände)	275,0 m <sup>2</sup>
Innenwandfläche (Innenwände)	275,0 m <sup>2</sup>
Dachfläche (Dächer)	150,0 m <sup>2</sup>

\*<sup>1</sup> Nebenbedingungen: Alle Wände senkrecht; falls Sattel- oder Nurdach: symmetrischer Aufbau; Firste stets parallel zu oder ggf. gleich Länge 1 ( $l_1$ ) und Breite 1 ( $b_1$ )

\*<sup>2</sup>  $l_1$ : die längste Seite, bzw. ggf. die längste Seite für welche keine Parallele gleicher Länge vorhanden ist

\*<sup>3</sup>  $l_2$ : bei rechteckigen Gebäuden redundant; bei nicht rechteckigen Gebäuden die Parallele zu  $l_1$ , welche mindestens an einer Innenecke anliegt

\*<sup>4</sup>  $b_1$ : die längste Seite, welche lotrecht zu  $l_1$  steht und diese berührt

\*<sup>5</sup>  $b_2$ : bei rechteckigen Gebäuden redundant; bei nicht rechteckigen Gebäuden die Parallele zu  $b_1$ , welche mindestens an einer Innenecke anliegt

\*<sup>6</sup> inklusive der Stärke des zugehörigen Deckenaufbaus bis OK Boden des nächsten Geschoßes

Im vorliegenden Beispielfall wurde vereinfacht von einem Gebäude mit Satteldach und einer rechteckigen Grundfläche (10 x 10 m) ausgegangen. Über die Dachneigung (im Bsp. 35°) und Dachüberstand (im Bsp. 0,6 m) kann die Dachfläche berechnet werden. Durch Kenntnis der Länge (10 m), Breite (10 m) und Traufhöhe (im Bsp. 6 m) wird die Außenfläche ermittelt. Über zusätzliche Kenntnis der Vollgeschoßhöhe (im Bsp. 3 m) können im Zusammenhang mit der Grundfläche die Deckenflächen ermittelt werden.

Die etwas abstrakte Flächenverhältniszahl von Innen- zu Außenwänden dient außerdem dazu die Innenwandflächen zu ermitteln. Die Zahl ist nur durch Messungen oder Baupläne genau zu ermitteln. Bei sehr großen Gebäuden mit relativ kleinen Räumen – z.B. Hochhäusern mit vielen Einzelbüros – kann diese im Bereich > 5 liegen.

Bei Wohnungen mit wenigen Räumen oder gar einer groß geschnittenen Einraumwohnung kann es jedoch im Extremfall auch unter 0,2 betragen – z.B. wenn kein Flur vorhanden ist und im Wesentlichen nur ein kleiner Sanitärbereich abgetrennt ist. Auch der Wert 0 kann erreicht werden (Halle ohne Innenwände). Zur Vereinfachung wurde im Beispiel der Wert „1“ verwendet.

Es soll hier jedoch angemerkt sein, dass Innenwände in aller Regel geringere Stärken als Außenwände aufweisen, daher kann in diesem Schritt vorerst nur eine Aussage über die Fläche – nicht jedoch über Volumina – getroffen werden.

Bezüglich der Berechnung werden in der vorliegenden Version vier Dachformen (Satteldach, Pultdach, Flachdach und Nurdach) sowie vier Gebäudegrundflächenformen (Rechteck, L-Form, U-Form und Atriumbauweise) unterstützt. Die Berechnungen beziehen sich hierbei auf geometrische und trigonometrische Beziehungen.

Die folgende Tabelle 2 zeigt in diesem Kontext die Berechnungsmatrizen mitsamt Ergebnissen für Aussenwand und Dachfläche beispielhaft anhand der bereits genannten Variablen (siehe Tabelle 1).

*Tabelle 2: Berechnungsmatrizen für Außenwand- und Dachfläche*

Außenwandfläche				
in m <sup>2</sup>	Satteldach	Pultdach	Flachdach	Nurdach
Rechteck	275	310	240	35
L-Form	240	310	240	35
U-Form	360	465	360	35
Atriumbauweise	480	620	480	0

Dachfläche				
in m <sup>2</sup>	Satteldach	Pultdach	Flachdach	Nurdach
Rechteck	150	150	125	150
L-Form	25	25	25	25
U-Form	25	25	25	25
Atriumbauweise	25	25	25	25

In einem weiteren Schritt können die berechneten Gebäudebauteile unmittelbar mit Datenmaterial bezüglich der entsprechend passenden Bauteile aus der Datenbank „Baubook“ unterfüttert werden, um den aufgewendeten Primärenergieeinsatz zu ermitteln.

Ein Beispiel hierfür für jeweils zwei verschiedene Boden-, Decken-, Außenwand-, Innenwand- und Dach-Konstruktionen zeigt die folgende Tabelle 3.

Tabelle 3: Zuordnung von Baubook-Bauteilen im Gebäudeaufbau-Tool (AP 2.2.5.3)

Gebäudeaufbau			Fläche	PENRT (spec.)	PENRT/KEA
Böden (I)	1	ADh 01 a Massivholzdecke über Außenluft, Nassestrich	248,0 m <sup>2</sup>	835 MJ/m <sup>2</sup>	57.522 kWh
	2	Efu 04 b Plattenfundament, unterseitig gedämmt, Distanzboden	144,0 m <sup>2</sup>	2837 MJ/m <sup>2</sup>	113.480 kWh
(Zwischen-) Decken (II)	1	GDm 02 a Stahlbeton-Geschoßdecke, Distanzboden	512,0 m <sup>2</sup>	938 MJ/m <sup>2</sup>	133.404 kWh
	2	GDm 03 a Ziegel-Geschoßdecke ohne Aufbeton	288,0 m <sup>2</sup>	870 MJ/m <sup>2</sup>	69.600 kWh
Außenwände (III)	1	AW 00 Betonhohlsteinmauerwerk mit Innen- und Außenputz	459,1 m <sup>2</sup>	273 MJ/m <sup>2</sup>	34.816 kWh
	2	AW 01a: Betonhohlsteinmauer saniert (EPS)	393,0 m <sup>2</sup>	903 MJ/m <sup>2</sup>	98.579 kWh
Innenwände (IV)	1	AW 00 Betonhohlsteinmauerwerk mit Innen- und Außenputz	413,2 m <sup>2</sup>	273 MJ/m <sup>2</sup>	31.334 kWh
	2	AW 01a: Betonhohlsteinmauer saniert (EPS)	353,7 m <sup>2</sup>	903 MJ/m <sup>2</sup>	88.721 kWh
Dächer (V)	1	SD 02: Steildach hinterlüftet	321,7 m <sup>2</sup>	348 MJ/m <sup>2</sup>	31.096 kWh
	2	SD 02a: Steildach saniert (Holzfaser)	224,0 m <sup>2</sup>	916 MJ/m <sup>2</sup>	57.002 kWh

Ein Vorteil liegt hierbei in einer relativ zügigen Berechnung der KEA für Gebäude bzw. Gebäudebauteile. Nachteile bestehen aber darin, dass lediglich vorgefertigte – wenig individualisierte – Datensätze aus dem Baubook eingepflegt werden können und nur die energetische Kennzahl KEA berechnet werden kann, nicht jedoch der KEV. Die Auswahl an Bauteilen ist demnach beschränkt und die Materialien im jeweiligen Bauteil sind determiniert und daher nicht auf einfache Weise austauschbar.

Aus diesem Grund wurde ein weiteres Tool konzipiert, welches auf Teile des Datenmaterials der Datenbanken von GEMIS, Probas und v.a. ÖkobaDat zurückgreift. Dieses Teil-Tool spiegelt im Wesentlichen die Leistung für das AP 2.2.5.2 wider.

Hier können aus Datensätzen zu über 1.200 Baustoffen individuelle Gebäudeteil-Schichtaufbauten angelegt werden. Der Vorteil liegt hierbei in der Möglichkeit der sehr individuellen Bauteil-Konzeption. Der Nachteil in der hohen Zeitintensität, da Gebäudeschichtaufbauten oft bis zu 15 und mehr Schichten bzw. Komponenten beinhalten und die Datenbank viele sehr ähnliche Baustoff-Datensätze enthält, was wiederum den Auswahlprozess erschwert.

Die folgende Abbildung 2 verdeutlicht den aufwendigen Erstellungsprozess für ein einzelnes individuelles Bauteil anhand der dazugehörigen Eingabematrix.

---

12 | 22

---

12 | 22

## *Abbildung 2: Dateneingabematrix zur individuellen Bauteilerstellung*

Die hier aufgezeigte Dateneingabematrix beschränkt sich auf maximal 15 Schichten sowie fünf zusätzliche Komponenten. Der Unterschied zwischen Schicht und zusätzlicher Komponente liegt hierbei in der Dimension der Materialien. Eine Schicht wird als vollständig flächenfüllend und in homogener Stärke angenommen, wie es z. B. bei einer Rigipsplatte oder einem Wandputz der Fall ist. Auch beispielsweise ein Hohlkammerbaustein erfüllt diese Kriterien, da die durchschnittlichen und nicht die partiellen Eigenschaften eines Materials bzw. Baustoffes in die Bewertung eingehen. Der Baustein wird demnach nicht in Luft-Anteil und Material-Anteile unterteilt, sondern in seiner Gesamtheit im Verbund mit anderen Bausteinen als Schicht betrachtet. Unterschiede ergeben sich durch die Einbeziehung verschiedener Rohdichten, je nach Variation der Inhaltsmaterialien. Bei Mauerbausteinen wie z. B. Beton-, Porenbeton-, Ziegel- oder Kalksandsteinen kann die Rohdichte hierbei, je nach Luftanteil und Zuschlagstoffen, zwischen etwa 0,3 und 2,5 t/m<sup>3</sup> variieren.

Zudem kann der Aufbau eines einzelnen Gebäudes wiederum auf Dutzenden, wenn nicht sogar 100 und mehr verschiedenen – relativ individuell zusammengesetzten und verschieden verorteten – Schichtaufbauten beruhen. Bei vollständiger und hinreichend präziser Erfassung des genauen stofflichen Aufbaus eines Gebäudes müssten hier für Bauteil-Datensätze demnach Eingaben im drei- wenn nicht sogar vierstelligen Bereich berücksichtigt werden.

Um eine höhere Anwenderfreundlichkeit zu erreichen wurde sich daher in Bezug auf das AP darauf geeinigt, Elemente beider Tools, auf sinnhafte Art und Weise zusammenzuführen. Das Ergebnis ist ein Tool-Konzept, welches eine schnellere Baustoffauswahl ermöglicht, da ähnliche Baustoff-Datensätze agglomeriert bzw. redundante Datenmaterialien ausgegliedert werden. Außerdem werden die Mengen der verwendeten Baustoffe nicht mehr nach Einzel-Bauteil erfasst, sondern nach der verwendeten bzw. einzusetzenden Gesamtmenge.

Dies vermindert die Anzahl der potenziell auszuwählenden Datensatzeingaben i. d. R. auf eine Menge von weit unter 100, außerdem müssen auch keine unterschiedlichen Schichtaufbauten mehr festgehalten werden. Denn, gerade wenn Schichtaufbauten sich nur gering unterscheiden und hierfür – um eine korrekte Erfassung zu gewährleisten – trotzdem neue Bauteile im Tool angelegt werden, entsteht ein erhöhter Mehraufwand durch das erneute Durchlaufen des Auswahlprozesses (vierstufige Baumstruktur; siehe Abbildung 2), obwohl sich das zu berechnende Ergebnis nur sehr geringfügig verändert.

Konsequenterweise muss jedoch der Einsatz der Gesamtmengen verschiedener Baustoffe im Vorfeld zur Tool-Anwendung festgehalten bzw. berechnet werden. Trotz dieser zusätzlichen Arbeit besteht potenziell jedoch eine enorme Zeitersparnis gegenüber der individuellen Bauteilerstellung.

Das entwickelte Tool-Konzept kommt zudem mit einer dreistufigen Baumstruktur aus, wodurch der Auswahlprozess zusätzlich verkürzt wird. Einen Überblick über die im Gegensatz zur Eingabemaske aus Abbildung 2 sehr überschaubaren Dateneingabe des zusammengeführten Tool-Konzeptes zeigt die folgende Abbildung 3.

Auswahl	Eingabebereich	
5		
Baggereinsatz> Bauplatten> Beschichtungen> <b>Beton&gt;</b> Dachbau> Dämmstoffe>	Betonarten>        	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 45/55 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 50/60 Transportbeton C20/25 Transportbeton C30/37 Spannbeton-Fertigteildecken Betonfertigteil Decke 20cm
Nutzmenge		
100,00	m <sup>3</sup>	

**Hinweise:** Grün gefärbte Felder dienen der Dateneingabe!  
 Vor Eingabe eines Stoffes und der dazugehörigen "Nutzmenge" bitte stets im Feld "Auswahl" die Ziffer um "+1" erhöhen!

Abbildung 3: Auswahl von Beton C 45/55 in der aktuellen Dateneingabe des Tool-Konzeptes

Hier stehen pro Baustoff oder Baumaterial nur die Eingabe der Auswahlnummer (bewerkstelligt die korrekte Zuordnung der Auswahl im Speicherbereich), das Heraussuchen des entsprechenden Datensatzes im Baumdiagramm und die Eingabe der Nutzmenge als Eingabeaufwand an. Die Einheit zur Nutzmenge wird automatisch in der im Datensatz hinterlegten und zugeordneten Maßeinheit angezeigt. Im Falle der Zuordnung einer Masse (kg) erfolgt außerdem die zusätzliche Angabe des entsprechenden Volumens im Bereich hinter der Maßeinheit (siehe Abbildung 4).

Auswahl	Eingabebereich	
5		
Baggereinsatz> Bauplatten> Beschichtungen> <b>Beton&gt;</b> Dachbau> Dämmstoffe>	Dispersionen> Silikatfarben> <b>Tiefengrund&gt;</b> Latexfarben> Farben auf Epoxidharzbasis> Farben auf PU-Basis>	Grundierungen für Brückenabdichtungen auf Basis von Epoxidharzen, wässrig, ungefüllt MasterTop P 615, MasterTop P 617, MasterTop P 617RC, MasterTop P 621 <b>MasterTop P 660</b> PCI Epoxigrund 390 / PCI Epoxigrund Rapid PCI GisoGrund 404 / PCI GisoGrund® SCHÖNER WOHNEN Acryl Tiefgrund
Nutzmenge		
100,00	kg entspricht 0,091 m <sup>3</sup>	

**Hinweise:** Grün gefärbte Felder dienen der Dateneingabe!  
 Vor Eingabe eines Stoffes und der dazugehörigen "Nutzmenge" bitte stets im Feld "Auswahl" die Ziffer um "+1" erhöhen!

Abbildung 4: Auswahl von MasterTop P660 in der aktuellen Dateneingabe des Tool-Konzeptes

Unter dem Eingabebereich findet sich der Speicher- und Anzeigebereich in welchem jeder ausgewählte Datensatz entsprechend seiner Nummerierung zu finden ist (siehe Tabelle 4). Zusätzlich werden die Bezugseinheit, die Bezugsmasse, die Rohdichte und die Gesamtmasse zum Datensatz angegeben. In einer letzten Spalte findet sich Platz für eigene Bemerkungen (z. B. Hinweise zu Mengenberechnungen) zum jeweils angelegten Datensatz.

Tabelle 4: Speicher- und Anzeigebereich des Tool-Konzeptes

Auswahl		Bezugseinheit	Bezugsmasse [kg]	Rohdichte [kg/m³]	Masse [kg]	Eigene Hinweise
1	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m³	2.400,0	2.400	3.146.880	1.311,2 m³ (u. GOK; Bodenpl. + Fund.)
2	Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	m³	26,3	26	11.340	10.800 m³; 40 mm
3	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	m³	2.400,0	2.400	35.574.400	2/3 v. 22.234 m³ (ü. GOK)
4	Vormauerziegel	m³	1.000,0	1.800	13.340.400	1/3 v. 22.234 m³ (ü. GOK)
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Der Speicher- und Anzeigebereich zählt aktuell insgesamt 50 Positionen ist aber theoretisch unendlich erweiterbar.

Im Bereich rechts des Speicher- und Anzeigebereiches befinden sich die Ergebnisse (siehe Tabelle 5) für die jeweiligen nummerierten Positionen (siehe Nummer 1 bis 4 in Tabelle 4).

Tabelle 5: Ergebnisse zu Positionen im Speicher- und Anzeigebereich

Auswahl	alle in kWh/kg				alle in kg/kg			
	PENRT	PERT	PENRT - PENRM	PERT - PERM	GWP	AP	EP	POCP
	KEA-Ebene		KEV-Ebene		Umweltauswirkungen			
	nicht EE	EE	nicht EE	EE	CO <sub>2</sub> e	SO <sub>2</sub> e	PO <sub>4</sub> <sup>3</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> e
1	0,07578125	0,003466667	0,07578125	0,003466667	0,073683333	0,0001238	2,14583E-05	1,53921E-05
2	5,097248677	0,799103704	5,097248677	0,799103704	1,563668571	0,007254743	0,001032587	0,000411371
3	0,07578125	0,003466667	0,07578125	0,003466667	0,073683333	0,0001238	2,14583E-05	1,53921E-05
4	2,247083333	0,139870556	2,247083333	0,139870556	0,539786	0,000576352	8,79608E-05	0,000103083

In der linken Hälfte – in der Einheit kWh/kg – befinden sich hierbei die Werte für die beiden (Ressourcenkosten-)Kennzahlen KEA und KEV, eingeteilt in „nicht EE“ und „EE“. Zusätzlich genannt sind die alternativen Bezeichnungen PENRT, PERT, PENRM und PERM. Hierbei handelt es sich um englische Abkürzungen für „Primary Energy Non-Renewable Total“, „Primary Energy Renewable Total“, „Primary Energy Non-Renewable Material“ und „Primary Energy Renewable Material“.

Die KEA-Ebene ist hierbei äquivalent zur „Primary Energy“ Ebene. Wird von dieser die „Primary Material“ Ebene in Abzug gebracht wird die KEV-Ebene dargestellt.

In der rechten Hälfte befinden sich – aufgezeigt in der Einheit kg/kg – zuerst das „Global Warming Potential“ (GWP) bzw. Treibhausgaspotenzial in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten und – rechts außen – das „Photochemical Ozone pre-Cursor Potential“ (POCP) bzw. bodennahes Ozonbildungspotenzial in C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>-Äquivalenten, beide entsprechen innerhalb der ReCiPe-Methode der Kategorie Menschliche Gesundheit. Zwischen dem GWP und dem POCP werden das „Acidification Potential“ (AP) bzw. Versauerungspotenzial in SO<sub>2</sub>-Äquivalenten und das „Eutrophication Potential“ (EP) bzw. Eutrophierungspotenzial in PO<sub>4</sub><sup>3</sup>-Äquivalenten aufgezeigt, beide Indikatoren entsprechen innerhalb der ReCiPe-Methode der Kategorie Ökosysteme/Artenvielfalt.

Das Gesamtergebnis (Aufsummierung aller Positions-Beträge) für die acht Indikatoren steht im Bereich darüber und damit rechts neben dem Eingabebereich und nicht wie es ggf. zu erwarten wäre, unter den

Positionen. Somit ist das Gesamtergebnis – unabhängig von der Anzahl der festgehaltenen Datensätze – immer an der gleichen Stelle verortet und einfach aufzufinden. Im Speicher- und Anzeigebereich ergibt sich damit darüber hinaus die Möglichkeit – nach unten hin – theoretisch unbegrenzt Datensätze anzulegen ohne die Orientierung im Tool zu verlieren, da Eingabe- und Ergebnisbereich stets die oberen Zeilen des Tools belegen.

Ergebnisse							
alle in kWh				alle in kg			
PENRT	PERT	PENRT - PENRM	PERT - PERM	GWP	AP	EP	POCP
KEA-Ebene		KEV-Ebene		Umweltauswirkungen			
nicht EE	EE	nicht EE	EE	CO <sub>2</sub> e	SO <sub>2</sub> e	PO <sub>4</sub> <sup>3</sup>	Ethen
32.969.140	2.009.225	32.969.140	2.009.225	10.071.806	12.565	2.016	1.976
Referenz-Heizwerte/MAK-Grenzwerte				9.100 mg/m <sup>3</sup>	2,7 mg/m <sup>3</sup>	1,8 g/d (Gesamt-P)	11.500 mg/m <sup>3</sup>
4,17 kWh/kg	4,24 kWh/kg	4,17 kWh/kg	4,24 kWh/kg	MAK von 1,2135 km <sup>3</sup>	MAK von 4,6536 km <sup>3</sup>	365.500 EGW/d	MAK von 0,0002 km <sup>3</sup>
Äquivalente/Referenzmenge:				70.928.000 KFZ-km			
7.906 t Braunkohle	474 t Brennholz	7.906 t Braunkohle	474 t Brennholz				

**Manuel Schaubt:**  
 Heizwert (atro): 5,1 kWh/kg  
 Wassergehalt: 15%

**Manuel Schaubt:**  
 VW Passat Variant 1.6 TDI SCR BlueMotion Trendline  
 Quelle: <https://www.adac.de/infotestrat/tests/eco-test/detail.aspx?IDMess=3876&info=VW+Passat+Variant+1.6+TDI+SCR+BlueMotion+Trendline>

**Manuel Schaubt:**  
 9,1 mg/l abzgl. 400 ppm (ca. 0,79 mg/l)

Abbildung 5: Ergebnisbereich des Tool-Konzeptes

Die Abbildung 5 zeigt beispielhaft die aufsummierten Ergebnisse für die vier aufgezeigten Positionen (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5). Zudem werden Äquivalente und Referenzmengen auf Basis von Referenz-Heizwerten und MAK-Grenzwerten dargestellt. Hierbei werden nicht erneuerbare in t Braunkohle und erneuerbare in t Brennholz dargestellt. Beide Stoffe werden dabei mit dem gleichen Heizwert von 4,17 kWh/kg<sup>2</sup> pro Masseinheit angesetzt, der unterschiedliche Charakter indes durch die abweichenden Energieträgerarten plakativ akzentuiert.

Die CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- und C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>-Äquivalente werden indes über die Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK) ausgedrückt.

Der MAK liegt hierbei bzgl. CO<sub>2</sub> etwa 11-fach über dem aktuellen durchschnittlichen atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehalt von ca. 420 ppm bzw. 0,042 Volumenprozent.<sup>3</sup>

Der MAK für SO<sub>2</sub>e liegt dagegen beim 21,6-fachen des Tagesgrenzwertes von 125 µg/m<sup>3</sup>, welcher nicht öfter als dreimal im Kalenderjahr überschritten werden darf bzw. beim 135-fachen des kritischen Jahres- und Wintermittelwertes (Oktober bis März) von 20 µg/m<sup>3</sup>.<sup>4</sup>

<sup>2</sup> Vgl. Agrarplus (2019), letzter Zugriff in 2020-01-24.

<sup>3</sup> Vgl. Spiegel (2019), letzter Zugriff in 2020-01-24.

<sup>4</sup> Vgl. UBA (2018), letzter Zugriff in 2020-01-24.



Die Anzeige erfolgt wegen der großen Volumen, welche bei gasartigen Verunreinigungen schnell erreicht werden, über die Volumeneinheit  $\text{km}^3$  (entspricht 1 Mrd.  $\text{m}^3$ ).

Zur besseren Vorstellungsfähigkeit bei Mengen  $< 1 \text{ km}^3$  kann zur Vereinfachung eine Fläche von einem  $\text{km}^2$  als hypothetische Referenz dienen. Diese Fläche wird sodann gedanklich mit einer Luftsäule in m entsprechend der Zahl hinter dem Komma versehen.

Das EP wird dahingegen in Einwohnergleichwerten (EGW) dargestellt, da Phosphor in der Form von  $\text{PO}_4^{3-}$  v.a. als Referenzmenge bei der Darstellung der in Abwässern enthaltenen Schmutzfrachten Verwendung findet. Dabei entsprechen 1,8 g Gesamt-Phosphor bzw. ca. 5,5 g  $\text{PO}_4^{3-}$  einem Einwohnergleichwert pro Tag (EGW/d).

## 4 Datenerhebung

Die Grundlagen für den Aufbau einer adäquaten Materialdatenbank zur Betrachtung des Energieeinsatzes und der Auswirkungen bestimmter Umwelteinflüsse bei der Errichtung von Gebäuden erfolgte aus der Recherche, Analyse und teilweise auch durch Agglomeration von umfangreichen Datenmaterial aus verschiedenen bereits am Markt vorhandenen Datenbanken (Gemis, Ecoinvent, Probas, Ökobaumat). Der Fokus lag themenspezifisch in der Analyse und Aufarbeitung von Material- und insbesondere Baustoff-Datensätzen. Die Erweiterung des Tools um eine umfassende Baustoff-Materialdatenbank wurde vorbereitet. Hierzu wurden verschiedene Gebäudekonstruktionsoptionen für innovative Quartiere ermittelt. Weiterhin wurden geeignete Datensätze recherchiert und evaluiert und erste geeignete Berechnungs-Tools (Excel-Anwendungen) erstellt.

Die aktuelle Version der Excel-Anwendung greift hierbei v.a. auf Datensätze und Datensatzagglomerationen aus der Ökobaumat-Datenbank zurück.

Im Ökobaumat sind Datensätze jeweils einem Stadium oder Teilstadium eines Produktes zugeordnet. Hierbei wird zwischen den Stadien Produktion (A; Teilstadien A1 bis A3), Errichtung (A; Teilstadien A4 und A5), Nutzung (B; Teilstadien B1 bis B7), Entsorgung (C; Teilstadien C1 bis C4) und Gutschriften/Lasten (D) unterschieden (siehe Abbildung 6).

Legende - Ökobaudat (Lebenswegmodule)			
Produktionsstadium	A1	Rohstoffversorgung	aggregiert <b>X</b>
	A2	Transport	
	A3	Herstellung	
Stadium der Errichtung des Bauwerks	A4	Transport zur Baustelle	
	A5	Einbau ins Gebäude	
Nutzungsstadium	B1	Nutzung / Anwendung	
	B2	Instandhaltung	
	B3	Reparatur	
	B4	Ersatz	
	B5	Erneuerung	
	B6	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	<b>X</b>
	B7	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	
Entsorgungsstadium	C1	Rückbau / Abriss	
	C2	Transport	
	C3	Abfallbehandlung	<b>X</b>
	C4	Deponierung	<b>X</b>
Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze		D	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial <b>X</b>

Abbildung 6: Legende der Kürzel für verschiedene Wertschöpfungs- bzw. Lebenszyklusstufen im Ökobaudat

Jedoch sind nicht alle Stadien bzw. Teilstadien zwingend für jedes Produkt erfasst bzw. erfassbar. So können während der Nutzung eines Produktes einzelne Stadien oder Teilstadien ggf. entfallen. Lediglich die Teilstadien A1 bis A3 sind stets aufgeführt. Produkte für welche lediglich die Teilstadien A1 bis A3 festgehalten sind werden hierbei z. B. durch verschiedene Beschichtungen (u.a. einige Dispersionsprodukte der Firma Brillux) abgebildet. So verfügen diese zwar über ein Produktionsstadium (A1 bis A3), jedoch wird auf die Darstellung der Teilstadien A4 und A5 verzichtet. Ebenso entstehen keine nennenswerten Auswirkungen während der Nutzungsphase und auch die Entsorgung kann kaum getrennt vom Träger-Mauerwerk betrachtet werden. Für Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze gilt ähnliches.

Weiteres Datenmaterial wurde aus der Gemis-Datenbank gewonnen. Da der Fokus dieser Datenbank jedoch hauptsächlich auf der Erzeugung und Bereitstellung von Energie sowie Logistik liegt, wurden hier lediglich einige wenige Datensätze zu Materialien, welche auch im Hoch- und Tiefbau Verwendung finden, verarbeitet. Ein Beispiel zu den genutzten Daten zeigt die folgende Abbildung 7.

KEA	kWh/t	davon EE	KEV	kWh/t	davon EE	Position	KEV ./ KEA	Treibhaushauseffekt				Bodenversauerung				Eutrophierung				bodemahes Ozon			
								kg CO <sub>2</sub> e/t	kg SO <sub>2</sub> e/t	kg CSB/t	kg Ethen/t	kg CO <sub>2</sub> e/t	kg SO <sub>2</sub> e/t	kg CSB/t	kg Ethen/t	kg CO <sub>2</sub> e/t	kg SO <sub>2</sub> e/t	kg CSB/t	kg Ethen/t	kg CO <sub>2</sub> e/t	kg SO <sub>2</sub> e/t	kg CSB/t	kg Ethen/t
Alu-Mix	41.848	19%	Alu-Mix	41.817	19%	+0		16.260	61	20,5	43	16.260	61	20,5	43								
PU-Schaum	30.186	6%	Kupfer	16.058	4%	+6		4.989	38	1,5	36	4.989	38	1,5	36								
Exp. Polystyrol	27.301	2%	PU-Schaum	13.344	12%	-1		4.617	8	1,3	12	4.617	8	1,3	12								
Gummi-EPDM	25.987	1%	Kupfer-Mix	11.425	6%	+6		3.590	9	0,9	65	3.590	9	0,9	65								
Polypropylen	25.287	4%	Gummi-EPDM	9.931	2%	-1		3.437	22	15,6	20	3.437	22	15,6	20								
Styrol	23.354	0%	Exp. Polystyrol	7.651	9%	-3		3.287	11	0,4	16	3.287	11	0,4	16								
Bitumen	16.596	0%	Polypropylen	7.365	15%	-2		2.998	7	0,9	11	2.998	7	0,9	11								
Kupfer	16.149	4%	Kupfer sekundär	6.790	10%	+3		2.673	7	0,6	12	2.673	7	0,6	12								
PVC-Masse	13.608	7%	Roheisen	6.545	0%	+3		1.993	4	1,3	7	1.993	4	1,3	7								
Kupfer-Mix	11.474	6%	Stahl-Mix	5.371	0%	+3		1.884	7	29,7	4	1.884	7	29,7	4								
Kupfer sekundär	6.797	10%	PVC-Masse	5.182	18%	-2		1.819	5	40,4	7	1.819	5	40,4	7								
Roheisen	6.547	0%	Styrol	3.674	3%	-6		1.515	4	31,0	7	1.515	4	31,0	7								
Stahl-Mix	5.373	0%	Steinwolle	3.657	5%	+1		1.187	6	0,3	608	1.187	6	0,3	608								
Steinwolle	3.688	5%	Glas-flach	3.266	2%	+1		1.102	5	1,4	6	1.102	5	1,4	6								
Glas-flach	3.267	2%	Gusseisen	2.464	11%	+1		976	3	16,1	8	976	3	16,1	8								
Gusseisen	2.540	11%	Fliese	2.258	23%	+1		938	2	0,04	3	938	2	0,04	3								
Fliese	2.258	23%	Keramik	2.258	23%	+1		894	2	0,02	2	894	2	0,02	2								
Keramik	2.258	23%	Bitumen	1.472	1%	-11		607	1	8,0	4	607	1	8,0	4								
Asphalt	1.462	1%	Asphalt	1.461	1%	+0		605	1	0,03	2	605	1	0,03	2								
Zement	1.257	6%	Zement	1.256	6%	+0		605	1	0,03	2	605	1	0,03	2								
Klinker	1.051	2%	Klinker	1.050	2%	+0		432	1	0,03	1	432	1	0,03	1								
Stroh	1.010	99%	Stroh	1.010	99%	+0		226	0,35	0,02	0,32	226	0,35	0,02	0,32								
Gipsplatte	915	4%	Gipsplatte	888	4%	+0		166	0,30	0,01	0,49	166	0,30	0,01	0,49								
Ytong	782	1%	Ytong	782	1%	+0		146	0,21	0,01	0,50	146	0,21	0,01	0,50								
Kalksandstein	327	1%	Kalksandstein	326	1%	+0		96	0,25	0,04	0,31	96	0,25	0,04	0,31								
Holz-Fichte	271	4%	Holz-Fichte	271	4%	+0		70	0,25	0,004	0,56	70	0,25	0,004	0,56								
Beton	250	7%	Beton	249	7%	+0		36	0,32	0,009	0,76	36	0,32	0,009	0,76								
Quarzsand	132	7%	Quarzsand	132	7%	+0		28	0,03	0,006	0,04	28	0,03	0,006	0,04								
Holzfaser	131	1%	Holzfaser	130	1%	+0		9	0,07	0,002	0,12	9	0,07	0,002	0,12								
Kies	37	16%	Kies	37	16%	+0		8	0,04	0,003	0,07	8	0,04	0,003	0,07								
Kalk	37	5%	Kalk	37	5%	+0		2	0,02	0,0002	0,03	2	0,02	0,0002	0,03								
Bims (Abbau)	4	0%	Bims (Abbau)	4	0%	+0		1	0,01	0,0001	0,02	1	0,01	0,0001	0,02								

#### Abbildung 7: Relevante Datensätze aus der GEMIS-Datenbank

Abbildung 7 zeigt am Beispiel von 32 ausgewählten Materialien, den KEA (Spalte 2 und 3), KEV (Spalte 5 und 6), sowie Daten zum Treibhausgas- (Spalte 9), Versauerungs- (Spalte 10), Eutrophierungs- (Spalte 11), und bodennahem Ozon-Potenzial (Spalte 12). Die Materialien sind hierbei in Bezug auf KEA und KEV nach Energieaufwand bzw. Energieverbrauch absteigend angeordnet. Spalte 7 zeigt die Veränderung der Position bzgl. des KEV der Materialien im direkten Vergleich zum KEA. Ein „+“ kennzeichnet hierbei einen höheren KEV im Vergleich zum KEA, ein „-“ weist auf einen vergleichsweise niedrigeren KEV hin. Auf Ebene der vier nicht-energetischen Indikatoren bzw. Umweltauswirkungen (Spalte 9 bis 12) orientiert sich die Anordnung absteigend am Material mit dem höchsten Treibhausgas-Potenzial (THG-Potenzial). Hier ist jedoch erkennbar, dass bis auf wenige Ausnahmen die anderen Umweltauswirkungen dem Trend des THG-Potenzials folgen. D.h., dass Materialien, welche in der LCA-Betrachtung tendenziell über ein hohes THG-Potenzial verfügen i. d. R. auch ein hohes Versauerungs-, Eutrophierungs- und bodennahe Ozonbildungspotenzial aufweisen. Ausnahmen bestehen v. a. bei den Metallen Kupfer, Roheisen und Stahl in Bezug auf das Eutrophierungspotenzial und bei Bitumen in Bezug auf das bodennahe Ozonbildungspotenzial.

## 5 Ergebnisse

Das Tool-Konzept als Excel-Anwendung ist bereits in der Lage korrekte Indikatoren-Ergebnisse zu liefern. So stehen die in Abbildung 5 aufgezeigten Ergebnisse bereits für den groben Aufbau des Gebäudes 49 auf dem ehemaligen Pfaff-Gelände. Erfasst sind hierbei die Bodenplatte, die Fundamente, die mineralische Dämmung sowie die Bausubstanz über Geländeoberkante – nach grober Einschätzung – aufgeteilt in zwei Drittel Beton und ein Drittel Ziegelmasse. Das Ergebnis ist aus energetischen Gesichtspunkten als konservativ zu betrachten, da der KEA und KEV der Ziegelmasse sowohl nach Rohdichte als auch nach Volumen höher als der der Betonmasse liegt.

Im vorliegenden Beispiel ergibt sich ein KEA sowie KEV von rund 35 GWh, davon nur rund 6 % (ca. 2 GWh) als EE. Die THG-Emissionen liegen bei ca. 10.000 t, die Schwefeldioxid-Emissionen bei ca. 12 t. Die Phosphat- und Ethen-Emissionen liegen jeweils beide bei 2 t.

Die aufgewendete bzw. verbrauchte Energie hat damit eine Größenordnung äquivalent zu über 8.000 t Braunkohle oder Brennholz. Die CO<sub>2</sub>e-Emissionen genügen, um innerhalb einer Luftsäule von ca. 12 m eine Fläche von 100 km<sup>2</sup> so sehr zu belasten, dass die max. Arbeitsplatzkonzentration für CO<sub>2</sub> erreicht bzw. überschritten wird. Für Schwefeldioxid gilt selbiges für eine Luftsäule von sogar ca. 46,5 m.

Bezüglich bodennaher Ozonbildung stellt sich die Situation besser dar, hier wird auf einer Fläche von

einem km<sup>2</sup> nur eine Luftsäule von rund 0,2 m so stark angereichert, dass der max. Arbeitsplatzkonzentrationswert erreicht bzw. überschritten wird.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt verfügt die Excel-Anwendung des Tool-Konzeptes über rund 400 Datensätze. Angesteuert werden diese über ein Baumdiagramm, welches auf erster Ebene 17 Auswahlkategorien zur Verfügung stellt. Auf zweiter Ebene sind insgesamt 61 Elemente bzw. Unterkategorien vorhanden. Im Durchschnitt ergibt sich somit für den Auswahlprozess, auf zweiter Ebene, ein überschaubarer Mittelwert von knapp vier Unterkategorien pro Kategorie. Jede Unterkategorie erlaubt im Mittel wiederum den Zugriff auf etwas über sechs Materialdatensätze.

Dargestellt wird jeweils das Gesamtergebnis aus der Verrechnung aller ausgewählter Datensätze und Mengeneingaben für die unter Abschnitt 2 vorgestellten Indikatoren (siehe Abbildung 5).

Die Datenbank ist offen gestaltet und kann beliebig erweitert werden, hier ist jedoch auf Signifikanz zu achten um den Auswahlprozess nicht unnötig durch redundante bzw. nicht benötigte Datensätze zu erschweren.

## 6 Literaturverzeichnis

### 6.1 Monographien

Goedkoop et al. (2013): ReCiPe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition (version 1.08), Report I: Characterisation, Ruimte en Milieu. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag

### 6.2 Online-Quellen

Agrarplus (2019): Heizwerte/-äquivalente. Online unter <https://www.agrarplus.at/heizwerte-aequivalente.html>, AGRAR PLUS Beteiligungsgesellschaft m.b.H., St. Pölten.

BMI (2019): Ökobaudat – Informationsportal nachhaltiges Bauen. Online unter <https://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat.html>, Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, Berlin.

IINAS (2019): Globales Emissions-Model Integrierter Systeme (GEMIS). Online unter <http://iinas.org/gemis-de.html>, Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien, Darmstadt.

Spiegel (2019): Klimawandel – CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre erreicht neuen Höchststand. Online unter <https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/co2-gehalt-der-atmosphaere-erreicht-historischen-hoechststand-a-1267384.html>, DER SPIEGEL GmbH & Co. KG., Hamburg.

UBA (2018): Schwefeldioxid – Grenzwerte. Online unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/schwefeldioxid>, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

UBA/IINAS (2018) Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme ProBas. Online unter <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessliste.php>, Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, Berlin.