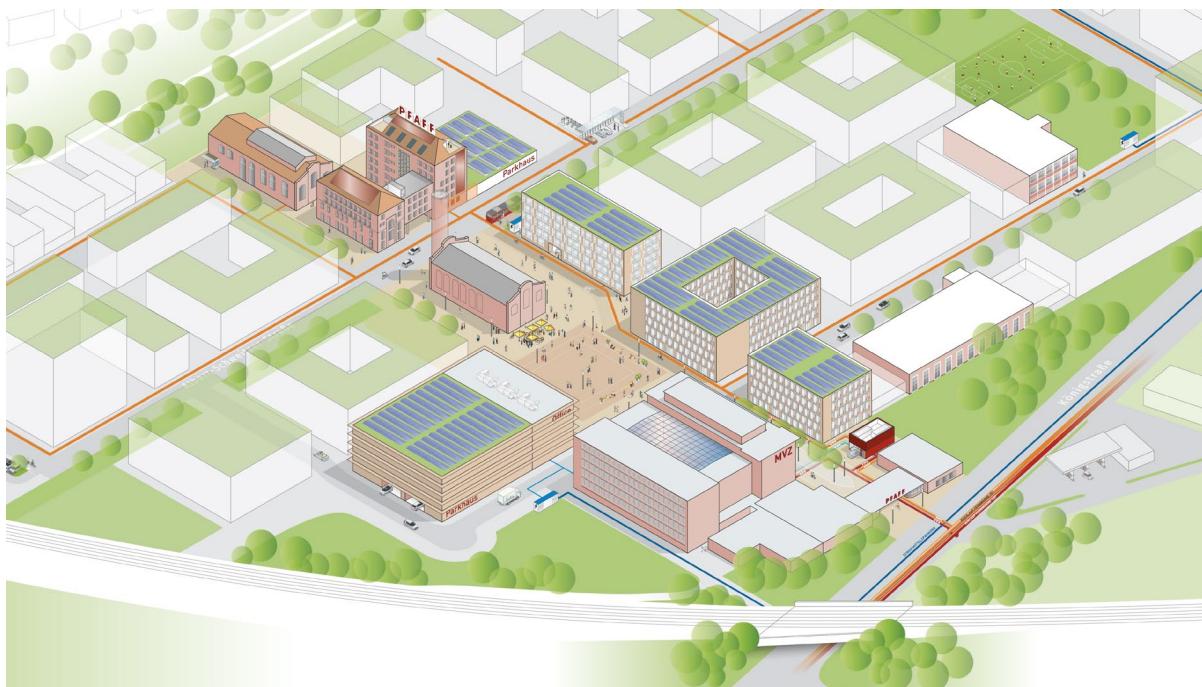


Meilensteinbericht

Meilenstein 2 & 3: Entwicklung des Aufbaus der Materialdatenbank für Gebäude und der damit verbundenen Kalkulationssoftware

AP 2.2.5 LCA, Materialdatenbank

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



< Meilensteinbericht

Meilenstein 2 & 3: Entwicklung des Aufbaus der Materialdatenbank für Gebäude und der damit verbundenen Kalkulationssoftware

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:	August 2021

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:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung, Motivation, Kontext	6
2	Zielsetzung, Aufgabenstellung, wissenschaftliche Fragestellungen.....	7
3	Methodik, Vorgehensweise, Stand der Wissenschaft.....	9
3.1	Analyse der vorhandenen Gebäudeinfrastrukturen auf dem ehemaligen Pfaff-Gelände.....	10
3.2	Modulare Konzept-Entwicklung.....	23
4	Datenerhebung.....	32
5	Ergebnisse.....	37
6	Literaturverzeichnis	39
6.1	Monographien	39
6.2	Online-Quellen.....	39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beziehung zwischen „LCI parameter“ (links), „midpoint indicator“ (mittig) und „endpoint indicator“ (rechts) in ReCiPe 2008	8
Abbildung 2:	Sichtung der durch die Firma Arcadis Germany GmbH bereitgestellten Aktenmaterials zur „Revitalisierung des Pfaffgeländes“ durch das IfaS	10
Abbildung 3:	Oberflächenstrukturschema des Nordost-Flügel (Innenhof) von Geb. 49	16
Abbildung 4:	Dateneingabematrix zur individuellen Bauteilerstellung	27
Abbildung 5:	Auswahl von Beton C 45/55 in der aktuellen Dateneingabe des Anwendungs-Konzeptes	29
Abbildung 6:	Auswahl von MasterTop P660 in der aktuellen Dateneingabe des Anwendungs-Konzeptes	29
Abbildung 7:	Ergebnisbereich des Anwendungs-Konzeptes	31
Abbildung 8:	Legende der Kürzel für verschiedene Wertschöpfungs- bzw. Lebenszyklusstufen im Ökobaudat	35
Abbildung 9:	Relevante Datensätze aus der GEMIS-Datenbank	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ausschnitt aus den digitalisierten Gebäudedaten der Arcadis.....	12
Tabelle 2:	Ausschnitt aus den digitalisierten Daten der Bohrkernproben	14
Tabelle 3:	Ausschnitt aus der Materialiste bezüglich Bohrkernproben (linker Bereich) & Originäre Materialien aus den Bohrkernproben inklusive Rohdichten (rechter Bereich).....	15
Tabelle 4:	Anteil der einzelnen Fassadenstrukturen an der Summe der Fassadenstrukturen	
	des Gebäudes 49	18
Tabelle 5:	Bestimmung der einfachen Mittelwerte der Wandstärken (innen und außen).....	
	für Gebäude 49	19
Tabelle 6:	Verhältnis (Längen- und Stärkenbezug) zwischen Außen- & Innenwand.....	19
Tabelle 7:	Volumen- und Masse-Profil für die Wandaufbauten des Geb. 49	20
Tabelle 8:	Energieverbrauchs-Profil für die Wandaufbauten des Geb. 49	21
Tabelle 9:	Aufsummierung der Einbau- und Deponieklassen-Mengen nach Bausubstanz.....	21
Tabelle 10:	Allokation von Ökobaudat-Datensätzen zu den identifizierten (Haupt-)Baustoffen.....	22
Tabelle 11:	Abschätzung zur aufgewendeten Energie bei der Herstellung der Gesamt-Bausubstanz des Pfaff-Geländes	23
Tabelle 12:	Dateneingabe im Gebäudeaufbau-Modul (AP 2.2.5.3)	24
Tabelle 13:	Berechnungsmatrizen für Außenwand- und Dachfläche	25
Tabelle 14:	Zuordnung von Baubook-Bauteilen im Gebäudeaufbau-Modul (AP 2.2.5.3).....	26
Tabelle 15:	Speicher- und Anzegebereich des Anwendungs-Konzeptes	30
Tabelle 16:	Ergebnisse zu Positionen im Speicher- und Anzegebereich.....	30

1 Einleitung, Motivation, Kontext

Bis vor wenigen Jahren bezogen sich Untersuchungen im Bereich des Gebäude- bzw. Quartiersenergiebedarfs im Wesentlichen auf die energetischen Bedarfe bzw. Verbräuche während der Nutzungs- und Betriebsphase, nicht jedoch auf die gesamtökologischen Auswirkungen während des gesamten Quartiers- oder Gebäude-Lebenszyklus. Ein sehr 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, die gesamte über den Gebäudelebenszyklus aufgewendete bzw. verbrauchte Energie 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 dürfen v.a. der nicht erneuerbare KEA und KEV von Bedeutung sein.

KEA und KEV lassen sich zudem durch die energetischen Größen PENRT, PERT, PENRM und PERM ausdrücken.¹ Die PENRT ist hierbei im Wesentlichen kongruent zum KEA _{nicht-erneuerbar}, die PERT dagegen zum KEA _{erneuerbar}. Der KEA kann hierbei demnach durch die Addition von PENRT und PERT ausgedrückt werden. Um vom KEA zum KEV zu gelangen, muss lediglich die in der Materie befindliche Energie, ausgedrückt durch PENRM und PERM, subtrahiert werden.

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.

¹ PENRT: Primary Energy Non-Renewable Total

PERT: Primary Energy Renewable Total

PENRM: Primary Energy Non-Renewable Material

PERM: Primary Energy Renewable Material

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 Nimwegen, dem Institute of Environmental Sciences CML in Leiden sowie der Firma PRé Sustainability aus Amersfoort entstanden ist.

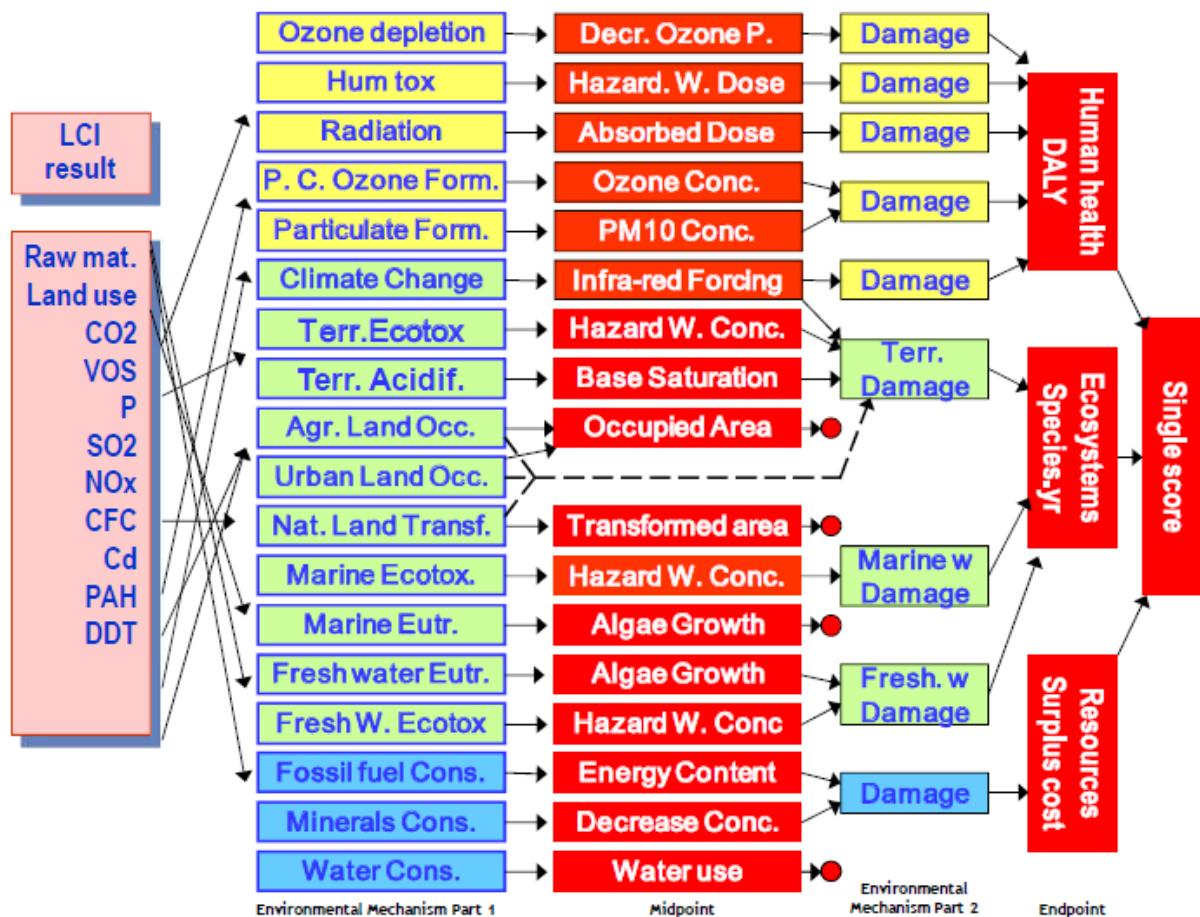


Abbildung 1: Beziehung zwischen „LCI parameter“ (links), „midpoint indicator“ (mittig) und „endpoint indicator“ (rechts) in ReCiPe 2008²

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.

² Vgl. Goedkoop et al. (2013), p. 3.

Am Ende wird die Möglichkeit der Zusammenführung in einen einzigen „Score“ in Aussicht gestellt, wobei dieser letzte Schritt – aufgrund der nötigen Gewichtung der Kategorien – recht 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 EnStadt:Pfaff lediglich eine überschaubare Auswahl an Umweltindikatoren übernommen. Insgesamt werden jeweils zwei energetische Kennzahlen in jeweils zwei Ausprägungen (KEA erneuerbar, KEA nicht erneuerbar, KEV erneuerbar, KEV nicht erneuerbar) und fünf Umweltindikatoren im Ergebnis abgebildet.

Die ausgewählten Umweltindikatoren orientieren sich einerseits an der Popularität bzw. Bekanntheit entsprechender Umweltauswirkung, anderseits 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 wiederfindet. Dieser wird anhand der THG-Emissionen in CO₂-äqu. dargestellt und ist der Kategorie Menschliche Gesundheit zuzuordnen. Desweitern werden das bodennahe Ozonbildungspotenzial in C₂H₂-äqu. und das Ozonabbaupotenzial in CCl₃F-äqu., welche ebenfalls beide der Kategorie Menschliche Gesundheit entsprechen, sowie das Versauerungspotenzial in SO₂-äqu. und das Eutrophierungspotenzial in PO₄-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. In diesem Zusammenhang erfolgten vorab auch eine erste Einschätzung und Analyse der Umweltauswirkungen, welche beim Bau der für die Revitalisierungs- und Sanierungsmaßnahmen im Quartier auf dem ehemaligen Pfaff-Gelände vorgesehenen Gebäude, verursacht wurden – zumindest sofern geeignete Daten dazu eruiert werden konnten.

Bei der zweiten Zweckbestimmung handelt es sich um die Reflexion des Konzept-Entwicklungs-Prozesses im Sinne einer besseren Anwenderfreundlichkeit. Im Wesentlichen wurden hierbei zwei bis dahin erstellte – sich ergänzende – Konzepte zur Diskussion gestellt.

Ein erstes Konzept-Modul spiegelte hierbei die Leistung für das AP 2.2.5.3 (Berücksichtigung verschiedener Gebäudekonstruktionsoptionen) wider. Dabei handelt es sich um die Ebene der Erfassung der Gebäudeausmaße bzw. Kubatur, oder genauer, der Oberflächenausmaße der Kubatur. Dieses Modul ermöglicht eine verhältnismäßig rasche und anwenderfreundliche Oberflächenberechnung für ganze Gebäude-Bauteile (Böden, Wände, Decken, Dächer).

Ein zweites Konzept-Modul welches auf Teile des Datenmaterials der Datenbänke von GEMIS, Probas und v.a. Ökobaudat zurückgreift, ermöglichte zudem den Zugriff auf über 1.000 Baustoffe und die Zusammensetzung von Gebäudeteil-Schichtaufbauten daraus. Dieses Modul spiegelte im Wesentlichen die Leistung für das AP 2.2.5.2 (Konzeption Baustoff-Materialdatenbank) wider.

Beide Konzepte-Module werden im weiteren Verlauf dieses Berichts vorgestellt. Zunächst soll jedoch die Analyse, zu der bestehenden Gebäudeinfrastruktur auf dem Pfaff-Gelände thematisiert werden.

3.1 Analyse der vorhandenen Gebäudeinfrastrukturen auf dem ehemaligen Pfaff-Gelände

Zur Analyse der vorhandenen Gebäudeinfrastruktur wurden zunächst Dokumente, welche von der Firma Arcadis Germany GmbH erstellt wurden, genutzt. Diese war in den Jahren vor Projektbeginn von EnStadt:Pfaff u. a. damit beauftragt die Feststellung der Umweltlasten beim Rückbau des Geländes zu erbringen. Diesbezüglich steht umfangreiches Ordner- und Aktenmaterial zur Verfügung, welches gesichtet und analysiert wurde.



Abbildung 2: Sichtung der durch die Firma Arcadis Germany GmbH bereitgestellten Aktenmaterials zur „Revitalisierung des Pfaffgeländes“ durch das IfaS

Die einschlägigen zur Ermittlung der Umweltauswirkungen geeigneten Daten wurden im Nachgang digitalisiert festgehalten und für weitere Arbeiten herangezogen. Im Wesentlichen handelte es sich dabei um Aufschlüsselungen zu Gebäudedaten wie z. B.:

- Grundfläche in m²
- Anzahl der Stockwerke
- Brutto-Gesamt-Fläche (BGF) in m²
- Höhe der Gebäude in m
- Oberkante Bodenplatte (Keller) in m
- Unterkante Fundament unter Oberkante Bodenplatte in m
- Umbauter Raum über Geländeoberkante in m³
- Umbauter Raum unter Geländeoberkante in m³
- Kellervolumen in m³
- Bodenplatte (Stärke/Dicke) in m
- Geschossdecke über Geländeoberkante in m
- Wandvolumen über Geländeoberkante in m³
- Wandvolumen unter Geländeoberkante in m³
- Wandfläche Nachbargebäude (Breite) in m²
- Wandfläche Straße (Länge) in m²
- Fundament in m²

Zusätzlich wurden Materialdaten zu den folgenden Materialgruppen festgehalten:

- Asbest- bzw. asbestzementhaltige Materialien
- Materialien aus dem Bereich künstliche Mineralfasern
- Materialien, welche polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten
- Materialien, welche polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) enthalten
- Anlagentechnik
- Beton und Ziegel über Geländeoberkante (GOK)
- Bims über Geländeoberkante (GOK)
- Stahlanteile zur Rückvergütung über Geländeoberkante (GOK)
- Abbruch-Masse unter Bodenkante und Keller

Die folgende Tabelle 1 zeigt diesbezüglich einen Daten-Ausschnitt der Datei, welche auf Grundlage der Berichte von Arcadis erstellt werden konnte.

Tabelle 1: Ausschnitt aus den digitalisierten Gebäudedaten der Arcadis

G.-Nr.	Beschreibung	Einheit	Teilfläche	HelpSUM	DIFF	BA6-1	BA3a-2	BA2-2	BA2-1	BA1-2	BA3b-5	BA3b-3	BA4b-1	BA4b-3	BA6-3	BA3a-3	BA2-3	BA3b-5	BA3b-4	BA3b-3	BA3b-5	BA1-1
			Gesamt	44	45	46	47	48-1	48-2	49	52	53	55	57	60	61	62	63	64	65	66	
Gebäudedaten																						
Grundfläche	m ²	84.261	3.321	2.140	2.150	2.633	1.347	462	2.760	34	490	143	280	195	395	1.034	3.270	377	1.590	160		
Stockwerke	Anz	1	1	1	1	4	2	2	1	6	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1	
Brunto-Gesamt-Fläche (BGF)	m ²	144.831	54	3.321	2.140	8.600	5.266	2.594	462	16.560	34	490	286	560	195	895	2.068	3.270	754	1.590	160	
Höhe	m		6	6	16	8	6	6	20	3	6	9	6	4	5	7	8	6	6	6		
OK Bodenplatte (Keller)	m		0	0	3	3	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	3	1	0	2		
UK Fundament unter OK Bodenplatte	m		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Umbauter Raum über GOK	m ³	672.843	2	21.254	11.984	34.400	20.537	7.813	2.880	54.924	109	2.793	1.320	1.568	722	4.554	7.238	26.814	2.413	9.540	960	
Umbauter Raum unter GOK	m ³	184.975	102	3.321	2.140	7.525	11.059	5.119	462	6.348	34	490	143	588	195	895	1.034	11.445	735	1.590	512	
Kellervolumen	m ³	100.714	2	0	0	5.375	8.426	3.772	0	3.588	0	0	0	308	0	0	0	8.175	358	0	352	
Bodenplatte	m	24	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		
Geschossdecke über GOK	m	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Wandvolumen u. GOK	m ³	25.413	391	368	402	502	208	208	1.534	34	223	190	233	151	440	436	476	0	532	98		
Wandvolumen u. GOK	m ³	6.097	0.0	0.0	311.7	454.9	403.9	154.0	332.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	212.4	376.7	183.3	0.0	
Wandfläche Nachbargeb. (Breite)	m ²	803	60.1	50.6	0.0	0.0	20.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.2	0.0	15.0	20.0	0.0	0.0	15.0	0.0	
Wandfläche Straße (Länge)	m ²	1.501	55.2	42.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.4	50.0	0.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	
Fundament	m ²	18.436	433.1	299.4	333.8	472.6	419.7	0.0	345.4	37.1	189.3	73.6	120.3	89.8	304.6	220.6	391.4	190.4	372.6	90.4		
Abbruch über GOK, Sanierung Entkernung komplett																						
2 Sanierung																						
2.1 Asbest (inkl. Entsorgung)																						
AZ-Platten Fassadenverkleidung, Trennwände etc.)	m ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ-Trennwände	m ²	492	0	0	135	1	0	0	0	0	136	0	0	0	0	11	0	0	0	36	0	
AZ-Dachplatten	m ²	10.819	3.400	153	0	0	0	0	0	0	500	243	0	0	0	0	0	188	0	1.700	0	
AZ-Fensterbänke	m ²	52	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AZ-Faltröhre, -Lüftungskanäle vermauert	Ifdm	90	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	
AZ-Faltröhre, - Lüftungskanäle	Ifdm	176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
A-Girrbahnisolierungen	Ifdm	1.140	0	0	0	0	0	65	0	0	0	0	0	100	0	0	0	70	0	0	0	
A-Floorflexplatten & Kleber	m ²	8.602	8.602	0	0	0	0	0	1.056	4.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
A-Estrich	m ²	11.130	0	0	0	0	0	0	0	750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
A-Pappen	stk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
A-Dichtschnüre	stk	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
A-Fugenabdichtungen, z.B. (Lithaflex)	Ifdm	101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
A-Heizlichungen (Stk. Dichtung)	stk	40.680	0	160	4.240	800	2.000	2.000	12.160	0	680	80	0	0	0	0	1.040	200	160	0	0	
A-Heizlichungen (Stk. Heizkörper)	stk	1.017	0	4	106	20	50	50	304	0	17	2	0	0	0	0	26	5	4	0	0	
A-Kitt Drahtgitterglas	m ²	3.889	3.889	0	90	10	0	76	0	8	65	0	0	0	0	105	0	550	22	540	0	
A-Dichtungen	stk	7.124	7.104	-20	120	160	0	600	80	460	75	40	0	0	0	96	0	210	70	120	40	
A-Brandabschutztüren, - klappen	stk	1.099	1.099	28	30	41	35	8	8	71	4	12	6	0	0	11	0	77	0	47	8	

Hierbei sind die grundlegenden Gebäudedaten und der erste Teil der asbesthaltigen Elemente (33 Positionen von Zeile 6 bis Zeile 42) von Gebäude 44 bis Gebäude 66 zu erkennen. Die komplette Matrix erstreckt sich über 93 Gebäude- und 121 angelegte Material-Positionen bis in Zeile 142, wobei nicht für jedes Gebäude und jede Material-Position Werte erfasst wurden. Für einzelne Gebäude fehlen Werte sogar gänzlich.

Weitere Daten konnten in Form von Bohrkernproben erfasst werden. Diesbezüglich liegen Werte und Eigenschaften zu insgesamt 608 Proben aus 48 von 93 Gebäuden vor. Die Proben umfassen hierbei bis zu 15 verschiedene Materialschichten mit Schichtstärken zwischen 1 mm und 1.150 mm. Die nächste Tabelle 2 zeigt diesbezüglich die Daten (Material und Schichtstärke) zu den ersten fünf Schichten der Proben aus den Gebäuden 48, 49, 52 & 53.

Tabelle 2: Ausschnitt aus den digitalisierten Daten der Bohrkernproben

	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3	Schicht 4	Schicht 5
	Stärke in mm				
5	40	5	40	90	90
25	80				
15	105				
7	258				
5	405				
5	5	10	125	5	
30	380				
15	120	20	5		
15	380				
2	388				
5	35	70	170	10	
15	365				
3	25	82	5	145	
10	40	70	40	50	
1	319				
10	280	10			
15	90	2			
420					
5	35	15	65		
3	30	97			
15	115	15	15		
10	330	160			
10	10	65	35		
10	25	85			
5	90	5	50		
20	110	20			
19	1	61	19		
4	36	180			
10	40	70			
5	25	236	20	44	
15	168	15	10	2	
5	30	115			
30	40	10	170		
30	60	20	80	120	
15	65				
20	260	20			
160					
365					
5	2	1		132	
30	150				
10	250	10			
20	130	120	10		
20	130				
25	245				
5	45				
5	25				

Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3	Schicht 4	Schicht 5
		Material		
Bitumen	Syropor	Blumen	Bimsstein	Hohlräum
Bitumen	Beton/Gas			
Bitumen	Bimsstein			
Ziegelstein				
Ziegelstein				
Ziegelstein	Ausgleichsdicke	Holz	Beton	Blumen
Holz				
Ziegelstein mit Schlackeanteil				
Ziegelstein	Putz			
Beton				
Ziegelstein				
Estrich				
Putz	Estrich	Beton	Bimsstein	Putz
PVC				
Putz	Ziegelstein	Beton	PAK	Beton
PVC	Estrich	Beton	Bimsstein	Hohlräum
Putz	Bimsstein	Hohlräum		
Tapete	Beton	Beton	Putz	
Putz	Bimsstein	Dachpappe		
Estrich	Beton	Beton		
Beton				
Teppich	Estrich	Estrich	Beton	
Beschichtung (PUC?)		Beton		
Putz		Putz		
Putz		Beton	Ziegelstein, Mörtel	
Teppich	Estrich	Beton	Beton (Kernverlust)	
Teppich	Estrich	Beton		
Fliese	Estrich	Terrapappe	Beton	
Putz	Bimsstein mit Hohlräumen	Putz		
Presspanplatte	Metall	KMF		
Beleg	Estrich	Beton		
Teppich	Estrich	Beton		
Fliese	Putz	Bimsstein mit Hohlräumen	Putz	
Putz		Beton	Mörtel	
Belag	Asphalt	Rigips		
Dachisolation/Teerbahnen	Dämmsschaum			
Dachisolation/Teerbahnen	Syropor			
Beschichtung	Beton	Dachisolation/Teerbahnen	Beton	
Putz	Bimsstein mit Hohlräumen	Dachisolation/Teerbahnen	Hohlräum	Beton
Beton				
Kalksandstein				
Dachpappe	Metall	Dachpappe	Beton	
Estrich				
Putz	Beton		Putz	
Putz	Ziegelmauerwerk		Ziegelmauerwerk	
Beschichtung	Sandstein + Mörtel			
Putz	Beton			
Estrich	Ziegelmauerwerk			
Putz	AZ-Platte			
AZ-Platte				
AZ-Platte				
				Holzfaserplatte
				Unterholz
				Hohlräum

EZN	gebäude Inr.	KBNr.	▼	kernebohrungstyp
48	1			Dach
48	2			Dach
48	3			Dach
48	4			Wand
48	5			Wand
48	6			Boden
48	7			Wand
48	8			Wand
48	9			Boden
48	10			Wand
48	11			Boden
48	12			Wand
48	13			Boden
48	14			Wand
48	15			Wand
48	16			Wand
49	1			Boden
49	2			Wand
49	3			Boden
49	4			Boden
49	5			Wand
49	6			Wand
49	7			Boden
49	8			Boden
49	9			Boden
49	10			Wand
49	11			Wand
49	12			Boden
49	13			Boden
49	14			Wand
49	15			Wand
49	16			Boden
49	17			Dach
49	18			Dach
49	19			Boden
49	20			Wand
52	1			Boden
52	2			Wand
52	3			Decke
53	1			Boden
53	2			Wand
53	3			Wand
53	4			Boden
53	5			Wand
53	6			Dach
53	7			Dach

Insgesamt wurden 169 unterschiedliche Materialbezeichnungen identifiziert, welche 49 originären Materialkategorien zugeordnet werden konnten. Die folgende Tabelle 3 zeigt hierbei die ersten 49 Materialbezeichnungen mit der zugeordneten Materialkategorie (linker Bereich) und Rohdichte sowie die 49 Materialkategorien inklusive Rohdichten (rechter Bereich).

Tabelle 3: Ausschnitt aus der Materialliste bezüglich Bohrkernproben (linker Bereich) & Originäre Materialien aus den Bohrkernproben inklusive Rohdichten (rechter Bereich)

Materialliste	zugeordnete Materialkategorie	Rohdichte in t/m³	Materialkategorien (Liste)	Rohdichte in t/m³
Fliese	Fliese	2,5	Asbestzement	1,6
AZ-Platte	Asbestzement	1,6	Aluminium	2,7
Beschichtung	Zement	1,8	Asbestfaser	0,3
Beton	Beton	2,6	Asbestkleber	2
Beton (fein, Zement?)	Beton	2,6	Asphalt	2,35
Beton (Fertigbauteil?)	Beton	2,6	Beton	2,6
Beton mit Armierung (Abbruch nach 1,23 m / techn. Endtiefe erreicht)	Beton	2,6	Bimsstein	1,8
Bimsstein	Bimsstein	1,8	Bitumen	1,1
Bitumenpappe	Bitumen	1,1	Eisen	7,85
Blech	Stahl	7,85	EPS	0,035
Blech (Kernverlust, nicht zu bergen)	Stahl	7,85	Estrich	2,1
Bodenbelag (PVC?), Kleber	PVC	1,4	Faserzementplatte	2
Bodenbeschichtung	Zement	1,2	Flexplatte	1,5
Bruchsandstein	Sandstein	2,6	Fliese	2,5
Dachisolierung/Teerbahnen	Bitumen	1,1	Fliesenkleber	1,65
Dachpappe	Bitumen	1,1	Gummi	1,2855
Dämmwolle	Mineralwolle	0,2	Holzfaser	0,06
Estrich	Estrich	2,1	Holzfaserplatte	0,17
Estrich (Oberfläche vedreckt)	Estrich	2,1	Holzwolleplatte	0,36
Estrich (rot)	Estrich	2,1	Kalksandstein	2
Estrich, Beton	Estrich	2,1	Keramik	2,7
Farbelag	Wandfarbe	1,8	Kork	1,1
Flexplatte, Kleber	Flexplatte	1,5	Kupfer	8,94
Fliese, Kleber	Fliese	2,5	Mineralwolle	0,2
Fliesenkleber	Fliesenkleber	1,65	PAK	1,3
Gummi mit Metall	Gummi	1,2855	PP	0,035
Gußasphalt	Asphalt	2,35	Pressspan	0,7
Hartschaum	EPS	0,035	PU-Schaum	0,2
Hohlrbaum		0	Putz/Mörtel	1,5
Holz	Vollholz	0,65	PVC	1,4
Holzfaserplatte	Holzfaserplatte	0,17	Rauputz	2
Kachel	Fliese	2	Rigips	1,6
KMF	Mineralwolle	0,1	Sandstein	2,6
Mörtel	Putz/Mörtel	1,5	Schlacke	2,8
Putz	Putz/Mörtel	1,5	Schotter	2,7
Putz (Farbanhaftung auf Unterseite)	Putz/Mörtel	1,5	sonst. Steine	2,6
Rigips	Rigips	1,6	Spanplatte	0,7
Sandstein	Sandstein	2,6	Stahl	7,85
Sandstein (ab 240 mm zerbröseln)	Sandstein	2,6	Stein	1,9
Sandstein (teilweise während Bohrvorgang ausgespült)	Sandstein	2,6	Stroh	0,08
Sandstein, Schlacke	Sandstein	2,6	Styropor	0,3
Steinfiese	Fliese	2	Tapete	0,1
Styropor	Styropor	0,3	Teppich	0,15
Teerpappe	Bitumen	1,1	Vollholz	0,65
Ziegel	Ziegelmauer	1,8	Wandfarbe	1,8
Ziegel, Mörtel	Ziegelmauer	1,8	Ytong	0,8
Ziegelmauerwerk	Ziegelmauer	1,8	Zellstoff	0,145
Ziegelmauerwerk (teilw. zerbröseln)	Ziegelmauer	1,8	Zement	1,8
Ziegelstein	Ziegelmauer	1,8	Ziegelmauer	1,8

Die Bohrkernproben stellen jedoch für sich genommen nur punktuelle Messproben dar und geben noch keinen Aufschluss über das Ausmaß der Flächigkeit oder gar der Kubatur des Materialbestandes.

Um z. B., dass als MVZ geplante Gebäude 49 genauer zu untersuchen wurden daher aus vorhandenen Gebäudeplänen zum entsprechenden Gebäude 49 verschiedene Bemaßungen entnommen und die Art der Oberflächenmaterialbeschaffenheit anhand von Bildaufnahmen bestimmt.

Auf Grundlage dieser Daten konnten Fassaden-Pläne erstellt werden, welche wiederum eine flächige Einteilung der Oberfläche in Baumaterialien ermöglichen.

Die nächste Abbildung 3 zeigt in Bezug auf das genannte Vorgehen beispielhaft die Abbildung eines Fassadenteils, genauer, die Fassadenstruktur des Innenhofs des Nordost-Flügels (NO-Flügel Innenhof) des Gebäudes 49.

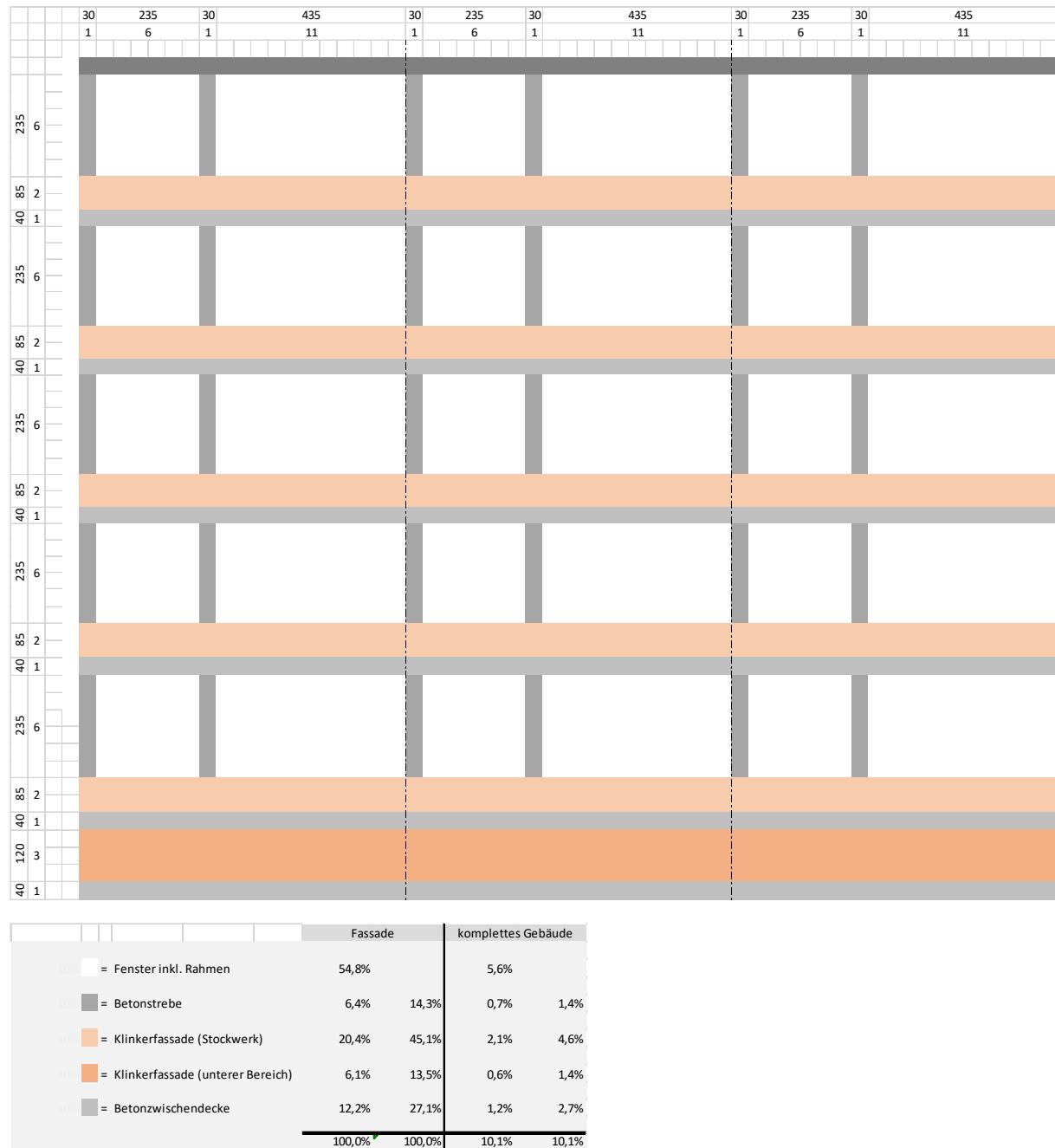


Abbildung 3: Oberflächenstrukturschema des Nordost-Flügel (Innenhof) von Geb. 49

Die Fassadenstruktur wurde hierbei grob in die an der Oberfläche sichtbaren Materialien „Betonstrebe“, „Betonzwischendecke“, „Klinkerfassade (Stockwerk)“, „Klinkerfassade (unterer Bereich)“ und „Fenster inkl. Rahmen“ unterteilt.

Durch die Zuordnung der Materialien zur Bemaßung war es möglich deren Oberflächen-Ausmaße sowohl absolut als auch relativ zu bestimmen.

Im unteren Teil der Abbildung 3 sind diesbezüglich die sich ergebenden relativen Flächenanteile der Oberflächenmaterialien wiedergegeben. Die Werte links innerhalb der umgekehrten T-Übersicht, mit der Überschrift „Fassade“, beziehen sich hierbei direkt auf die abgebildete Fassadenstruktur.

Die Werte rechts davon, mit dem Titel „komplettes Gebäude“, beziehen sich auf den Anteil, welcher von der Fassadenstruktur an der Summe der Fassadenstrukturen des Gebäudes eingenommen wird. Der Anteil der Fassadenstruktur des „NO-Flügel Innenhof“ an der Summe der Fassadenstrukturen des Gebäudes liegt im vorliegenden Fall bei etwa 10,1%.

Beide Teile der Übersicht liegen einmal in Summe mit „Fenster inkl. Rahmen“ (links) und einmal ohne (rechts) vor. Die Abstraktion macht hierbei insofern Sinn, da die von Fenstern bedeckten Oberflächen in aller Regel, aus Sicht des Schichtaufbaus, keine sich stark voneinander unterscheidenden Lagen oder Schichten aufweisen. Daneben nehmen Fensterflächen für gewöhnlich pro Flächeneinheit auch weit weniger Masse und Volumen ein.

Das Gebäude 49 lässt sich zudem anhand der aufgezeigten Vorgehensweise wie folgt in zehn unterschiedliche Fassadenstrukturen unterteilen.

Tabelle 4: Anteil der einzelnen Fassadenstrukturen an der Summe der Fassadenstrukturen des Gebäudes 49

Fassadenstruktur-Zuordnung (Geb. 49)	Nr.	in m	rel.
NO-Flügel Innenhof	1	33,4	10,1%
NO-Flügel Außenfassade	2	44,98	13,7%
NO-Flügel Eingangsturm	8	6,52	2,0%
SW-Flügel Innenhof	2	33,4	10,1%
SW-Flügel Außenfassade	3	53,5	16,3%
NW-Flügel Innenhof	4	20,04	6,1%
NW-Flügel Außenfassade Links	6	17,26	5,2%
NW-Flügel Außenfassade Mitte	4	20,13	6,1%
NW-Flügel Außenfassade Rechts	7	17,26	5,2%
SO-Flügel Innenhof	5	20,14	6,1%
SO-Flügel Außenfassade Links	9	21,51	6,5%
SO-Flügel Außenfassade Mitte	5	19,47	5,9%
SO-Flügel Außenfassade Rechts	10	21,51	6,5%
			100%

Auch wenn diese Art der Analyse eine genaue Allokation von Bohrkernen zu Flächen- und Schichtbestandteilen noch nicht direkt ermöglichte, so konnte wenigstens der Unsicherheitsfaktor für die Massenbestimmung, welche im Vorfeld zu den maßgeblichen Betrachtungen im AP notwendig ist, reduziert werden.

Zudem konnte ein einfaches Verfahren zur Bestimmung der Wandvolumen abgeleitet werden.

Hierbei wurden im ersten Schritt die Längen der Wände (innen und außen) aus den Gebäudeplänen entnommen bzw. die Gesamtlängen anhand der Bemaßungen berechnet. Im zweiten Schritt waren die sich ergebenden Wandstärken aus den Bohrkernproben von Belang. Im Falle des Gebäudes 49 waren Daten aus drei Proben für Außenwände und fünf Proben für Innenwände verfügbar. Hier wurden aufgrund der dürftigen Datenlage schlicht die einfachen Mittelwerte der Wandstärken bestimmt (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Bestimmung der einfachen Mittelwerte der Wandstärken (innen und außen) für Gebäude 49

Aussenwand		KB-Nr.	Typ	EZM	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Σ	Gew.		
Schicht (Materialart)					in mm (Schichtdicke)											rel.		
49 2	Wand	492	Beton							420					420			
49 6	Wand	496	Putz/Mörtel	Beton	Ziegelmauer					10	330	160			500			
49 14	Wand	4914	Fliese	Putz/Mörtel	Bimsstein	Putz/Mörtel	Ziegelmauer			5	25	236	20	44	330			
															Ø	417 65%		
Innenwand																		
KB-Nr.	Typ	EZM	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Gew.
			Schicht (Materialart)					in mm (Schichtdicke)										rel.
49 5	Wand	495	Putz/Mörtel	Bimsstein	Putz/Mörtel	Zellstoff				15	115	15	15		160			
49 10	Wand	4910	Putz/Mörtel	Bimsstein	Putz/Mörtel					20	110	20			150			
49 11	Wand	4911	Pressspan	Stahl	Mineralwolle	Pressspan				19	1	61	19		100			
49 15	Wand	4915	Putz/Mörtel	Bimsstein	Putz/Mörtel	Rigips	Wandfarbe			15	168	15	10	2	210			
49 20	Wand	4920	Putz/Mörtel	Bimsstein	Putz/Mörtel					20	260	20			300			
52 2	Wand	522	Kalksandstein							365					44	409		
															Ø	222 35%		

Diese Mittelwerte wurden in einem weiteren Schritt den entsprechenden Wandlängen zugeordnet um ein ungefähres Verhältnis von Außenwand- zu Innenwand-Volumen bestimmen zu können. Am Beispiel des Geb. 49 konnte so ein ungefähres Verhältnis der Wandvolumen von Innen- und Außenwänden von 1 zu 2 bzw. 1/3 zu 2/3 festgestellt werden (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Verhältnis (Längen- und Stärkenbezug) zwischen Außen- & Innenwand

	Länge	d in mm	Vol.-Gew.
Aussenwand	329	417	68,5%
Innenwand	285	222	31,5%

Auf Grundlage der in den Bohrkernproben festgestellten Materialien und zugehörigen Schichtstärken wurde zudem ein Profil für die Wandaufbauten des Geb. 49 erstellt (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Volumen- und Masse-Profil für die Wandaufbauten des Geb. 49

Geb. 49 - Wände (gesamt)			
Material	Volumenaufteilung	in m ³	in t
Beton	41,1%	766,8	1.840,2
Bimsstein	28,5%	532,2	958,0
Fliese	0,3%	5,112	12,78
Kalksandstein	8,7%	162,6	325,2
Mineralwolle	1,5%	27,18	5,436
Pressspan	1,8%	33,86	23,70
Putz/Mörtel	6,4%	118,6	177,9
Rigips	0,2%	4,455	7,129
Stahl	0,0%	0,446	3,497
Zellstoff	0,4%	6,683	0,969
Ziegelmauer	11,2%	208,6	375,4
	100,0%	1.867	3.730
+ Bodenplatte (Beton)	+ 71,0%	1.104	2.650
+ Fundament (Beton)	+ 22,2%	345,4	829
Σ	193,3%	3.316	7.209

Über 95 % des betrachteten Volumens konnten hierbei den Materialien Beton, Bimsstein, Kalksandstein, Putz/Mörtel und Ziegel zugerechnet werden. Dabei handelt es sich um fast 99% der Masse des Betrachtungsvolumens. Tabelle 7 zeigt darüber hinaus Volumen und Massen für Bodenplatte und Fundamente, welche für sich allein genommen fast genauso viel Rauminhalt und Gewicht wie die überirdische Bausubstanz einnehmen.

Die folgende Tabelle 8 greift den Arbeiten an der Materialdatenbank etwas voraus und beleuchtet den Energieverbrauch im Zusammenhang mit der Errichtung des Gebäudes 49.

Hierzu wurden den Materialien, welche anhand der Bohrkernproben ermittelt wurden, verschiedene Datensätze aus der Ökobaudat zugeordnet und daraus der „Kumulierte Energieaufwand“ (KEA) ermittelt. Die Angaben für den „Kumulierten Energieverbrauch“ (KEV) sind in diesem Fall identisch. Das Ergebnis lautet damit sowohl für den KEA als auf für den KEV jeweils ca. 2,2 GWh. Die genauere Analyse der Datensätze zeigt zudem, dass sich etwa 16 % davon erneuerbaren Energie-Quellen zurechnen lassen.

Tabelle 8: Energieverbrauchs-Profil für die Wandaufbauten des Geb. 49

Geb. 49 - Wände (gesamt)		
Material	Datensätze (Ökobaudat)	KEA in MWh
Beton	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	316,5
Bimsstein	Blähton LB Hohlblockstein Trennwand	444,1
Fliese	Steinzeugfliesen glasiert (Dicke 0,01 m)	16,1
Kalksandstein	Kalksandstein Mix	127,6
Mineralwolle	Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	19,4
Pressspan	Oriented Strand Board (Durchschnitt DE)	100,7
Putz/Mörtel	Zementmörtel	65,6
Rigips	Gipskartonplatte (Feuerschutz)(Dicke 0,0125 m)	4,8
Stahl	Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche	12,7
Zellstoff	Zellulosefaser Einblas-Dämmstoff	1,7
Ziegelmauer	Vormauerziegel	524,9
		Zwischen- Σ
+ Bodenplatte	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	455,7
+ Fundament	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	142,6
		Σ
		2.232

Für den Gesamtgebäudebestand auf dem ehemaligen Pfaff-Gelände wurde ebenso eine Hochrechnung erstellt. Aufgrund von Datenlücken und der Tatsache, dass sowohl die tatsächlichen Materialien als auch die sich daraus ergebenden Massen anhand der Verschneidung von Gebäudebestands- und Bohrkerndaten nicht zweifelsfrei bestimmt werden können, kam hierbei ein grobes Verfahren zum Einsatz. Hierbei wurden die durch die Firma Arcadis Germany GmbH in der Zuordnung zu Einbau- und Deponieklassen (Z 1.1, Z 1.2, Z 2, DK 0, DK I, DK II, DK III) nach Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) festgehaltenen Mengen an (Haupt-)Baustoffen (Beton, Ziegel, Bims und Stahl) aufsummiert (siehe Tabelle 9) und anschließend allokiert.

Tabelle 9: Aufsummierung der Einbau- und Deponieklassen-Mengen nach Bausubstanz

Baustoff	Massen- Σ in t
Beton/Ziegel	71.087
Bims	10.755
Stahl	4.176

Eine genaue Abgrenzung von Ziegel und Beton war aufgrund der Art der Dokumentation nicht möglich. Da jedoch die Mauerziegelherstellung massebezogen mehr Energie benötigt als die Betonherstellung, findet hier die Darstellung eines Min.-/Max.-Szenarios Anwendung. Für die Min.-Variante wird diesbezüglich mit einem nahezu vollständigen Beton- und für die Max.-Variante mit einem nahezu vollständigen Mauerziegel-Aufbau gerechnet.

Bezogen auf das Mauerziegelvolumen wird ein Anteil von ca. 16 % an Mörtel angenommen. Dies entspricht der Verwendung einer 10 mm starken Mörtelschicht für NF-Steine mit den Draufsicht-Maßen 240 mm x 71 mm. Bei einer Rohdichte des hierbei Verwendung findenden Mörtels von 2,0 m³/t und der Ziegel von 1,8 m³/t ergibt sich damit eine Masseaufteilung in rund 83 % Ziegel und rund 17 % Mörtel. In der Allokationsbetrachtung wird daher neben den Materialien Beton, Ziegel, Bimsstein und Stahl auch der Mörtel als (Haupt-)Baustoff festgehalten.

Um eine ganzheitliche Betrachtung von Massen und Volumen im Gebäudebestand zu gewährleisten, wurden zudem die Baustoffe Bimsstein, Beton und Stahl betrachtet. Die Rohdichte des Bimssteins wird bei den Berechnungen mit 1,6 m³/t, die des Betons bei etwa 2,4 m³/t und die des Stahls bei 7,85 m³/t angesetzt.

Anhand der Einschätzung der Eigenschaften der einschlägigen (Haupt-)Baustoffe wurden die im Folgenden abgebildeten Datensatzsätze aus Ökobaudat zugeordnet.

Tabelle 10: Allokation von Ökobaudat-Datensätzen zu den identifizierten (Haupt-)Baustoffen

Baustoff	Datensatz-Name (Ökobaudat)	KEA & KEV in kWh/t		
		Σ	EE	nicht-EE
Beton	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	25,91	25,91	146,06
Mörtel	Zementmörtel	44,58	44,58	232,05
Ziegelmauer	Vormauerziegel	93,12	93,12	1.304,78
Bimsstein	Blähton LB Hohlblockstein Trennwand	58,63	58,63	404,91
Stahl	Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche	424,14	424,14	3.195,05

Die massebezogenen KEA/KEV-Ergebnisse lassen erkennen, dass der Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25 in dieser Aufzählung, zumindest energetisch gesehen, den unkritischsten Baustoff darstellt. Nach Ökobaudat ist Zementmörtel etwa um den Faktor 1,6, Bimsstein – in Form von Blähton Leichtbeton-Hohlblocksteinen – zirka um den Faktor 2,7, (Vor-)Mauerziegel etwa um den Faktor 8 und Baustahl – in Form von offenen Walzprofilen und Grobblechen – sogar ungefähr um den Faktor 21 energieintensiver in der Herstellung.

Das energieintensive Material Baustahl ist jedoch auch das Material mit dem geringsten Anteil an der Gesamtmasse des festgehaltenen Gebäudebestandes auf dem ehemaligen Pfaff-Gelände (ca. 5%). Der Großteil der Masse (> 80%) wird durch Beton und Ziegel dargestellt. Der energetische Unterschied in der Herstellung von Beton und Ziegelklinker ist demnach, v. a. für das darzustellende Min.-/Max.-Szenario, entsprechend bedeutsamer. Anhand des Gebäudes 49 kann beispielhaft eruiert werden, dass der Einsatz des Baustoffes Beton bei der Gebäudeerrichtung im Gegensatz zum Baustoff Mauerziegel in wesentlich größerem Umfang stattgefunden haben muss. Aus Tabelle 7 ergibt sich ein rechnerisches Volumenverhältnis von etwa 12:1 bzw. ein Masseverhältnis von rund 14:1.

Die nächste Tabelle 11 zeigt die errechneten Werte für den KEA und den KEV bezogen auf den Gesamtgebäudebestand als Min.-/Max.-Szenario. Diese wird ergänzt um die Variante, welche sich aus Hochrechnung (HR) der eruierten Baustoffverhältnisse aus Geb. 49 ergibt (HR Geb. 49). Zudem wird auch ein alternatives Resultat aufgezeigt. Hierbei handelt es sich um das Ergebnis, welches sich ergibt, wenn der verwendete Volumenanteil an Mauerziegeln, welcher für Geb. 49 ermittelt wurde, auf Kosten des Einsatzes von Beton verdoppelt wird (HR Geb. 49; Ziegel x 2).

Aufgrund der hohen energetischen Unterschiede bei der Herstellung von Beton im Verhältnis zu Ziegelklinker ergeben sich im Ergebnis KEA- bzw. auch KEV-Werte zwischen etwa 30 und knapp über 100 GWh (siehe Varianten I und IV in Tabelle 11). Ein realistischer Wert für den energetischen Bedarf bei der Herstellung der Baustoffe für die Gebäude auf dem Gelände dürfte sich indessen in den Optionen dazwischen widerspiegeln (siehe Varianten II und III in Tabelle 11).

Tabelle 11: Abschätzung zur aufgewendeten Energie bei der Herstellung der Gesamt-Bausubstanz des Pfaff-Geländes

KEA/KEV - Gebäudebestand im Gelände	
Variante I:	KEA/KEV min. 32.324 MWh
Variante II:	KEA/KEV (HR Geb. 49) 38.070 MWh
Variante III:	KEA/KEV (HR Geb. 49; Ziegel x 2) 43.815 MWh
Variante IV:	KEA/KEV max. 105.675 MWh

Es erscheint demnach schlüssig, einen Energieeinsatz von rund 40 GWh für die Errichtung der Gebäude auf dem ehemaligen Pfaff-Gelände als am wahrscheinlichsten anzusehen.

3.2 Modulare Konzept-Entwicklung

Wie eingangs zu Punkt 3 erwähnt, wurden im Laufe der Konzeption des Arbeitspaketes 2.2.5 verschiedene Konzept-Module entwickelt. Vor allem die Anwenderfreundlichkeit im Sinne einer intuitiven Bedienung und überschaubaren Darstellung wurde hierbei im Laufe der Zeit immer mehr priorisiert.

Im Wesentlichen erfolgte die Entwicklung des finalen Konzeptes aus zwei erarbeiteten sich ergänzenden Konzepten-Modulen, welche sich wie folgt beschreiben lassen.

Das erste Konzeptmodul spiegelte hierbei die Leistung für das AP 2.2.5.3 (Berücksichtigung verschiedener Gebäudekonstruktionsoptionen) wider und thematisierte die Ebene der Erfassung der Oberflächenausmaße der Kubaturen von Gebäuden. Dieses Konzept-Modul ermöglicht eine relativ schnelle und anwenderfreundliche Oberflächenberechnung für Gebäude-Bauteile (Böden, Wände, Decken, Dächer).

Die folgende Tabelle 12 zeigt diesbezüglich die Dateneingabemaske für ein fiktives „Gebäude 1“ des Modul-Konzeptes aus AP 2.2.5.3. Im oberen Bereich (grüne Felder) können – falls bekannt – direkt Flächenangaben zu Böden, Decken, Außen- und Innenwänden sowie Dachflächen erfolgen.

Sind diese nicht direkt verfügbar, so wird die Kubatur, je nach Form der Gebäudegrundfläche und Dachform über Eingabewerte berechnet. Der Eingabebereich wurde so gestaltet, dass die Ergebnisse aus möglichst wenigen Dateneingaben ermittelt werden können.

Tabelle 12: Dateneingabe im Gebäudeaufbau-Modul (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	
Dachform	Satteldach
Dachneigungswinkel	35 °
Dachüberstand (Ø aus allen betroffenen Seiten)	0,60 m
Form der Gebäudegrundfläche*	Rechteck
Länge 1 (l_1)** ²	10,00 m
Länge 2 (l_2)** ³	
Breite 1 (b_1)** ⁴	10,00 m
Breite 2 (b_2)** ⁵	
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** ⁶	3,00 m
Flächenverhältnis von Innen- zu Außenwänden	1,00
Ergebnisse	
Gebäudegrundfläche (Böden)	100,0 m ²
Bruttogrundfläche abzgl. Gebäudegrundfläche (Decken)	200,0 m ²
Aussenwandfläche (Außenwände)	275,0 m ²
Innenwandfläche (Innenwände)	275,0 m ²
Dachfläche (Dächer)	150,0 m ²

*¹ 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)

*² l_1 : die längste Seite, bzw. ggf. die längste Seite für welche keine Parallele gleicher Länge vorhanden ist

*³ l_2 : bei rechteckigen Gebäuden redundant; bei nicht rechteckigen Gebäuden die Parallele zu l_1 , welche mindestens an einer Innenecke anliegt

*⁴ b_1 : die längste Seite, welche lotrecht zu l_1 steht und diese berührt

*⁵ b_2 : bei rechteckigen Gebäuden redundant; bei nicht rechteckigen Gebäuden die Parallele zu b_1 , welche mindestens an einer Innenecke anliegt

*⁶ inklusive der Stärke des zugehörigen Deckenaufbaus bis OK Boden des nächsten Geschoßes

Im vorliegenden Beispiel 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 13 zeigt in diesem Kontext die Berechnungsmatrizen mitsamt Ergebnissen für Außenwand und Dachfläche beispielhaft anhand der bereits genannten Variablen (siehe Tabelle 12).

Tabelle 13: Berechnungsmatrizen für Außenwand- und Dachfläche

Außenwandfläche				
in m ²	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 ²	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 14.

Tabelle 14: Zuordnung von Baubook-Bauteilen im Gebäudeaufbau-Modul (AP 2.2.5.3)

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

Ein Vorteil liegt hierbei in einer 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 Konzept-Modul konzipiert, welches auf Teile des Datenmaterials der Datenbänke von GEMIS, Probas und v. a. Ökobaudat zurückgreift. Dieses Modul spiegelt im Wesentlichen die Leistung für das AP 2.2.5.2 (Konzeption Baustoff-Materialdatenbank) 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 4 verdeutlicht den aufwendigen Erstellungsprozess für ein einzelnes individuelles Bauteil anhand der dazugehörigen Eingabematrix.

Bauteil	4	1.602 kWh/m ²
Individualname	Außenwand - Ziegel - verputzt	
Bauteil-Komponenten		
1.	Fassaden mit her Dispersionsfarbe	
2.	SCHÖNER WOHNEN Acryl Tiefgrund	
3.	Kauf - Granitplattenplatten GrB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m ²) u. 8,5 kg/m ²	
4.	grau farbverziert (10 mm)	
5.	Plachettes	
6.	grau farbverziert (10 mm)	
7.	Kauf - Granitplattenplatten GrB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m ²) u. 8,5 kg/m ²	
8.	SCHÖNER WOHNEN Acryl Tiefgrund	
9.	Capitrand	
10.		
11.		
12.		
13.		
14.		
15.		
Sonstiges		
16.		
17.		
18.		
19.		
20.		

Abbildung 4: 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 Rigidipsplatte 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/m³ 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 dreien wenn nicht sogar vierstelligen Bereich berücksichtigt werden.

Um eine höhere Anwenderfreundlichkeit zu erzielen, wurden daher, in Bezug auf das AP, Elemente beider Konzept-Module zusammengeführt. Das Ergebnis ist ein kombiniertes 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 angelegt werden, entsteht ein erhöhter Mehraufwand durch das erneute Durchlaufen des Auswahlprozesses (vierstufige Baumstruktur; siehe Abbildung 4), obwohl sich das zu berechnende Ergebnis nur sehr geringfügig verändert.

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

Das entwickelte Konzept kommt zudem mit einer dreistufigen Baumstruktur aus, wodurch der Auswahlprozess zusätzlich verkürzt wird. Einen Überblick über die im Gegensatz zur Eingabemaske aus Abbildung 4 sehr überschaubaren Dateneingabe des zusammengeführten Konzeptes zeigt die folgende Abbildung 5.

Auswahl	Eingabebereich
5	
Baggereinsatz> Bauplatten> Beschichtungen> Beton> 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 ³	

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 5: Auswahl von Beton C 45/55 in der aktuellen Dateneingabe des Anwendungs-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 Eingabearaufwand 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 6).

Auswahl	Eingabebereich	
5		
Baggereinsatz> Bauplatten> Beschichtungen> Beton> Dachbau> Dämmstoffe>	Dispersionen> Silikatfarben> Tiefgrund> 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 MasterTop P 660 PCI Epoxigrund 390 / PCI Epoxigrund Rapid PCI Gisogrund 404 / PCI Gisogrund® SCHÖNER WOHNEN Acryl Tiefgrund
Nutzmenge 100,00 kg entspricht 0,091 m ³		

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 6: Auswahl von MasterTop P660 in der aktuellen Dateneingabe des Anwendungs-Konzeptes

Unter dem Eingabebereich findet sich der Speicher- und Anzegebereich, in welchem jeder ausgewählte Datensatz entsprechend seiner Nummerierung zu finden ist (siehe Tabelle 15). 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 15: Speicher- und Anzeigebereich des Anwendungs-Konzeptes

Auswahl	Bezugseinheit	Bezugsmasse [kg]	Rohdichte [kg/m³]	Masse [kg]	Eigene Hinweise
1	m³	2.400,0	2.400	3.146.880	1.311,2 m³ (u. GOK; Bodenpl. + Fund.)
2	m³	26,3	26	11.340	10.800 m²; 40 mm
3	m³	2.400,0	2.400	35.574.400	2/3 v. 22.234 m³ (ü. GOK)
4	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 16) für die jeweiligen nummerierten Positionen (siehe Nummer 1 bis 4 in Tabelle 15).

Tabelle 16: 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			
Auswahl	nicht EE	EE	nicht EE	EE	CO ₂ e	SO ₂ e	PO ₄ ³⁻	C ₂ H ₂ 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 CO₂-Äquivalenten und – rechts außen – dass „Photochemical Ozone pre-Cursor Potential“ (POCP) bzw. bodennahes Ozonbildungspotenzial in C₂H₂-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 SO₂-Äquivalenten und das „Eutrophication Potential“ (EP) bzw. Eutrophierungspotenzial in PO₄³⁻-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 Anzegebereich ergibt sich damit darüber hinaus die theoretische Möglichkeit – nach unten hin – unbegrenzt Datensätze anzulegen, ohne die Orientierung in der Anwendung zu verlieren, da Eingabe- und Ergebnisbereich stets die oberen Zeilen der Anwendung belegen.

Ergebnisse							
alle in kWh				alle in kg			
PENRT	PERT	PENRT - PENRM	PERT - PERM	GWP	AP	EP	POCP
KEA-Ebene				Umweltauswirkungen			
nicht EE	EE	nicht EE	EE	CO ₂ e	SO ₂ e	PO ₄ ³⁻	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							
4,17 kWh/kg	4,24 kWh/kg	4,17 kWh/kg	4,24 kWh/kg	9.100 mg/m ³	2,7 mg/m ³	1,8 g/d (Gesamt-P)	11.500 mg/m ³
Äquivalente/Referenzmenge:							
7.906 t Braunkohle	474 t Brennholz	7.906 t Braunkohle	474 t Brennholz	MAK von 1,2135 km ³	MAK von 4,6536 km ³	365.500 EGW/d	MAK von 0,0002 km ³
70.928.000 KFZ-km							
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/infoteststat/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 7: Ergebnisbereich des Anwendungs-Konzeptes

Die Abbildung 7 zeigt beispielhaft die aufsummierten Ergebnisse für die vier aufgezeigten Positionen (siehe Tabelle 15 und Tabelle 16). Zudem werden Äquivalente und Referenzmengen auf Basis von Referenz-Heizwerten und Grenzwerten für die maximale Arbeitsplatz Konzentration (MAK) dargestellt. Die MAK wird hierbei als angemessener Wert angesehen, da diese i. d. R. konservativer angesetzt wird als Grenzwerte für die Umwelt. Während unter freiem Himmel meist niedrige Grenzwerte eingehalten werden sollen ist dies bei den MAK anders. Die zulässigen Konzentrationswerte sind hierbei oftmals um ein Vielfaches höher. Ein Ergebnis in MAK bemisst sich demnach an einer sehr intensiven Belastung und ist daher im Zweifel weniger angreifbar.

Bezüglich der Darstellung von Energie wird der Anteil der Nicht-Erneuerbaren Energie in t Braunkohle und der Anteil der Erneuerbaren Energie in t Brennholz dargestellt. Beide Stoffe werden dabei mit dem gleichen Heizwert von 4,17 kWh/kg³ pro Masseeinheit angesetzt, der unterschiedliche Charakter indes durch die abweichenden Energieträgerarten plakativ akzentuiert.

Die CO₂-, SO₂- und C₂H₂-Äquivalente werden dagegen über die MAK ausgedrückt. MAK-Werte sind feststehende Grenzwerte und werden in den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), herausgegeben durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), thematisiert.

Der MAK liegt hierbei bzgl. CO₂ etwa 11-fach über dem aktuellen durchschnittlichen atmosphärischen CO₂-Gehalt von ca. 420 ppm bzw. 0,042 Volumenprozent.⁴

Der MAK für SO₂e liegt dagegen beim 21,6-fachen des Tagesgrenzwertes von 125 µg/m³, 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/m³.⁵

Die Anzeige erfolgt, wegen der großen Volumen, welche bei gasartigen Verunreinigungen schnell erreicht werden, über die Volumeneinheit km³ (entspricht 1 Mrd. m³).

Zur besseren Vorstellungsfähigkeit bei Mengen < 1 km³ kann zur Vereinfachung eine Fläche von einem km² 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 PO₄³⁻ 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 PO₄³⁻ 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 Aggregation von umfangreichem Datenmaterial aus verschiedenen bereits am Markt vorhandenen Datenbanken (GEMIS, Ecoinvent,

³ Vgl. Agrarplus (2019), letzter Zugriff in 2020-01-24.

⁴ Vgl. Spiegel (2019), letzter Zugriff in 2020-01-24.

⁵ Vgl. UBA (2018), letzter Zugriff in 2020-01-24.

Probas, Ökobaudat). Der Fokus lag themenspezifisch in der Analyse und Aufarbeitung von Material- und insbesondere Baustoff-Datensätzen.

Die Auswertung betraf GEMIS 4.9⁶ mit ca. 10.000 Einzel-Datensätzen. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass eine hohe Anzahl an Datensätzen sich sehr ähneln und gruppiert zugeordnet hinterlegt sind. Die Methodik liegt hier darin ein bestimmtes Produkt oder einen Prozess zu betrachten indem jeweils ausgewählte Parameter leicht verändert werden und somit in einem neuen Datensatz münden.

Im Prinzip handelt es sich um wenige hundert Betrachtungsgegenstände, für welche dann stellvertretend teilweise eine mittlere zweistellige Anzahl an Datensätzen bestehen kann.

Im GEMIS sind zudem nur wenige dieser Datensätze für baubezogene Tätigkeiten relevant, da der Fokus dort hauptsächlich auf Prozesse der Strom- und Wärmeerzeugung sowie Energiekonversion liegt. Es handelte sich insgesamt um eine mittlere zweistellige Anzahl an verwertbaren Datensätzen.

Des Weiteren wurde die Datenbank Ecoinvent einer Analyse unterzogen. Hier lagen zum Zeitpunkt der Untersuchungen rund 30.000 Einzeldatensätze vor, welche sich im Wesentlichen nach Weltregionen und „cut-off-Classification“ bzw. nach Referenzprodukten gliederten. Nach der Analyse und Zusammenfassung von Einzeldatensätzen ergaben sich weniger als 100 brauchbare Datensätze.

Zudem war auch das, aus österreichischer Produktion stammende, Ökobaubook Gegenstand eines Screenings. Dieses bestand im Untersuchungszeitraum aus knapp 200 vorgefertigten Bauteilen, welche wiederum aus bis zu 15 Schichten aufgebaut sein konnten. Hier waren jedoch zum Zeitpunkt der Untersuchung keine Einzeldatensätze vorhanden und die Art der vorgefertigten Betrachtung ließ nur wenig Spielraum für Abwandlungen, daher wurde der Fokus für die weitere Bearbeitung hauptsächlich auf Ökobaudat gelegt.

Anfänglich wurde bezüglich Ökobaudat mit der Datensatz-Datei aus 2019 (OBD_2019) gearbeitet. Aufgrund der voranschreitenden Zeit wurde schließlich auch die aktualisierte Datei aus 2020 (OBD_2020_II) zusätzlich sondiert und relevante Datensätze in die Materialdatenbank übernommen. Hier handelte es sich um nicht ganz 5.000 (OBD_2019) und um etwa 4.000 Einzeldatensätze (OBD_2020_II), welche als Module einzelne Stadien oder gar Teilstadien des Lebensweges eines Produktes abbildeten. Je nach vorhandenen Lebenswegmodulen können hier Produkte aus insgesamt bis zu 17 Einzeldatensätzen, welche die Teilstadien abbilden, bestehen.

Diese Datensätze sind, wie der Name Ökobaudat schon suggeriert, komplett auf Bautätigkeiten im Hoch- und Tiefbau ausgerichtet und daher potenziell interessant. Durch die zerstückelte Darstellung in

⁶ Ein Programm namens Globales-Emissions-Modell-integrierter-Systeme (Version 4.9)

Stadien und Teilstadien eines Produktlebensweges mussten diese vorab entsprechend agglomeriert werden. Außerdem wurden redundante Datensätze entfernt werden. Hierunter fielen Datensätze für Produkte, welche im Vergleich zu ähnlichen Produkten stark abweichende LCA-Ergebnisse lieferten oder z. B. Datensätze für nahezu gleiche Baustoffe oder Produkte welche als überflüssig anzusehen waren. Zudem fanden sich bei näherer Betrachtung einige offensichtliche, aber auch weniger offensichtliche Fehler oder Hemmnisse (Kommastellenfehler, fehlende Bezugsdaten etc.), welche potenziell bereits bei der Eingabe und/oder Transformation der Daten im Back-End entstanden sein müssen. Waren diese Abweichungen hinreichend offensichtlich, wurden sie in Konsequenz bei der Übertragung korrigiert.

Zuletzt wurde auch die vom UBA zur Verfügung gestellte Datenbank PROBAS untersucht, hier zeigte sich jedoch, dass sich PROBAS mutmaßlich im Wesentlichen aus Ökobaudat und EcoInvent speist und Datensätze oder zumindest Parameter daraus zur Verfügung stellt, ohne selbst eine Berechnungsanwendung zu liefern.

In der Folge der Analyse der Daten aus unterschiedlichen Quellen entstand im Laufe der Zeit eine selektierte Material-Datenbank und passend dazu eine unkompliziert konzipierte Kalkulations-Anwendung. Diesbezüglich wurde in einem Entwicklungsprozess ein (Excel-)Konzept herausgearbeitet und auch als PC-Browser-Applikation umgesetzt, welches als vereinfachte Version des relativ komplex gestalteten eLCA-Tool des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) verstanden werden kann. Die Anwendung ist weniger spezifiziert (keine Einteilung in Vorplanung, Entwurfsplanung, Ausführungsplanung etc.) und es wird weniger detailliertere Kenntnis über Art und Weise der Bauvorgänge, wie z. B. Bauwerkszuordnung, genaue Eingaben bzgl. der Kubatur etc., abverlangt. Das Wissen über eingesetzte Baumaterialien und die ungefähren Mengen (Massen und/oder Volumen) genügen. In Unkenntnis der verwendeten Mengen ist zwar eine Vorberechnung notwendig, jedoch wird trotzdem schneller und unaufwändiger ein nachvollziehbares Ergebnis erreicht.

Die aktuelle Version der Anwendung greift für die Berechnungen vollständig auf Datensätze und Datensatzagglomerationen aus der Ökobaudat-Datenbank zurück. Im Ökobaudat sind Datensätze – wie bereits im Vorfeld beschrieben – 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 8).

Die folgenden AP-Inhalte werden durch die Betrachtung der Teilstadien von Produkten bzw. Baumaterialien damit bereits vollständig abgedeckt:

- AP 2.2.5.4 Ermittlung und Erstellung geeigneter Datensätze für KEA/KEV/KSA
 - AP 2.2.5.4.1 Datensätze bezüglich der Herstellung (Baustoffe)
 - AP 2.2.5.4.2 Datensätze bezüglich der Logistik (Transport – Baustoffe)

Legende - Ökobaudat (Lebenswegmodule)			
Produktionsstadium	A1	Rohstoffversorgung	aggregiert X
	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	X
	B7	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	
Entsorgungsstadium	C1	Rückbau / Abriss	
	C2	Transport	
	C3	Abfallbehandlung	X
	C4	Deponierung	X
Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze	D	Wiedererverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial	X

Abbildung 8: 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 Strom und Wärme sowie Transport und 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 9.

	Treibhauseneffekt	Bodenversauerung	Eutrophierung	bodenmäßiges Ozon
	kg CO ₂ e/t	kg SO ₂ e/t	kg CSB/t	kg Ethen/t
Alu-Mix	16.260	61	20,5	43
Kupfer	4.989	38	1,5	36
PU-Schaum	4.617	8	1,3	12
Exp.-Polystyrol	3.590	9	0,9	65
Kupfer-Mix	3.437	22	15,6	20
Gummi-EPDM	3.287	11	0,4	16
Polypropylen	2.998	7	0,9	11
Styrol	2.673	7	0,6	12
PVC-Masse	1.993	4	1,3	7
Kupfer sekundär	1.884	7	29,7	4
Rohisen	1.819	5	40,4	7
Stahl-Mix	1.515	4	31,0	7
Bitumen	1.187	6	0,3	608
Glas-flach	1.102	5	1,4	6
Steinwolle	976	3	16,1	8
Zement	938	2	0,04	3
Klinker	894	2	0,02	2
Gussseisen	607	1	8,0	4
Fliese	605	1	0,03	2
Keramik	605	1	0,03	2
Ytong	432	1	0,03	1
Gipsplatte	226	0,35	0,02	0,32
Beton	166	0,30	0,01	0,49
Kalksandstein	146	0,21	0,01	0,50
Asphalt	96	0,25	0,04	0,31
Holz-Fichte	70	0,25	0,004	0,56
Holzfaser	36	0,32	0,009	0,76
Quarzsand	28	0,03	0,006	0,04
Quarzsand	28	0,03	0,006	0,04
Quarzsand	28	0,03	0,006	0,04
Kalk	9	0,07	0,002	0,12
Kies	8	0,04	0,003	0,07
Stroh	2	0,02	0,002	0,03
Bims (Abbau)	1	0,01	0,0001	0,02

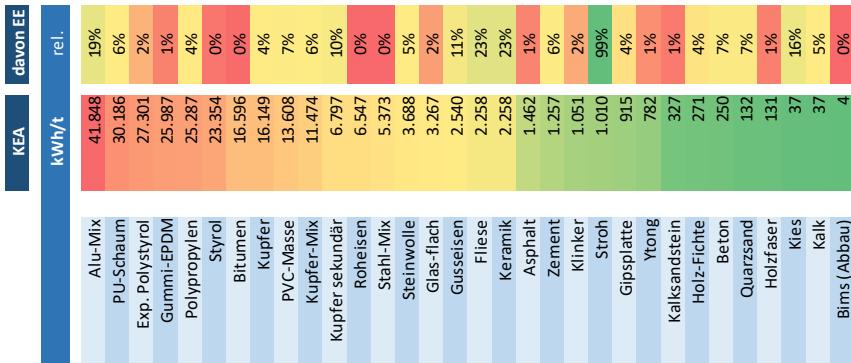
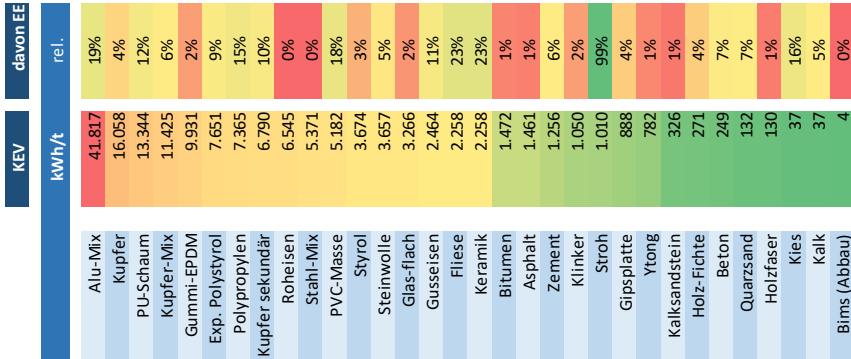


Abbildung 9: Relevante Datensätze aus der GEMIS-Datenbank

Die Abbildung 9 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 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 bodennahes 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 Konzept als Excel-Anwendung ist in der Lage korrekte Indikatoren-Ergebnisse zu liefern. So stehen die in Abbildung 7 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 etwa 2 t.

Die aufgewendete bzw. verbrauchte Energie hat eine Größenordnung äquivalent zu über 8.000 t Braunkohle oder Brennholz. Die CO₂e-Emissionen genügen, um innerhalb einer Luftsäule von ca. 12 m eine Fläche von 100 km² so sehr zu belasten, dass die max. Arbeitsplatzkonzentration für CO₂ erreicht bzw. überschritten wird.

Für Schwefeldioxid gilt selbiges für eine Luftsäule von sogar ca. 46,5 m. Bezuglich bodennaher Ozonbildung stellt sich die Situation besser dar. Hier wird auf einer Fläche von einem km² nur eine Luftsäule von rund 0,2 m so stark angereichert, dass der max. Arbeitsplatzkonzentrationswert erreicht bzw. überschritten wird.

Eine erste praktikable Version des Anwendungs-Konzeptes verfügte über rund 400 Datensätze, welche auf erster Ebene in 17 Auswahlkategorien und auf zweiter Ebene in 61 Unterkategorien unterteilt war. Im Durchschnitt ergab sich somit für den Auswahlprozess auf zweiter Ebene ein überschaubarer Mittelwert von knapp vier (rechnerisch ca. 3,6) Unterkategorien pro Kategorie. Jede Unterkategorie erlaubt im Mittel wiederum den Zugriff auf etwa sechs bis sieben (rechnerisch ca. 6,5) Materialdatensätze.

Die Excel-Konzept-Anwendung verfügt nun über rund 1.000 Datensätze. Angesteuert werden diese über ein Baumdiagramm, welches auf erster Ebene 22 Auswahlkategorien zur Verfügung stellt. Auf zweiter Ebene sind insgesamt 120 Elemente bzw. Unterkategorien vorhanden. Im Durchschnitt ergibt sich dadurch, für den Auswahlprozess auf zweiter Ebene, ein überschaubarer Mittelwert von gut fünf bis sechs (rechnerisch ca. 5,5) Unterkategorien pro Kategorie. Jede Unterkategorie erlaubt im Mittel sodann wiederum den Zugriff auf etwas über acht (rechnerisch ca. 8,3) Materialdatensätze.

Dargestellt wird jeweils das Gesamtergebnis aus der Verrechnung aller ausgewählten Datensätze und Mengeneingaben für die unter dem Abschnitt 2 vorgestellten Indikatoren (siehe Abbildung 7).

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. Die aktuelle Version mit 996 Datensätzen und 22 Auswahlkategorien ist diesbezüglich bereits recht umfangreich und bildete die Grundlage und inhaltliche sowie methodische Vorlage zur Erstellung der programmierten Software.

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 – CO2-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.