

ENTWICKLUNG EINES ALGORITHMUS ZUR ANALYSE UND OPTIMIERUNG VON GEBÄUDEERSTELLUNGS- UND BAUTEILÖKOBILANZEN

Von der Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Dipl.-Ing. Christian Piehl
aus Offenburg

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dr.-Ing. E.h. Hans-Wolf Reinhardt
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Klaus Sedlbauer

Tag der mündlichen Prüfung:
23.11.2012

Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart
2012

Danksagung

Diese Dissertation entstand während meiner Tätigkeit am Institut für Werkstoffe im Bauwesen (IWB) der Universität Stuttgart.

Professor Reinhardt möchte ich für seine Unterstützung und die Betreuung meiner Arbeit danken.

Professor Sedlbauer danke ich für die Übernahme des Mitberichts.

Dem Deutschen Ausschuss für Stahlbeton und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung danke ich für die Finanzierung des Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“ (NBB).

Allen Beteiligten des Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“ (NBB) danke ich für die gute Zusammenarbeit.

Meiner Freundin Stephanie Kegel danke ich für die gründliche Korrektur der Arbeit.

Meinen Eltern möchte ich für ihre Unterstützung danken und dafür, dass sie mir all dies ermöglicht haben.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|--------|--|-----------|
| 1 | Abkürzungsverzeichnis | 1 |
| 2 | Kurzfassung/Abstract | 2 |
| 2.1 | Kurzfassung | 2 |
| 2.2 | Abstract | 4 |
| 3 | Einleitung | 6 |
| 4 | Problemstellung und Zielsetzung | 7 |
| 4.1 | Problemstellung | 7 |
| 4.2 | Ziel der Arbeit | 7 |
| 4.3 | Aufbau der Arbeit | 7 |
| 5 | Ökologie und Bauwesen | 8 |
| 5.1 | Historie | 8 |
| 5.2 | Ökobilanzierung im Bauwesen | 8 |
| 5.3 | Betrachtete Ökokriterien und deren Wirkung | 11 |
| 5.3.1 | Treibhauspotential (GWP) | 11 |
| 5.3.2 | Versauerungspotential (AP) | 12 |
| 5.3.3 | Eutrophierungspotential (EP) | 12 |
| 5.3.4 | Ozonschichtabbaupotential (ODP) | 13 |
| 5.3.5 | Ozonbildungspotential (POCP) | 14 |
| 5.3.6 | Primärenergiebedarf | 15 |
| 6 | Aggregations- und Bewertungsverfahren | 16 |
| 6.1 | Umweltbelastungspunkt – Ökologische Knappheit | 16 |
| 6.2 | Kumulierter Energieaufwand (KEA) | 17 |
| 6.3 | Material Input pro Serviceeinheit – MIPS | 18 |
| 6.4 | Sustainable Process Index – SPI | 19 |
| 6.5 | Probleme der Bewertungsverfahren | 20 |
| 7 | Entwicklung des Analysetools | 21 |
| 7.1 | Begriffe | 21 |
| 7.1.1 | Baustoff | 21 |
| 7.1.2 | Baustofflebensdauer | 21 |
| 7.1.3 | Bauteil | 21 |
| 7.1.4 | Bauteilgruppe | 21 |
| 7.1.5 | Bauteilkatalog | 21 |
| 7.1.6 | Bauteilliste | 22 |
| 7.1.7 | Bauteiltyp | 22 |
| 7.1.8 | Bilanzwert | 22 |
| 7.1.9 | Funktionelle Einheit | 22 |
| 7.1.10 | Gebäudelebensdauer | 22 |
| 7.1.11 | Gebäudevariante | 22 |
| 7.1.12 | HTML | 22 |
| 7.1.13 | MySQL | 23 |
| 7.1.14 | Nutzerbezogener Wichtungsfaktor | 23 |
| 7.1.15 | Ökobilanz | 23 |
| 7.1.16 | Ökodaten | 23 |
| 7.1.17 | PHP | 23 |
| 7.1.18 | phpMyAdmin | 23 |
| 7.1.19 | Prozessarten | 23 |
| 7.1.20 | Relationale Datenbanken | 24 |
| 7.1.21 | Relativwerte | 24 |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------------|--|-----------|
| 7.1.22 | SQL | 24 |
| 7.1.23 | Szenario | 24 |
| 7.1.24 | Tag | 24 |
| 7.2 | Analyse der Eingangswerte | 25 |
| 7.3 | Gewichtung der Einzelfaktoren | 26 |
| 7.4 | Arbeitsweise | 26 |
| 7.4.1 | Ermittlung der Ökodaten | 27 |
| 7.4.2 | Ermittlung der Bilanzwerte | 27 |
| 7.4.3 | Ermittlung der Gebäude-/Bauteilökobilanz | 27 |
| 7.4.4 | Ermittlung der Relativwerte | 27 |
| 7.4.5 | Ermittlung der optimalen Variante | 28 |
| 7.4.6 | Analyse der Ökobilanzen | 28 |
| 7.4.7 | Vergleich zweier Varianten | 29 |
| 7.4.8 | Bauteilkatalog | 29 |
| 7.5 | NBB - Nachhaltig Bauen mit Beton | 32 |
| 7.5.1 | NBB-Info | 33 |
| 7.6 | Module | 33 |
| 7.6.1 | bauteiluntersuchung.php | 36 |
| 7.6.2 | lokalfaktor.php | 39 |
| 7.6.3 | lokalfaktor_antw.php | 40 |
| 7.6.4 | oekobilanz.php | 40 |
| 7.6.5 | oekobilanz_antw.php | 45 |
| 7.6.6 | oekobilanz_berechnung.php | 45 |
| 7.6.7 | optimum.php | 47 |
| 7.6.8 | relativwerte.php | 50 |
| 7.6.9 | varianten.php | 52 |
| 7.6.10 | varianten_antw.php | 52 |
| 7.6.11 | variante_del.php | 53 |
| 7.6.12 | variante_del_antw.php | 54 |
| 7.6.13 | vergleich.php | 54 |
| 7.6.14 | vergleich_antw.php | 55 |
| 7.6.15 | zuordnungstabelle.php | 63 |
| 7.6.16 | zuordnungstabelle_antw.php | 63 |
| 7.7 | SQL-Tabellen | 65 |
| 7.7.1 | arbeitstabelle | 68 |
| 7.7.2 | baustofftabelle | 69 |
| 7.7.3 | bauteiluntersuchung | 71 |
| 7.7.4 | bauteilvergleich | 72 |
| 7.7.5 | bauteilzuordnung | 73 |
| 7.7.6 | bauwerklebensdauer | 74 |
| 7.7.7 | bauwerklebensdauern | 74 |
| 7.7.8 | beurteilungen | 75 |
| 7.7.9 | gegenstaende | 76 |
| 7.7.10 | inhaltsangaben | 78 |
| 7.7.11 | kriterien | 80 |
| 7.7.12 | lca_stamm_bauteile | 81 |
| 7.7.13 | lokalfaktoren | 83 |
| 7.7.14 | minwerte | 83 |
| 7.7.15 | oeko_bauteil | 84 |
| 7.7.16 | oeko_berechnung | 85 |
| 7.7.17 | relativwerte | 87 |
| 7.7.18 | relativwertjahre | 89 |
| 7.7.19 | spezialisierungen | 89 |
| 7.7.20 | varianten | 90 |
| 7.7.21 | variantenvergleich | 92 |
| 7.7.22 | variante_name | 92 |
| 7.7.23 | zuordnungstabelle | 93 |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------------------|---|------------|
| 7.8 | Verfügbarkeit | 94 |
| 8 | Beispielrechnungen | 95 |
| 8.1 | Verschiedene Varianten/Szenarien | 96 |
| 8.2 | Ergebnisse/Sensitivitätsanalyse | 98 |
| 8.2.1 | Variante I S100/Variante A S100 | 98 |
| 8.2.2 | Variante A S100/Variante AP S100 | 103 |
| 8.2.3 | Variante A S100/Variante EP S100 | 104 |
| 8.2.4 | Variante A S100/Variante GWP S100 | 106 |
| 8.2.5 | Variante A S100/Variante POCP S100 | 107 |
| 8.2.6 | Variante A S100/Variante ODP S100 | 109 |
| 8.2.7 | Variante A S100/Variante E_{ges} S100 | 110 |
| 8.2.8 | Variante A S100/Variante E_c S100 | 112 |
| 8.2.9 | Variante A S100/Variante E_{ne} S100 | 113 |
| 8.2.10 | Variante A S100/Variante A S50 | 115 |
| 9 | Zusammenfassung und Ausblick | 116 |
| Anhang | | I |
| Literatur | | I |
| Normen | | V |
| Tabellen | | V |
| | Variante I | VI |
| | Variante AP | VII |
| | Variante EP | IX |
| | Variante GWP | X |
| | Variante POCP | XII |
| | Variante ODP | XIII |
| | Variante E_{ges} | XV |
| | Variante E_c | XVI |
| | Variante E_{ne} | XVIII |
| | Variante A | XIX |
| | Lebenslauf | XXI |

1 Abkürzungsverzeichnis

Die hier angegebenen Abkürzungen finden hauptsächlich in den Modulen und SQL-Tabellen Verwendung.

| | |
|------|---|
| AP | Versauerungspotential |
| AW | Außenwand |
| Bo | Bodenplatte |
| Da | Dach |
| De | Decke |
| Ee | Primärenergie, erneuerbar |
| Ene | Primärenergie, nicht erneuerbar |
| Eges | Primärenergie, gesamt |
| EP | Eutrophierungspotential |
| Fe | Fenster |
| GWP | Treibhauspotential |
| HTML | Hypertext Markup Language |
| IW | Innenwand |
| KAW | Kelleraußenwand |
| KEA | Kumulierter Energieaufwand |
| LCA | Life Cycle Assessment (Ökobilanzierung) |
| MIPS | Material-Input pro Serviceeinheit |
| ODP | Ozonschichtabbaupotential |
| PHP | Name einer serverseitig ausgeführten, freien Programmiersprache |
| POCP | Ozonbildungspotential |
| SPI | Sustainable Process Index |
| SQL | Structured Query Language |
| St | Stütze |
| Tü | Türe |
| UBP | Umweltbelastungspunkte |
| Un | Unterzug |

2 Kurzfassung/Abstract

2.1 Kurzfassung

Die Menschheit beeinflusst durch ihre Aktivitäten in zunehmendem Maße die Umwelt. So steigen seit dem Beginn der Industrialisierung die Emissionsraten aus Industrie, Verkehr und Landwirtschaft beständig an. Dies hat weitreichende Folgen für unsere Umwelt, wie der Treibhauseffekt und das Ozonloch, die wohl bekanntesten Auswirkungen dieser Entwicklung, nur allzu deutlich zeigen.

Als Reaktion auf die Folgen der Umweltverschmutzung haben mittlerweile die Begriffe „Ökologie“ und „Nachhaltigkeit“ in vielen Bereichen des täglichen Lebens Einzug gehalten und versinnbildlichen somit die Erkenntnis, dass ein Umdenken und Handeln notwendig ist. Auch vor der Baubranche machte der Gedanke der Ökologie keinen Halt und es wurden von verschiedenen Staaten Ökobilanzierungssysteme eingeführt, welche die Standards für ein umweltfreundliches, ressourcenschonendes und nachhaltiges Bauen definieren und Gebäude nach diesen Gesichtspunkten zertifizieren.

Mit den derzeit auf dem Markt verfügbaren Computerprogrammen zur Ökobilanzierung lassen sich nach dem Prinzip der ganzheitlichen Bilanzierung Ökobilanzen für Gebäude erstellen. Die Vielzahl der in die Berechnungen eingehenden Daten und die verschiedenen Kriterien, die in die Bilanzierung eingehen, führen jedoch zu einer sehr hohen Komplexität. Wird während der Planungsphase eines Gebäudes festgestellt, dass für ein bestimmtes Kriterium Verbesserungsbedarf besteht, so ist es meist nur unter hohem Zeitaufwand möglich, Optimierungspotentiale in der Baustoffzusammenstellung zu erkennen, da die Wahl eines anderen Baustoffs mit besseren Werten in dem einen Kriterium im Gegenzug oftmals zu weit schlechteren Werten in anderen Kriterien führt.

Diese Arbeit befasst sich deshalb mit der Entwicklung eines Optimierungsalgorithmus und dessen Implementierung in ein Computerprogramm „ÖkoBOA“, das automatisch aus einem Bauteilkatalog die nach den Vorgaben des Users bestmögliche Bauteilzusammenstellung liefert. Eine Analysefunktion soll zusätzlich einen schnellen Überblick über die in einem Gebäude verwendeten Bauteile und Baustoffe, sowie deren Beitrag zur Ökobilanz der Gebäudestruktur ermöglichen.

ÖkoBOA dient zur Erstellung von Ökobilanzen einer Bauteil- oder Gebäudestruktur in der Entwurfs- oder Planungsphase eines Gebäudes und bietet die Möglichkeit, schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt Aussagen über den Einfluss der Baustoff- und Bauteilwahl zu treffen. Die Ergebnisse des Programms können dann in den weiteren Planungsprozess einfließen und den Planer bei seinen Entscheidungen über die Baustoff-/Bauteilwahl unterstützen. Nach der Festlegung auf die zu verwendenden Baustoffe/Bauteile kann dann mittels der bereits existierenden Systeme eine ganzheitliche Bilanzierung des Gebäudes vorgenommen werden.

Betrachtet werden die Ökokriterien Treibhauspotential, Versauerungspotential, Eutrophierungspotential, Ozonbildungspotential, Ozonschichtabbaupotential, erneuerbare Primärenergie, nicht erneuerbare Primärenergie und Primärenergie gesamt. Diese unterschiedlichen Ökokriterien sind nicht direkt miteinander vergleichbar und können deshalb nicht einfach zu einer Gesamtsumme aufaddiert werden. Zwar existieren einige Ansätze zur Aggregation der verschiedenen Ökokriterien, ein rein objektiver Ansatz ist jedoch bis heute noch nicht entwickelt worden. Deshalb wurde bei der Erstellung von ÖkoBOA davon abgesehen, mit fest vergebenen Wichtungsfaktoren zu arbeiten. Dem User ist es somit möglich, mittels der eingeführten „nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren“ je nach Bedarf und unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen die unterschiedlichen Ökokriterien frei miteinander zu aggregieren und somit

eine auf das spezielle Bauprojekt und dessen Rahmenbedingungen abgestimmte Ökobilanz zu generieren.

Zur Erstellung von ÖkoBOA wurde auf die im DAfStB/BMBF-Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ (NBB) ermittelten Ergebnisse zurückgegriffen. Das Programm nutzt das im Rahmen desselben Projekts entwickelte Online-Informationssystem „NBB-Info“ als Plattform und ist auf diesem nach Abschluss des Promotionsverfahrens frei zugänglich.

ÖkoBOA besteht aus 16 Modulen, die HTML-, PHP- und SQL-Code enthalten. Diese Module greifen auf insgesamt 23 SQL-Tabellen zu, die zusammen eine relationalen Datenbank bilden und die benötigten Daten enthalten.

Dem User ist es nun möglich, selbständig aus einem vorliegenden Bauteilkatalog die für ein Gebäude benötigten Bauteile auszuwählen und eine Ökobilanz der Gebäudestruktur berechnen zu lassen. Die Analysefunktion bietet außerdem die Möglichkeit, die einzelnen Anteile der verschiedenen Bauteile und darin enthaltener Baustoffe an der Gebäudeökobilanz zu ermitteln. Hierdurch lassen sich schnell die Bauteile und Baustoffe identifizieren, die das größte Einsparpotential bieten. Zusätzlich können zwei unterschiedliche Gebäudevarianten direkt miteinander verglichen werden, um objektive und quantitative Aussagen über die Vor- und Nachteile der beiden Varianten treffen zu können. Kernfunktion des Programms ist die automatische Ermittlung der optimalen Gebäudevariante. Ermöglicht wird dies durch die Einführung der Bauteilgruppe als funktionelle Einheit und der vom User festgelegten nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren. Hierdurch kann die Bauteilkombination für die hinsichtlich der jeweiligen Anforderungen optimale Gebäudestruktur bestimmt werden.

Zum Nachweis der Funktionsfähigkeit des Computerprogramms ÖkoBOA wurden verschiedene Berechnungen an einem Referenzgebäude durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass der entwickelte Algorithmus der Optimierungsfunktion sehr gute Ergebnisse liefert. So weist eine optimierte „Variante A S100“ in allen Kriterien bessere Werte auf, als eine zufällig zusammengestellte „Variante I S100“. Die Emissionen reduzieren sich in diesem Fall zwischen 70% (Versauerungspotential) und 33,2% (Treibhauspotential). Die Energieaufwände reduzieren sich zwischen 42,6% (erneuerbare Primärenergie) und 27,5% (Primärenergie gesamt). Im Durchschnitt stellt dies eine Verringerung von 42,26% pro Kriterium dar.

Dies veranschaulicht deutlich, dass eine Optimierung der Gebäudestruktur ein hohes Einsparpotential birgt, das in Zukunft auch genutzt werden sollte.

2.2 Abstract

Our environment is increasingly influenced by human activities. Since the beginning of industrialisation the emission rates of industry, transport and agriculture are thus experiencing a steady growth. This in turn has far-reaching consequences for our environment as is apparent from the greenhouse effect and the hole in the ozone layer which are probably the best known effects.

As a reaction to the consequences of environmental pollution terms like “ecology“ and “sustainability“ have made their way into various areas of our everyday life. They kind of symbolize the awareness of the necessity to change one’s views and to act correspondingly. The ecological principle did not spare the building industry as well. Various states implemented life cycle assessment systems which define standards for environmentally-friendly and sustainable building and certificate buildings according to these aspects.

With the computer programs for life cycle assessment currently available on the market it is possible to create life cycle assessments for buildings applying the principle of integrated assessment. However, because of the considerable number of data entering into the calculation and the different criteria to be included in the assessment, the process results in a very high level of complexity. If during the planning phase of a building it turns out that one criterion requires improvement, it is usually very time-consuming to determine optimization potentials of the composition of the building material, since the selection of another building material with better values for one criterion often results in much worse values in some other criteria.

This thesis hence deals with the development of an optimization algorithm and its implementation into a computer program named “ÖkoBOA” which automatically selects the best possible composition of building material from a component catalogue according to the input supplied by the user. Additionally, an analysis function shall provide for a fast overview of the building material and the components used in the building, as well as their respective contribution to the life cycle assessment of the building structure.

ÖkoBOA is used for the creation of life cycle assessments of component or building structures during the design and planning phase and offers the possibility to draw conclusions about the influence of the selection of building material and components at a very early stage. The results of the program can then contribute to the further planning process and will support the planner in his decisions regarding the selection of building material and components. After the building material and components to be used are determined an integrated assessment of the building can be carried out by means of the existing systems.

The following eco-criteria are considered: global warming potential, acidification potential, eutrophication potential, ozone forming potential, ozone depleting potential, renewable primary energy, non-renewable primary energy and total primary energy. Since these different eco-criteria cannot be directly compared to each other it is not possible to just add them up to a total. Although there are some approaches for the aggregation of the different eco-criteria, until today there exists no completely objective approach. This is why ÖkoBOA refrains to use strictly assigned weighting factors. In this way the user has the opportunity to aggregate the different eco-criteria freely according to his demands and subject to the local requirements with the aid of the implemented “local weighting factors” and can therefore create a life cycle assessment which is optimally adapted to the respective building project and its general conditions.

For the creation of ÖkoBOA the results found by the DAfStB/BMBF joint research project NBB “Nachhaltig Bauen mit Beton” (Sustainable building with concrete) were used. The program uses the online information system “NBB-Info” developed in the course of the above-

mentioned project as a platform and it will be freely accessible on this platform after the process for achieving the PhD degree has been completed.

ÖkoBOA consists of 16 modules which contain HTML, PHP and SQL code. These modules access a total of 23 SQL tables which together form a relational database including the required data.

The user now can independently select the required components from a component catalogue at hand and a life cycle assessment of the building structure can be calculated. Moreover, the analysis function offers the opportunity to determine the individual contributions of the different components and the building material contained therein to the life cycle assessment of the building. As a result the components and building material which offer the highest saving potential can easily be identified. Additionally, two different building variants can be directly compared to each other in order to make objective and quantitative statements about the advantages and disadvantages of the two variants. The core function of the program is the determination of the optimum building variant. This is achieved by means of the introduction of the component group as a functional unit and the weighting factors defined by the user himself. In this way the component combination for the optimum building structure regarding the respective requirements can be determined.

As evidence of the effectiveness of the program ÖkoBOA various calculations with a reference building were done. It was proven that the developed algorithm of the optimization function delivers very good results. Thus, an optimized variant "Variante A S100" shows much better values for all criteria than a randomly compiled variant "Variante I S100". In this case the emission values were reduced by 70% (acidification potential) down to 33.2% (global warming potential). The energy expenditures were reduced by 42.6% (renewable primary energy) down to 27.5% (total primary energy). This means an average reduction of 42.26% per criterion.

This clearly demonstrates that an optimization of the building structure holds a substantial saving potential which should be used in the future.

3 Einleitung

Die Menschheit beeinflusst durch ihre Aktivitäten in zunehmendem Maße die Umwelt. Beginnend mit der Industrialisierung in Europa und Amerika im 18. und 19. Jahrhundert kam es zu einem sprunghaften Anstieg verschiedener Emissionen aus Industrie, Landwirtschaft und Verkehr. Als Resultate dieser rein ökonomisch motivierten Entwicklung werden heute unter anderem der Klimawandel, das Ozonloch, das Waldsterben oder umweltbedingte Gesundheitsschäden angesehen. Mit dem Erkennen der Problematik und deren Ursachen kam es in den Industrieländern ab den siebziger Jahren zu einem Umdenken. Man erkannte, dass der immer weiter um sich greifende Prozess der Industrialisierung, der mittlerweile auch zunehmend Länder in Asien oder Lateinamerika erreicht hatte, nicht ohne Folgen für die Umwelt blieb und man begriff, dass sich die menschliche Gesellschaft in ihrer Entwicklung nicht nur nach rein ökonomischen Kriterien richten kann. Der ökologische Gedanke war somit geboren und trat langsam in den Vordergrund, was sich anfangs vor allem in der Begrenzung der Emissionen aus Industrieanlagen, Kraftwerken und Kraftfahrzeugen zeigte. Durch den Einsatz neuer Technologien wie Emissionsfiltern und Katalysatoren konnte dies auch bewerkstelligt werden.

Seitdem hält der Begriff der Ökologie auch in vielen anderen Bereichen des täglichen Lebens Einzug und hat sich mittlerweile ebenfalls in der Baubranche etabliert. Zuerst konzentrierte man sich hier auf die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäude. Vor allem eine Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenmauern, Fenstern und Dächern zeigte ein hohes Potential zur Energieersparnis und somit auch zur Emissionsreduzierung. Diese Entwicklung führte schlussendlich im Jahr 2002 zur Einführung der Energieeinsparverordnung (EnEV), die mit Änderungen 2009 heute in Deutschland für Wohngebäude, Bürogebäude und bestimmte Betriebsgebäude Mindestanforderungen an den Wärmeschutz und die Anlagentechnik stellt. Es zeigte sich zudem, dass sich der Gedanke der Ökologie besonders in diesem Aspekt durchaus mit dem Gedanken der Ökonomie vereinbaren lässt: Eine Investition zur Verbesserung der Wärmedämmung von Gebäuden sorgt durch die resultierenden Energieeinsparungen nicht nur zur Verminderung von Emissionen, sondern birgt zusätzlich auch finanzielle Vorteile, da sich die Mehrkosten für die Dämmung mit den daraus resultierenden Einsparungen bei den Heizkosten über die Jahre amortisieren.

Man erkannte jedoch auch, dass es aus ökologischer Sicht nicht sinnvoll ist, eine Wärmedämmung zu verwenden, für deren Produktion und Entsorgung mehr Emissionen verursacht werden, als diese später im Gebäudebetrieb einsparen kann. Der Begriff der „Nachhaltigkeit“ rückt deshalb seitdem immer mehr in den Fokus.

Die Ökobilanzierung stellt heute das gängige Instrument dar, um Untersuchungen zur Nachhaltigkeit eines Produkts durchzuführen. Hierbei werden sämtliche Umweltwirkungen während des gesamten Lebenswegs eines Produktes (Produktion, Nutzung und Entsorgung) und aller vor- und nachgeschalteten Prozesse analysiert. Hierzu sind derzeit diverse Computerprogramme und Datenbanken auf dem Markt, die zur Erstellung von Ökobilanzen dienen.

Verschiedene Industriestaaten führten Ökobilanzierungssysteme ein, die Standards für ein umweltfreundliches, ressourcenschonendes und nachhaltiges Bauen definieren und Gebäude nach diesen Gesichtspunkten zertifizieren. Es erscheint momentan sehr wahrscheinlich, dass in absehbarer Zeit für ein Gebäude zusätzlich zum Nachweis nach der EnEV auch eine Art „Ökozertifikat“ erstellt werden muss.

Diese Arbeit beschäftigt sich deshalb mit der Erstellung eines Algorithmus zur Optimierung von Ökobilanzen und dessen Implementierung in ein Computerprogramm, das neben den gängigen Systemen als zusätzliches Werkzeug bei der Ermittlung von Ökobilanzen helfen soll.

4 Problemstellung und Zielsetzung

4.1 Problemstellung

Derzeit sind diverse Computerprogramme auf dem Markt, mit denen sich Ökobilanzen für Gebäude erstellen lassen. Hierzu werden die im Gebäude vorhandenen Baustoffe oder Bauteile aus Datenbanken ausgewählt und damit mittels einer ganzheitlichen Bilanzierung die Ökobilanz erstellt. Die Vielzahl an eingehenden Daten und die verschiedenen Kriterien, die in die Bilanzierung eingehen erzeugen dabei eine hohe Komplexität [Ket2009].

Wird während der Planungsphase eines Gebäudes festgestellt, dass für ein bestimmtes Kriterium Verbesserungsbedarf besteht, so ist es meist nur unter hohem Zeitaufwand möglich, Optimierungspotentiale in der Baustoffzusammenstellung zu erkennen, da die Wahl eines anderen Baustoffs mit besseren Werten in dem einen Kriterium im Gegenzug oftmals zu schlechteren Werten in anderen Kriterien führt.

4.2 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Optimierungsalgorithmus, der eine optimierte Bauteilzusammenstellung für ein zu erstellendes Gebäude liefert. Dieser Algorithmus soll in ein Computerprogramm implementiert werden und aus einem Bauteilkatalog automatisch nach den Vorgaben des Users die bestmögliche Bauteilzusammenstellung liefern. Zusätzlich soll es mittels einer Analysefunktion möglich sein, auf einen Blick zu erkennen, welche in einem Gebäude verbauten Bauteile oder Baustoffe für die verschiedenen betrachteten Kriterien den größten Anteil zu der Ökobilanz der Gebäudestruktur beitragen.

Das fertige Computerprogramm ÖkoBOA soll zur Erstellung von Ökobilanzen einer Bauteil- oder Gebäudestruktur in der Entwurfs- oder Planungsphase eines Gebäudes dienen. Durch die implementierten Analyse- und Optimierungsfunktionen sollen sich somit schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt Aussagen über den Einfluss der Baustoff- und Bauteilwahl treffen lassen. Die Ergebnisse des Programms können dann in den weiteren Planungsprozess einfließen und den Planer bei seinen Entscheidungen über die Baustoff-/Bauteilwahl unterstützen. Nach der Festlegung auf die zu verwendenden Baustoffe/Bauteile kann dann mittels der existierenden Systeme eine ganzheitliche Bilanzierung des Gebäudes vorgenommen werden.

4.3 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit gliedert sich in folgende Teile:

- Einleitung – Eine kurze Einleitung in die Thematik
- Problemstellung und Zielsetzung – Motivation und Ziele der Arbeit
- Ökologie und Bauwesen – Stand der Technik
- Aggregations- und Bewertungsverfahren – Aktuell angewendete Verfahren
- Entwicklung des Analysetools – Arbeitsweise, Hintergrundwissen und Anwendungen des Programms ÖkoBOA
- Beispielrechnungen – Eine Reihe von Berechnungen zu verschiedenen Gebäudevarianten und Szenarien
- Schlussbetrachtungen – Ergebnisse dieser Arbeit
- Anhang – Quellen, Abkürzungen und Tabellen.

5 Ökologie und Bauwesen

5.1 Historie

Der Begriff Ökologie ist vom griechischen Wort *oikos* (= Haus) abgeleitet. Obwohl dieser Begriff erst in den letzten Jahrzehnten umfassende Verwendung fand, handelt es sich um eine klassische Wissenschaft, die immer stärker an Bedeutung gewonnen hat. Die erste Definition des Begriffs stammt von Ernst Haeckel:

„Unter Oecologie verstehen wir die gesamte Wissenschaft von den Beziehungen der Organismen zur umgebenden Aussenwelt, wohin wir im weiteren Sinne alle Existenz-Bedingungen rechnen können. Diese sind theils organischer, theils anorganischer Natur. ... Als organische Existenz-Bedingungen betrachten wir sämtliche Verhältnisse des Organismus zu allen übrigen Organismen, mit denen er in Berührung kommt.“ [Hae1866]

Eine moderne Definition der Ökologie schließt nach [Nen2004] folgende drei Bereiche mit ein:

- Interaktion zwischen Organismen (Individuen, Populationen, Lebensgemeinschaften)
- in ihrer abiotischen und biotischen Umwelt und
- mit Beziehungen im Energie-, Stoff- und Informationsfluss.

Der Begriff der Nachhaltigkeit ist stark mit dem Begriff der Ökologie vernetzt und beschreibt die *„unbedingt notwendige Tendenz zu maximaler Effizienz in der Nutzung des vitalen solaren Energieflusses, der uns als wesentliche Ressource bleibt, sowie zum Erhalt von Materie in hoher Ordnung.“* [Alt2009]

Bereits 1713 wurde der Begriff Nachhaltigkeit als ein Prinzip des Waldbaus aus der Forstwirtschaft erstmalig von Hans Carl von Carlowitz in [Car1713] formuliert, um den Raubbau der sich entwickelnden Industrie am natürlichen Wald einzudämmen.

In [Bun2002] findet sich folgende Definition:

„Das Konzept der Nachhaltigkeit beschreibt die Nutzung eines regenerierbaren Systems in einer Weise, dass dieses System in seinen wesentlichen Eigenschaften erhalten bleibt und sein Bestand auf natürliche Weise regeneriert werden kann.“

5.2 Ökobilanzierung im Bauwesen

In der Vergangenheit beschränkte sich die Planung, Gestaltung und Ausführung von Gebäuden primär auf ästhetische, technische und ökonomische Aspekte. Mit den zunehmenden Problemen durch die rasant ansteigende Umweltverschmutzung traten in den letzten Jahrzehnten jedoch vermehrt ökologische Aspekte in den Vordergrund von Politik und Gesellschaft. Dieser Gedanke machte auch vor dem Bauwesen keinen Halt und man erkannte, wie wichtig es auch in diesem Bereich ist, ökologische Aspekte von Anfang an in den Planungsprozess von Gebäuden mit einzubeziehen. Ziel dieser Entwicklung ist die Erstellung von möglichst umweltverträglichen Bauwerken. Wichtige Indikatoren hierfür sind nach [Ebe1995] unter anderem der Energieverbrauch, die Emissionseinträge in Luft, Wasser und Boden, das Aufkommen nicht verwertbarer Abfälle, die Minderung der Rohstoffvorräte und der Flächenbedarf der technischen Anlagen. Um diesbezüglich Aussagen treffen zu können, ist eine Analyse des gesamten Lebenswegs eines Bauwerks notwendig. Rohstoffgewinnung und Verarbeitung, Nutzung und Instandsetzung und die Entsorgung (Recycling oder Entsorgung) müssen dabei berücksichtigt werden. Ergebnis dieser Betrachtungen ist die ganzheitliche Bilanzierung, die alle zur Erstellung, zum Betrieb/zur Instandsetzung und zur Entsorgung eines Gebäudes benötigten Materialien von „der Wiege bis zur Bahre“, also über den gesamten Lebenszyklus analysiert [Eye2000].

Die normative Grundlage solcher Analysen bilden in Deutschland die DIN EN ISO 14040 und die DIN EN ISO 14044. In diesen Normen sind grundsätzliche Begriffsdefinitionen und Vorgehensweisen zur Ökobilanzierung definiert.

Finales Ziel der Ökobilanzierung ist die Einführung eines Zertifizierungssystems im Sinne der Energieeinsparverordnung (EnEV), welches auf nationaler Ebene zum Schutz von „Gütern wie Umwelt, Ressourcen, Gesundheit, Kultur und Kapital“ [Bas2011] beiträgt.

Derartige Zertifizierungssysteme existieren bereits heute, beispielsweise in Form von LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) in den USA oder BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) in Großbritannien, welche sich mittlerweile schon langjährig etabliert haben und auch in Deutschland Anwendung finden. Da diese Systeme jedoch auf den nationalen Bedürfnissen und Regelungen der Ursprungsländer basieren, lassen sie sich nicht ohne weiteres auf den durch andere nationale Regelungen und Bedürfnisse charakterisierten deutschen Markt anwenden. Aus diesem Grund wurde der Beschluss gefasst, ein nationales System zu entwickeln und zu etablieren.

Deshalb wurde 2001 der „Runde Tisch Nachhaltiges Bauen“ im Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS) als gemeinsame Initiative des Bauwirtschafts- und Bauministerium eingerichtet.

Tätigkeitsfelder dieses Runden Tisches sind/waren die Beratung der Bundesregierung zu allen Fragen des nachhaltigen Bauens, die Bildung einer Diskussionsplattform für alle relevanten Akteursgruppen, die Erarbeitung von Positionen zur internationalen und europäischen Gesetzgebung und Normung, die Erarbeitung von Grundlagen für ein Bewertungssystem und die Vorstellung und Diskussion aktueller Forschungsergebnisse. 2009 wurde in [Bes2009] beschlossen, dass das BMVBS ein Bewertungssystem „Nachhaltiges Bauen“ schnellstmöglich in die Praxis umsetzen soll. Im Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung [Koa2009] findet sich hierzu:

„Die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie wird im bewährten institutionellen Rahmen weiterentwickelt.“ und *„Der Bund wird auch in Zukunft seiner Vorbildfunktion für Baukultur und Nachhaltigkeit bei seinen Baumaßnahmen gerecht werden.“*

Nach mehrjähriger Entwicklungszeit wurde dann 2009 in Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) das „Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ eingeführt. Entscheidende Neuerung zu den bereits existierenden Systemen war die Einbeziehung aller sechs Hauptkriteriengruppen (Abbildung 1) in die Berechnungen zur Bilanzierung. Seitdem wird das System von der DGNB selbständig weiterentwickelt.



Abbildung 1: Die sechs Hauptkriteriengruppen des Deutschen Gütesiegels [Bun2011]

Die drei genannten Zertifizierungssysteme nutzen unterschiedliche Bewertungskriterien, was in Abhängigkeit zum gewählten System zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Auch die Gewichtung der Kriterien unterscheiden sich von System zu System, wie in Abbildung 2 dargestellt.

Während die Systeme BREEAM und LEED Schwerpunkte bei den ökologischen und sozialen Aspekten setzen und die ökonomischen Aspekte unbeachtet lassen (technische Aspekte werden bei LEED ebenfalls nicht beachtet), so werden beim Deutschen Gütesiegel alle Bewertungsaspekte in die Berechnungen mit einbezogen. Schwerpunkte des Deutschen Gütesiegels liegen in den ökologischen, ökonomischen, technischen und sozialen Aspekten [Bas2011, Heg2010].

| Nutzungsart Büro- u. Verwaltungsneubau | BREEAM | LEED | Deutsches Gütesiegel |
|--|--------|-------|----------------------|
| Ökologische Aspekte | 58,5% | 64,0% | 22,5% |
| Ökonomische Aspekte | 0,0% | 0,0% | 22,5% |
| Soziale Aspekte | 14,0 % | 14,5% | 16,0% |
| Funktionale Aspekte | 5,0% | 0,5% | 6,5% |
| Technische Aspekte | 5,0% | 0,0% | 22,5% |
| Aspekte des Planungsprozesses | 1,0% | 2,0% | 5,0% |
| Aspekte des Bauprozesses | 7,0% | 8,0% | 3,0% |
| Aspekte des Betriebsprozesses | 4,0% | 1,5% | 2,0% |
| Aspekte des Gebäudestandortes | 5,5% | 9,5% | Separate Bewertung |

Abbildung 2: Berücksichtigte Bewertungsaspekte für Büro- und Verwaltungsgebäude (Neubau) in den Zertifizierungsverfahren BREEAM, LEED und Deutsches Gütesiegel [Bas2011]

Auf dem deutschen Markt werden derzeit alle drei Bewertungssysteme angewendet. Die Auswahl des geeigneten Systems hängt von den individuellen Vorgaben und Zielen des jeweiligen Auftraggebers ab, wobei nach [Bau2009] folgende Faktoren zu berücksichtigen sind:

- Verfügbarkeit und Eignung des Bewertungshilfsmittels für die zu untersuchende Gebäudetypologie
- Marktdurchdringung des Zertifizierungssystems
- Anpassungsfähigkeit des Systems auf veränderte geographische beziehungsweise politische Rahmenbedingungen
- Übereinstimmung von Systeminhalten, Bewertungsmethodik und Beurteilungskriterien mit den Zielsetzungen des Auftraggebers
- Kosten der Zertifizierung
- Komplexität des Ablaufs der Zertifizierung.

5.3 Betrachtete Ökokriterien und deren Wirkung

5.3.1 Treibhauspotential (GWP)

Ursprünglich wurde der Begriff verwendet, um einen Effekt zu beschreiben, der hinter Glasscheiben und dadurch im Innenraum eines verglasten Gewächshauses die Temperaturen ansteigen lässt, solange die Sonne darauf scheint. Heute fasst man den Begriff viel weiter und bezeichnet wegen der ähnlichen physikalischer Grundlagen beider Vorgänge den atmosphärischen Wärmestau der von der Sonne beschienenen Erde als atmosphärischen Treibhauseffekt [Nbb2010a].

Durch Treibhausgase und Wasserdampf in der Atmosphäre erhitzt sich die Oberfläche eines Planeten bei Sonneneinstrahlung stärker, als sie dies ohne diese Gase täte. Die häufigste Photonenwellenlänge des Sonnenlichts beträgt ca. 500 nm. In diesem Bereich absorbiert die Atmosphäre nur wenig Strahlung. Beim Auftreffen auf die Oberfläche wird die Strahlung absorbiert und die Oberfläche erwärmt sich. Die erwärmte Oberfläche strahlt nun ihrerseits elektromagnetische Wellen ab, allerdings im Infrarotbereich (ca. 10.000 nm). Die Treibhausgase sind für diese Wellenlängen jedoch undurchlässig. Sie absorbieren die von der Oberfläche zurückgeworfene Strahlung und geben die so erhaltene Wärmeenergie über Konvektion und Absorption wieder ab. Diese Energieabgabe erfolgt in alle Richtungen, also auch wieder zurück zur Oberfläche, wodurch sich diese weiter erwärmt.

Der vom Menschen verursachte Anteil am Treibhauseffekt wird dabei als „Anthropogener Treibhauseffekt“ bezeichnet und bezieht sich auf die vom Menschen freigesetzten Treibhausgase. So stieg seit der Industrialisierung die Konzentration von Kohlendioxid (CO_2) in der Atmosphäre um ca. 30%, die von Methan (CH_4) um ca. 150% und die von Distickstoffoxid (N_2O) um ca. 17% gegenüber der vorindustriellen Werte an [Lat2006]. Die verschiedenen Gase besitzen stark unterschiedliche Verweilzeiten in der Atmosphäre, die über eine statistische Betrachtung der möglichen Abbaureaktionen bestimmt werden kann. Anhand dieser ermittelten Verweilzeiten lassen sich nach Formel (5.1) die Treibhauspotentiale (GWP) der einzelnen Gase bezogen auf CO_2 ermitteln und untereinander vergleichen [Nbb2010b]:

$$GWP_{i,T} = \frac{\int_0^T a_i c_i(t) dt}{\int_0^T a_{CO_2} c_{CO_2}(t) dt} \quad [kg_i / kg CO_2 - \ddot{A}q.] \quad (5.1)$$

a_i : Wärmestrahlungsabsorptionskoeffizient des Gases i ; $c_i(t)$: Konzentration des Gases i zum Zeitpunkt t ;
 T : Integrationszeitraum (in Abhängigkeit des Betrachtungszeitraums 20, 100, 500 Jahre) [Nbb2010b]

Folgen eines erhöhten Treibhauseffekts sind Veränderungen der Niederschlagswerte, des Meeresspiegels, der Bewölkung, der Meeresvereisung und Schneebedeckung. Auch in jüngster Zeit häufiger auftretende extreme Wetterereignisse wie z.B. der Hitzesommer 2003 „(...) lässt sich keinesfalls allein durch einen Erwärmungstrend erklären (...)“ [Schö2005]. Allein in Deutschland können, bei einer Erhöhung der globalen Oberflächentemperatur bis zum Jahr 2100 um $4,5^\circ C$, durch die genannten Effekte bis zum Jahr 2050 Kosten bis zu 800 Mrd. Euro entstehen, bis zum Jahr 2100 sogar fast 3000 Mrd. Euro [Kem2007]. Diese Erhöhung um $4,5^\circ C$ liegt durchaus im Bereich des Möglichen, wobei verschiedene Klimamodelle für eine Verdopplung der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre, bezogen auf den vorindustriellen Wert, eine Erwärmung zwischen $0,24^\circ C$ und $9,6^\circ C$ prognostizieren [And2007]. Andererseits werden in [Wan2005] weitere Einflüsse auf den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung genannt, wie z.B. die Sonnenaktivität und der Vulkanismus, deren genaue Auswirkungen noch nicht ausreichend genau beziffert werden können.

5.3.2 Versauerungspotential (AP)

Seit Beginn der Industrialisierung werden, vor allem durch Verbrennungsprozesse schwefelhaltiger fossiler Brennstoffe, vom Menschen vermehrt Stickoxide (NO_x) und Schwefeldioxid (SO_2) freigesetzt. Diese reagieren mit dem in der Atmosphäre enthaltenen Wasser zu Schwefel- und Salpetersäure, die den pH-Wert der Regentropfen auf einen Wert unter den für reines Wasser in der Atmosphäre normalen Wert von ca. 5,5 verringern und somit zu „saurem Regen“ führen [Dre1996]. Saurer Regen hat weitreichende Auswirkungen auf Vegetation, Gewässer, Gebäude, Böden und die menschliche Gesundheit. Durch die Veränderung des pH-Werts von Böden können Schwermetallionen gelöst werden, die zu einem Absterben des Feinwurzelwerks von Pflanzen führen. Derart geschädigte Pflanzen besitzen nur noch eine stark verringerte Widerstandskraft gegen Schädlinge oder Krankheiten [Schw1997, Feg1995].

In Gewässern führt eine Veränderung des pH-Werts zu einer Anreicherung von Metallkationen im Wasser, was in einer Artenverarmung resultiert. Außerdem sind alle Tierarten, die Kalk aus dem Wasser filtern, um damit Behausungen zu erstellen (Muscheln, Korallen, Schnecken, ...) unbedingt auf einen stabilen pH-Wert angewiesen. Sinkt dieser zu stark ab, würde sich der Kalk der Schalen auflösen.

Auch Gebäude werden durch den sauren Regen angegriffen. Insbesondere Kalkstein, aber auch Sandstein und Beton zeigen ein stark beschleunigtes Verwitterungsverhalten, wenn sie saurem Regen ausgesetzt werden [Dre1996].

Nach Formel (5.2) lässt sich bestimmten Emissionen ein Versauerungspotential AP zuweisen, indem man die im Molekül vorhandenen S-, N-, und Halogenatome ins Verhältnis zur Molmasse setzt [Nbb2010e]. Als Bezugssubstanz dient dabei SO_2 :

$$AP_i \frac{v_i / M_i}{v_{SO_2} / M_{SO_2}} \quad [SO_2 - \ddot{A}q.] \quad (5.2)$$

v_i = potentielle H^+ -Äquivalente je Masseneinheit der Substanz i ; M_i = Molmasse der Substanz i
[Nbb2010e]

Die betreffenden Substanzen sind Vorläufer vieler anorganischer Säuren, die über Oxidationsketten gebildet werden können. Schwefel wird dabei doppelt gezählt, da dieses Element potentiell eine zweibasige Säure bildet. Bei der Wichtung der Versauerung sollte in Betracht gezogen werden, dass diese zwar ein globales Problem darstellt, die Auswirkungen jedoch stark regional differenzieren können. Außerdem sind die Auswirkungen der Versauerung teilweise reversibel und durch Verwendung schwefelarmer Brennstoffe sowie geeigneter technischer Maßnahmen zur Schadstoffreduktion kann das Problem nachhaltig gelöst werden [Eye2000].

5.3.3 Eutrophierungspotential (EP)

Der Begriff Eutrophierung bezeichnet eine Nährstoffanreicherung an einem Standort sowohl durch natürliche, als auch durch anthropogene Ursachen. Es wird zwischen der terrestrischen und der aquatischen Eutrophierung unterschieden.

In Gewässern kommt es durch übermäßigen Nährstoffeintrag zu einem schnellen Algenwachstum, das eine verminderte Photosynthese und damit auch Sauerstoffproduktion in tieferen Wasserschichten verursacht. Abgestorbene Algen sinken ab und werden am Gewässerboden aerob abgebaut, wodurch der Sauerstoffgehalt weiter absinkt. Sinkt der Sauerstoffgehalt zu stark, kommt es zum Fischsterben. Zusätzlich werden bei Sauerstoffmangel organische Substanzen anaerob unter Bildung von Schwefelwasserstoff (H_2S) und Methan (CH_4) abgebaut und das Gewässer beginnt umzukippen. Da die Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser mit steigender Temperatur abnimmt, geschieht dies besonders im Sommer [Kla1992]. Auch in den Meeren steigt die Nährstoffkonzentration immer weiter an und kann innerhalb der nächsten 30 Jahre um bis zu 20 Prozent zunehmen [Sie2010].

Übermäßiger Nährstoffeintrag in Böden führt zu Problemen bei der Trinkwassergewinnung und verändert die Flora und Fauna. Die Artenvielfalt geht stark zurück und überdüngte Pflanzen zeigen eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Schädlingen und Krankheiten [Nbb2010c].

Hauptverantwortlich für die Eutrophierung sind Stickstoff und Phosphor.

Das Eutrophierungspotential (EP) unterschiedlicher Stoffe kann ermittelt werden, indem man die im Molekül enthaltenen N- und P-Atome nach Formel (5.3) zum Molekulargewicht ins Verhältnis setzt. Als Bezugsstoff dient hierbei das Phosphatanion:

$$EP_i = \frac{v_i / M_i}{v_{PO_4^{3-}} / M_{PO_4^{3-}}} \quad [kg PO_4^{3-} \text{ Äq.}] \quad (5.3)$$

v_i = potentielle Biomassenbilder in PO_4^{3-} -Äquivalent je Menge der Substanz i ; M_i = Molmasse der Substanz i [Nbb2010c]

Sinnvollerweise betrachtet man hierbei Ionen, die sich beim Eintrag in Wasser bilden.

Die Eutrophierung stellt ein stark regional auftretendes Problem dar, das technisch aber bedingt beherrschbar sein kann (z.B. künstliche Belüftung von Gewässern) [Eye2000].

5.3.4 Ozonschichtabbaupotential (ODP)

Das Ozonschichtabbaupotential bezieht sich auf Stoffe, die für den katalytischen Ozonabbau in der Stratosphäre verantwortlich gemacht werden. Ozon (O_3) ist ein Spurengas, das zu ca. 90% in der Stratosphäre und zu ca. 10% in der Troposphäre vorkommt. Der absolute Anteil beträgt nur wenige ppm Ozon in der Luft. Dieser geringe absolute Anteil absorbiert aber einen Großteil der ultravioletten Strahlung, die gefährliche Auswirkungen auf Menschen und Ökosysteme hat. Die Ozonkonzentration in der Stratosphäre unterliegt einem dynamischen Gleichgewicht aus diversen physikalischen und chemischen Auf- und Abbauprozessen [Nbb2010d].

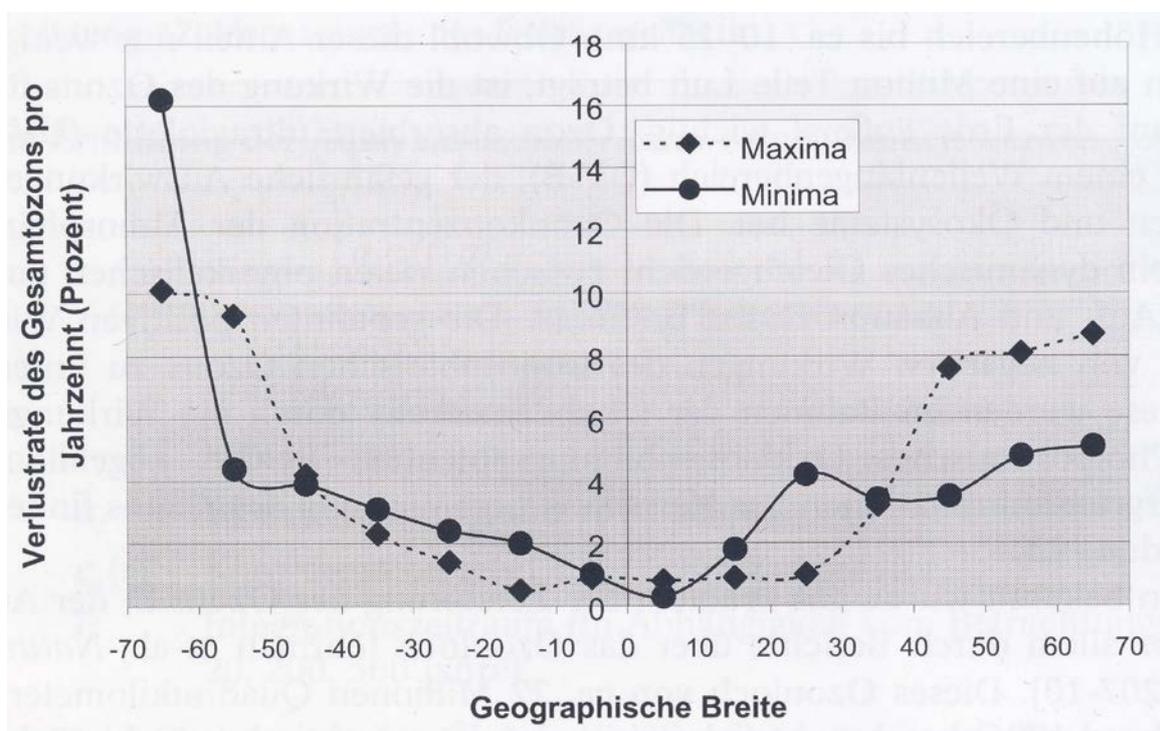


Abbildung 3: Räumliche Verteilung des Ozonverlustes [Eye2000]

Bekanntheit erlangte das Problem des Ozonabbaus in den 1980er Jahren vor allem durch das „Ozonloch“ über der Antarktis. Global gesehen findet jedoch, mit Ausnahme der äquatorialen Regionen, überall eine Abnahme der Ozonkonzentration in der Stratosphäre statt (Abbildung 3). Die energiereiche ultraviolette Strahlung hat unterschiedliche Auswirkungen wie z.B. Minderung der Ernteerträge durch Störung der Photosynthese, Abnahme des Meeresplanktons und ein zerstörerischer bzw. kanzerogener Einfluss auf die DNA, was Tumorindikationen und eine Zunahme der Mutationsrate zur Folge hat.

Für eine Klassifizierung des globalen, stratosphärischen Ozonabbaus wurde noch kein quantitatives Modell zur Wirkungsabschätzung entwickelt. Dies liegt vor allem daran, dass für den Abbau in polaren Gebieten andere chemische Mechanismen verantwortlich sind, als in gemäßigten Gebieten. Im klassischen Modell werden vor allem anthropogen emittierte Halogenwasserstoffe erfasst, welche als Katalysatoren viele Ozonmoleküle abbauen können. Aus den Ergebnissen von Modellrechnungen ergeben sich damit ozonschädigende Potentiale (ODP), die nach Formel (5.4) zum Referenz FCKW R11 in Bezug gesetzt werden:

$$ODP_i = \frac{\delta[O_3]_i}{\delta[O_3]_{R_{11}}} \quad [R_{11} - \text{Äq.}] \quad (5.4)$$

$\delta[O_3]_i$ = Modellierter Ozonabbau durch Substanz i ; $\delta[O_3]_{R_{11}}$ = Modellierter Ozonabbau durch R_{11} ;
 ODP_i = Ozonabbaupotential der Substanz i [Nbb2010d]

Bestimmende Parameter des ODP sind vor allem die Verweildauer des Stoffs in der Atmosphäre und die enthaltene Anzahl der Halogenatome [Brö2002, Eye2000, Pet2010, San2001].

5.3.5 Ozonbildungspotential (POCP)

In der Troposphäre wirkt Ozon als schädliches Spurengas, das als Zellgift schon in geringen Konzentrationen beim Menschen zu Gesundheitsschäden führen kann. Außerdem steht es stark in Verdacht, zu Material-, Wald- und Vegetationsschäden zu führen.

Der Ozongehalt in der Troposphäre unterliegt den dynamischen Prozessen der Ozonbildung und des Ozonabbaus, welche durch die folgenden Formeln aus [NBB2010f] beschrieben werden. Formel (5.5) zeigt den Ozonabbau durch Oxidation mit NO , die wichtigste Abbaureaktion:



Die Formeln (5.6) bis (5.9) zeigen die Ozonbildungsreaktionen. Durch Photolyse wird zuerst das NO_2 zu NO und O zerlegt, wobei die Geschwindigkeit der Reaktion von der Lichtintensität abhängig ist (Formel (5.6)). In einer Folgereaktion reagiert das O mit O_2 mit Hilfe eines Stoßpartners M zu O_3 (Formel (5.7)). Die schon in Formel (5.5) gezeigte Abbaureaktion ist reversibel und die Bildung und Erzeugung von O_3 und NO konkurrieren ständig miteinander (Formel (5.8)). Zwischen O_3 , NO_2 und NO entsteht somit ein photostationäres Gleichgewicht. Hierbei hängt die Ozonkonzentration vom NO_2 -/ NO -Konzentrationsverhältnis und der wirkenden Lichtintensität ab. Dieses Gleichgewicht kann durch Kohlenwasserstoffe (Molekülrest R) in der Atmosphäre beeinflusst werden, indem sie durch die Bildung von Peroxiden das NO weiter oxidieren (Formel (5.9)):





Kohlenwasserstoffen (oder flüchtigen organischen Verbindungen VOC) kann somit ein Ozonbildungspotential zugewiesen werden, da sie das NO_2 -/ NO -Verhältnis vergrößern, wodurch bei starker Sonneneinstrahlung eine Erhöhung der Ozonkonzentration verursacht wird.

Die Ozonbildung kann mittels des „photochemischen ozonbildenden Potentials“ (POCP) quantifiziert werden. Dieses wird als Menge des photochemisch produzierten Ozons angegeben. Als Referenz gilt hier das Ethen. Die Photooxidantien werden also zu Ethen in Bezug gesetzt und als Ethen-Äquivalent beschrieben (Formel (5.10)):

$$POCP_i = \frac{a_i / b_i}{a_{C_2H_4} / b_{C_2H_4}} \quad [C_2H_4 - \text{Äq.}] \quad (5.10)$$

a_i = Änderung der Ozonkonzentration aufgrund der Änderung der VOC-Emission i ; b_i = Integration der VOC-Emission i bis zu diesem Zeitpunkt; $a_{C_2H_4}$ = Änderung der Ozonkonzentration aufgrund der Änderung der Ethenemission; $b_{C_2H_4}$ = Integration der Ethenemission C_2H_4 bis zu diesem Zeitpunkt

Die konkrete Belastungssituation mit den Konzentrationen aller beteiligten Stoffe und der Lichtintensität hat einen großen Einfluss auf die POCP-Werte.

Bei der photochemischen Ozonbildung handelt es sich um ein regional stark begrenztes Phänomen, das technisch begrenzt beeinflussbar ist. Dies sollte bei der Wichtung in Betracht gezogen werden [Brö2002, Cla1975, Eye2000, NBB2010f, Pet2010].

5.3.6 Primärenergiebedarf

„Der Primärenergiebedarf ist das Quantum direkt aus der Hydrosphäre, Atmosphäre oder Geosphäre entnommener Energie oder Energieträger, die noch keiner anthropogenen Umwandlung unterworfen wurde. Bei fossilen Energieträgern und Uran ist dies z.B. die Menge entnommener Ressourcen ausgedrückt in Energieäquivalent (Energiegehalt der Energierohstoffe)(...), bei nachwachsenden Energieträgern wird z.B. die die energetisch charakterisierte Menge eingesetzter Biomasse beschrieben(...), bei Wasserkraft und Windenergie die Energiemenge, die aus der Änderung der potentiellen Energie (...) gewonnen wird.“ [Eye2000].

Unterschieden werden „Primärenergie erneuerbar“ E_e , „Primärenergie nicht erneuerbar“ E_{ne} und „Primärenergie gesamt“ E_{ges} . E_e stammt aus erneuerbaren Ressourcen, E_{ne} aus nicht erneuerbaren Ressourcen. E_{ges} bezeichnet die nicht konvertierte, nicht transformierte Energie [Wie2012].

6 Aggregations- und Bewertungsverfahren

Das Computerprogramm ÖkoBOA überlässt die endgültige Wichtung der verschiedenen Ökokennlinien dem User (siehe 7.3). Der Vollständigkeit halber sollen an dieser Stelle aber einige der existierenden Aggregations- und Bewertungsverfahren kurz vorgestellt werden.

6.1 Umweltbelastungspunkt – Ökologische Knappheit

„Unter der ökologischen Knappheit verstehen wir das Verhältnis zwischen der beschränkten Belastbarkeit der natürlichen Umwelt und dem Ausmaß der von der menschlichen Zivilisation ausgehenden Einwirkung auf diese Umwelt. Anders gesagt: Ökologische Knappheit ist gleich der Relation zwischen der generellen Belastbarkeit einer Umweltressource und der heutigen Belastung.“ [BUW1990]

Weiter lässt sich der Begriff der ökologischen Knappheit anhand der Diagramme in Abbildung 4 erläutern. Von ökologischer Knappheit ist demnach dann die Rede, wenn „die sigmoid ansteigende Kurve der ökologischen Belastung die Kurve der ökologischen Tragfähigkeit nicht schneidet, wenn also ein stabiles ökologisches Gleichgewicht nicht bedroht ist.“ [Büh1981]

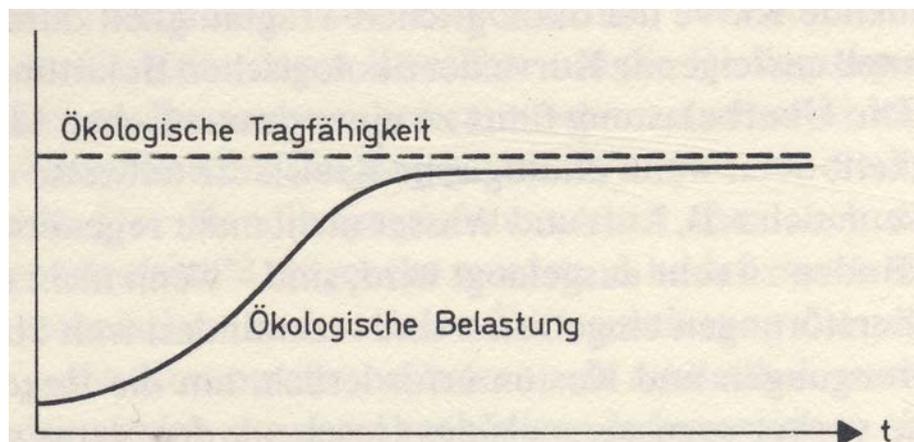


Abbildung 4: Ökologische Tragfähigkeit und ökologische Belastung [Büh1981]

Mit der Methode der ökologischen Knappheit können die Umwelteinwirkungen von Produkten oder Prozessen im Rahmen einer Ökobilanz gewichtet werden. Die Eingabegrößen (Ergebnisse einer Sachbilanz) werden hierzu in Umweltbelastungspunkte (UBP) umgerechnet. Die UBP verschiedener Umwelteinwirkungen können aufsummiert und untereinander verglichen werden. Diese Methode wurde in der Schweiz entwickelt, wird aber mittlerweile auch in Holland, Norwegen, Schweden, Belgien und Japan angewandt und ist als „Verfahren zur Wirkungsabschätzung von Sachbilanzen“ in die DIN EN ISO 14040 eingebettet.

Zur Wichtung der Umwelteinwirkungen werden „Ökofaktoren“ eingeführt, die entsprechend Formel (6.1) ermittelt werden und für jede Region neu ermittelt werden müssen:

$$\text{Ökofaktor} = K \cdot \frac{1 \cdot [\text{UBP}]}{F_n} \cdot \left(\frac{F}{F_k} \right)^2 \cdot c \quad (6.1)$$

K = Charakterisierungsfaktor eines Schadstoffs bzw. einer Ressource; F_n = Normierungsfluss;
 F = Aktueller Fluss; F_k = Kritischer Fluss; c = Konstante ($10^{12}/a$);
[UBP] = Einheit des bewerteten Ergebnisses

Hierfür werden zunächst ein bestimmter Ort oder eine Region und ein bestimmter Zeitraum festgelegt. Anhand der Istmenge (hier F), der Toleranzgrenze (hier F_k) und der Normierungs-

menge (hier F_n) wird dann der Ökofaktor des jeweiligen Stoffes berechnet. Die Normierungsmenge dient der Anpassung der jeweiligen Knappheitssituation an die aktuellen Emissionen einer Region, ist aber in der Regel mit der Istmenge identisch:

$$UBP_{Stoff} = \text{Ökofaktor}_{Stoff} \cdot \text{Output}_{Stoff} \quad (6.2)$$

$$UBP_{Prozess} = \sum UBP_{Stoffgruppen} \quad (6.3)$$

Mit dem errechneten Ökofaktor und den Daten aus der Sachbilanz können in einem nächsten Schritt die UBP eines Stoffes nach Formel (6.2) oder eines Prozesses nach Formel (6.3) ermittelt werden [Fri2008].

6.2 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

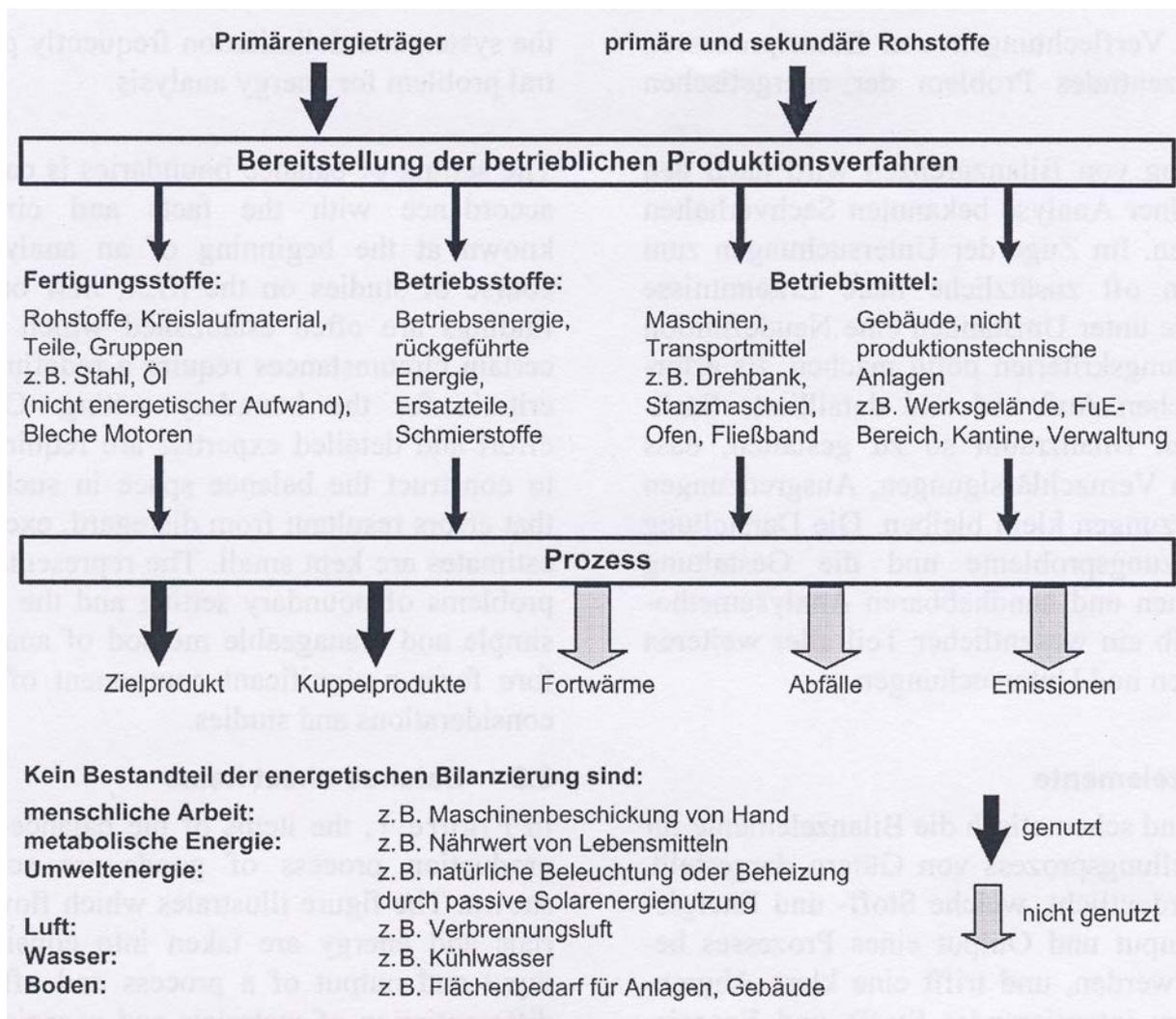


Abbildung 5: Stoff- und Energieflüsse für einen Prozess [VDI 4600]

„Der kumulierte Energieaufwand gibt die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands an, der im Zusammenhang mit Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines ökonomi-

schen Gutes (Produkt oder Dienstleistung) entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann.“ [Scha1995]

Das Endergebnis des KEA ist eine einzelne Zahl, welche die benötigte Energiemenge über den gesamten Lebenszyklus eines ökonomischen Guts angibt und somit verschiedene Güter direkt vergleichbar macht. Diese Zahl kann jedoch nach den verschiedenen Abschnitten des Lebenswegs oder nach den beteiligten Primärenergieträgern weiter differenziert werden. Die Methodik zur Ermittlung des KEA, sowie Definitionen der wesentlichen Randbedingungen sind in VDI 4600 gegeben [Häu1995, Hup2000, Gla1995].

Die nach VDI 4600 in die KEA-Berechnung eingehenden Stoff- und Energieflüsse sind in Abbildung 5 dargestellt.

6.3 Material Input pro Serviceeinheit – MIPS

Als grundlegendes Maß zur Abschätzung der von einem Produkt verursachten Umweltbelastung wurde das System des Material Input pro Serviceeinheit (MIPS) entwickelt.

Das MIPS ist dabei das Maß für die Materialintensität (Materialverbrauch) pro Einheit Dienstleistung/Produkt über das gesamte Produktleben. Dabei werden jegliche Material- und Energieströme erfasst, die während des Lebenszyklus eines Produkts/einer Dienstleistung Verwendung finden, und auf die Serviceeinheit (Nutzungseinheiten des Produkts/der Dienstleistung) bezogen. Damit ist das MIPS ein quantitatives Maß für den Natureinsatz.

Die in das MIPS eingehenden Prozesse sind in Abbildung 6 dargestellt.

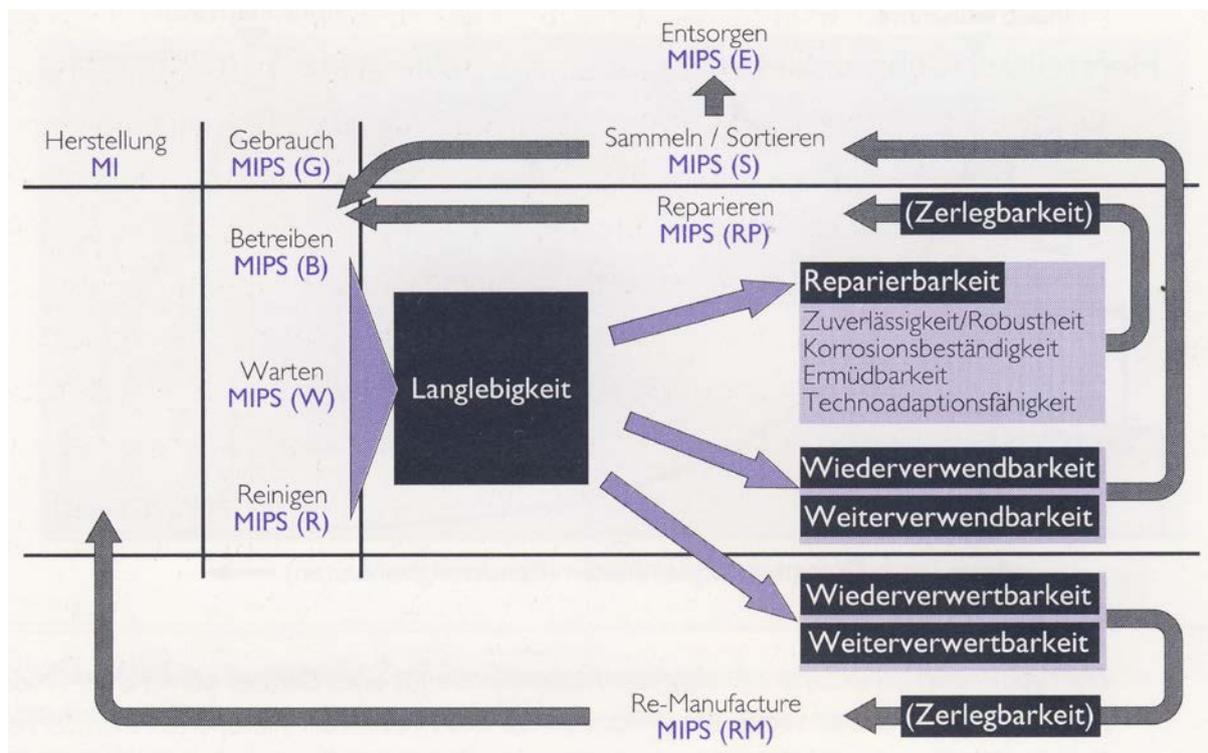


Abbildung 6: Überblick über die verschiedenen Abschnitte im Leben eines dienstleistungsfähigen Endproduktes und die zugehörigen MIPS [Schm1994]

Da sich das MIPS mit der Anzahl der Nutzungen des Produktes ändert, kann dessen Verlauf als Diagramm über die Lebensdauer des Produktes dargestellt werden. Ein Beispiel hierzu ist für das Produkt „Waschmaschine“ in Abbildung 7 dargestellt.

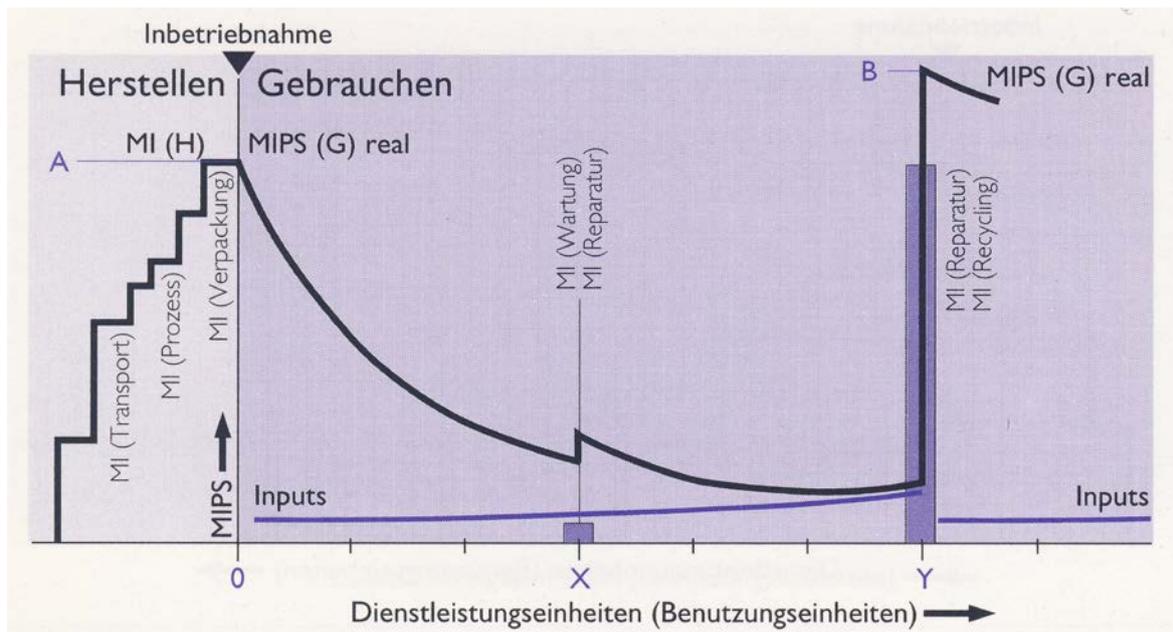


Abbildung 7: MIPS über die Lebensdauer des Produktes „Waschmaschine“ [Schm1994]

Hierbei steigt während der Produktionsphase die Materialintensität an. Nach der Fertigstellung beginnt die Nutzungsphase, in der das MIPS bei wachsender Anzahl von Nutzungen wieder abnimmt. Für jede Nutzung ist jedoch ein Input notwendig (hier Wasser, Energie und Waschmittel), der als blaue Funktion dargestellt ist. Das MIPS nähert sich asymptotisch dieser Funktion, was dessen Abnahme verringert. Mit steigendem Alter lässt der Wirkungsgrad der Waschmaschine nach, wodurch der Input ansteigt. Mit zunehmendem Alter kann dies dazu führen, dass ein Minimum der MIPS-Kurve wieder überschritten wird. Zum Zeitpunkt X wird eine kleinere Reparatur an der Waschmaschine durchgeführt, deren Material- und Energieeinsatz das MIPS leicht erhöht. Zeitpunkt Y markiert eine sehr aufwändige Reparatur, die zwar den Wirkungsgrad steigert (Input fällt auf den Anfangswert), aber durch den notwendigen Material- und Energieaufwand das MIPS so stark erhöht, dass es sogar den Anfangswert direkt nach der Herstellung überschreitet. Nach ökologischer Sicht wäre dies ein unsinniger Material- und Energieeinsatz [Schm1994, Schm1998].

6.4 Sustainable Process Index – SPI

Der SPI basiert auf der Idee, für jeden Prozess eine benötigte spezifische Fläche zu ermitteln, um diesen nachhaltig in die Ökosphäre einzubetten. Dabei wird die Erdoberfläche als Basisdimension definiert und die solare Exergie als primäres Einkommen angesehen. Im Rahmen einer LCA ermittelten Stoff- und Energieflüssen werden dann äquivalente Flächen zugewiesen.

„Der SPI ist eine Verhältniszahl, welche die zuvor ermittelte spezifische Fläche für einen Prozess in Relation zu einer statistisch ermittelten Fläche stellt. Die statistisch ermittelte Fläche entspricht jener Fläche, welche jedem Menschen auf der Erde zur Verfügung steht.“ [Ket2009]

Jeder Mensch hat nach Formel (6.4) eine Fläche a_{in} zur Verfügung, welche die Summe aller seiner Bedürfnisse a_{tot} nach z.B. Nahrung, Bekleidung, Wohnung, Mobilität, Hobby und Freizeit erfüllen muss:

$$SPI = \frac{a_{tot}}{a_{in}} \quad (6.4)$$

Für einen $SPI = 1$ ist die benötigte Fläche genau so groß wie die zur Verfügung stehende. Die Gesellschaft wäre demnach nachhaltig ausgeglichen.

Die für einen Prozess benötigte Fläche A_{tot} ergibt sich nach Formel (6.5):

$$A_{tot} = A_R + A_E + A_I + A_S + A_P \quad [m^2] \quad (6.5)$$

A_R = Produktion von Rohmaterialien; A_E = Bereitstellung von Prozessenergie;
 A_I = Bereitstellung der Installation; A_S = Personal; A_P = Produktdissipation

$$a_{tot} = \frac{A_{tot}}{S_{tot}} \quad (6.6)$$

Der Prozess liefert nach Formel (6.6) dabei einen Output, der S_{tot} entspricht und auf ein Jahr bezogen ist, wobei a_{tot} die die Fläche einer Dienstleistungs- oder Outputeinheit bezogen auf ein Jahr darstellt [Ket2009].

6.5 Probleme der Bewertungsverfahren

Allen verschiedenen Bewertungsverfahren gemeinsam ist das Problem der Systemabgrenzung und die Definition der Abschneidekriterien. Hierbei stellt sich die Frage nach der Behandlung von Koppelprodukten, nach der Abgrenzung zu anderen Systemen und nach der Berücksichtigung des Recycling. Stark vernetzte Energie- und Stoffkreisläufe lassen sich zudem nur schwer einzelnen Produkten oder Systemen zuweisen [Gla1995].

Ein weiteres Problem liegt in der rein objektiven Aggregation verschiedener Wirkungsgrößen und deren Gewichtung zueinander.

7 Entwicklung des Analysetools

Das Ergebnis dieser Arbeit ist das Computerprogramm ÖkoBOA (ÖkoBilanz Optimierung und Analyse). Dieses wurde konzipiert, um schon während der Planungsphase eines Gebäudes Aussagen über die ökologischen Auswirkungen der Gebäudestruktur in Bezug auf deren Erstellung und Entsorgung treffen zu können und diese gegebenenfalls hinsichtlich der Bauteil- und Baustoffauswahl zu analysieren und optimieren. Die Ergebnisse des Programms sollen als Basis für weitere Ökobilanzierungen hinsichtlich der geplanten Gebäudenutzung dienen.

7.1 Begriffe

Die folgenden Begriffe sind zum Verständnis der Arbeitsweise des Computerprogramms ÖkoBOA zwingend erforderlich und werden deshalb kurz erläutert. Sind keine Quellen angegeben, so handelt es sich um selbst festgelegte Definitionen, die in dieser Arbeit zur genauen Abgrenzung von Homonymen angewandt werden.

7.1.1 Baustoff

In dieser Arbeit wird der Baustoff als kleinste funktionelle Einheit betrachtet. Ökologische Betrachtungen auf Baustoffebene werden in der Regel von den Herstellern der Baustoffe zur Analyse und Optimierung der Herstellungsprozesse herangezogen. Als Systemgrenze wird hierbei das Werkstor der Produktionsstätte definiert [Küm2000, Wie2012, Eye2000].

7.1.2 Baustofflebensdauer

Die Lebensdauer eines Baustoffs wird hier als die Zeitspanne definiert, nach der ein Baustoff seine Funktionsfähigkeit (gemäß DIN 31051) verliert und deshalb ausgetauscht oder instand gesetzt werden muss.

7.1.3 Bauteil

Das Bauteil stellt nach dem Baustoff die nächstgrößere funktionelle Einheit (7.1.9) dar. Ein Bauteil ist ein abgeschlossener, aus einem oder mehreren Baustoffen bestehender Teil eines Gebäudes, dem eine spezifische Funktion zugeordnet wird [Wie2012].

7.1.4 Bauteilgruppe

Die Bauteile in der Bauteilliste (7.1.6) werden, in Abhängigkeit ihrer Funktion und im Sinne einer funktionellen Einheit (7.1.9), so genannten Bauteilgruppen zugeordnet. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit wurden 10 verschiedene Bauteilgruppen betrachtet: Außenwände, Kelleraußenwände, Innenwände, Stützen, Dächer, Decken, Unterzüge, Bodenplatten/Fundamente, Fenster und Türen. Die Einteilung in Bauteilgruppen ist notwendig, um die Funktionen der Analyse und automatischen Optimierung des Computerprogramms ÖkoBOA zu ermöglichen. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die verschiedenen Bauteile innerhalb derselben Bauteilgruppe vergleichbare statische und bauphysikalische Eigenschaften aufweisen.

7.1.5 Bauteilkatalog

Der Bauteilkatalog stellt die Gesamtheit aller dem System bekannten Bauteile der verschiedenen Bauteilgruppen dar. Diese sind mit den im Forschungsprojekt NBB (7.5) verwendeten Bauteilen bis auf wenige Ausnahmen (siehe 7.2) identisch und der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) entnommen. Genauere Angaben zu den Bauteilen finden sich in [Wie2012]. Der in 7.4.8 aufgeführte Bauteilkatalog dient exemplarisch zum Nachweis der Funktionalität des Computerprogramms ÖkoBOA und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

7.1.6 Bauteilliste

Die Bauteilliste stellt eine vom User des Systems aus dem Bauteilkatalog zusammengestellte Kombination von Bauteilen für eine spezielle Gebäudevariante dar.

7.1.7 Bauteiltyp

In der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) erfolgt eine Gliederung der verschiedenen Bauteile in Bauteiltypen (Attribut „Typ“). Diese Bauteiltypen sind: „Dächer“, „Innenwände“, „Außenwände“, „Fenster und Türen“, „Decken“ und „Gründung“. Diese Bauteiltypen können Bauteile mit unterschiedlicher Funktion beinhalten. So enthält der Bauteiltyp „Innenwände“ sowohl Innenwände als auch Stützen, „Außenwände“ sowohl Außenwände (oberirdisch) als auch Kelleraußenwände, „Decken“ sowohl Decken als auch Unterzüge, und „Fenster und Türen“ sowohl Fenster als auch Türen. Diese Einteilung stellt jedoch keine funktionelle Einheit nach (7.1.9) dar und kann somit nicht für die Optimierungsfunktion von ÖkoBOA verwendet werden. Aus diesem Grund wurde mit Hilfe der SQL-Tabelle „bauteilzuordnung“ (7.7.5) eine neue Einteilung der Bauteile in Bauteilgruppen (7.1.4) vorgenommen, die den Grundsatz der funktionellen Einheit erfüllt.

7.1.8 Bilanzwert

Als Bilanzwerte werden in dieser Arbeit die bilanzierten Ökodaten aller Ökokriterien der verschiedenen Baustoffe über die gesamte Gebäudelebensdauer pro Baustoffeinheit bezeichnet. Weist ein Baustoff eine geringere Baustofflebensdauer als die Gebäudelebensdauer auf, so wird dieser beim Erreichen seiner maximalen Baustofflebensdauer erneut eingebaut (auch mehrfach). Dies geschieht selbst dann, wenn der Baustoff nach seinem erneuten Einbau bis zum Erreichen der Gebäudelebensdauer nicht mehr seine gesamte Baustofflebensdauer erreicht. Der Begriff „Bilanzwert“ wurde hier eingeführt, um die Bilanzierung eines Baustoffs gegen die Bilanzierung eines Bauteils oder des Gesamtgebäudes abzugrenzen.

7.1.9 Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit wird nach DIN EN ISO 14040 der „quantifizierbare Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit“ definiert. In dieser Arbeit werden die funktionellen Einheiten Baustoff, Bauteil, Bauteilgruppe und Gesamtgebäude betrachtet.

7.1.10 Gebäudelebensdauer

Als Gebäudelebensdauer wird die geplante Nutzungsdauer des Gebäudes bezeichnet, die vom Auftraggeber im Basisanforderungsprofil angegeben ist [Wie2012]. Erreicht ein Gebäude seine Gebäudelebensdauer, so wird es, unabhängig von den Baustofflebensdauern, rückgebaut und entsorgt.

7.1.11 Gebäudevariante

Als Gebäudevarianten werden im Folgenden unterschiedliche, aus der Bauteilliste erstellte Bauteilkombinationen für ein exemplarisch zu errichtendes Gebäude betrachtet.

7.1.12 HTML

HTML (Hypertext Markup Language) ist eine textbasierte Auszeichnungssprache, die bei der Strukturierung von Bildern, Text und Hyperlinks Anwendung findet und von der „International Organisation for Standardization“ (ISO) standardisiert wird. HTML-Marken geben Anweisungen bezüglich des Layouts einer Seite und definieren Verweise auf andere WWW-Seiten.

HTML-Dokumente werden von Webbrowsern dargestellt und bilden die Grundlage des World Wide Web [Cla2001, Vog2004].

7.1.13 MySQL

MySQL ist ein weit verbreitetes Open-Source-Datenbanksystem, das am Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart zum Zugriff auf SQL-Datenbanken auf dem Institutsserver verwendet wird [Fra2006].

7.1.14 Nutzerbezogener Wichtungsfaktor

Als nutzerbezogene Wichtungsfaktoren f_i werden die vom User des Computerprogramms ÖkoBOA individuell festgelegten Wichtungsfaktoren für die verschiedenen Ökokriterien bezeichnet (siehe hierzu 7.3). Diese Wichtungsfaktoren dienen der Optimierungsfunktion des Programms zur Ermittlung einer optimalen, speziell auf die Ansprüche eines Users zusammengestellten Gebäudevariante.

7.1.15 Ökobilanz

„Ökobilanzen schätzen auf systematische Weise die Umweltaspekte und -wirkungen von Produktsystemen ab, von der Rohstoffgewinnung bis zur endgültigen Beseitigung, in Übereinstimmung mit dem festgelegten Ziel und Untersuchungsrahmen“ [DIN EN ISO 14040].

In dieser Arbeit wird der Begriff „Ökobilanz“ speziell für Bauteile und das Gesamtgebäude gebraucht. Hierbei wird über die gesamte Gebäudelebensdauer bilanziert, jedoch ausschließlich die Gebäude und Bauteilstruktur (Konstruktion und Entsorgung). Die durch die Nutzung anfallenden Emissionen gehen nicht in die Ökobilanz ein (siehe 7.4). Die in den Bauteilen enthaltenen Baustoffe werden beim Erreichen ihrer maximalen Baustofflebensdauer erneut eingebaut (auch mehrfach). Dies geschieht auch dann, wenn der Baustoff nach seinem erneuten Einbau bis zum Erreichen der Gebäudelebensdauer nicht mehr seine gesamte Baustofflebensdauer erreicht.

7.1.16 Ökodatens

Als Ökodatens werden die in der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) enthaltenen Rohdaten der Baustoffe pro Baustoffeinheit bezeichnet. Diese Daten sind über die Baustofflebensdauer bilanziert und getrennt nach den Prozessarten Konstruktion und Entsorgung, den verschiedenen Ökokriterien und den Einbau-/Entsorgungszeitpunkten aufgeführt.

7.1.17 PHP

PHP ist eine serverseitig ausgeführte, freie Programmiersprache, die hauptsächlich zur Erstellung von dynamischen Webseiten Verwendung findet. Hierzu können Anweisungen in HTML-Dokumenten formuliert werden. Es handelt sich um eine Skriptsprache, deren Syntax mit der von C und Perl verwandt ist und die sowohl Datenbankunterstützung bietet, als auch diverse Funktionsbibliotheken beinhaltet [Fra2006, Vog2004].

7.1.18 phpMyAdmin

Hierbei handelt es sich um eine frei verfügbare PHP-Applikation, die zur Administration von MySQL-Datenbanken verwendet wird. Der Zugriff auf die zu verwaltende Datenbank erfolgt dabei mittels eines Webbrowsers [Fra2006].

7.1.19 Prozessarten

Als Prozessarten werden im Folgenden die Konstruktion und Entsorgung eines Gebäudes und aller enthaltenen Bauteile und Baustoffe bezeichnet. Diese Bezeichnung resultiert aus der SQL-

Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12), in welcher die Ökodaten getrennt nach diesen beiden Prozessarten aufgeführt werden. Zur Steigerung der Nachvollziehbarkeit der Programmierung wurden diese Termini beibehalten.

7.1.20 Relationale Datenbanken

Heutige Datenbanksysteme basieren zu einem Großteil auf dem Modell der relationalen Datenbanken. Die mathematische Grundlage dieses Modells bildet die Relationstheorie, die ein formelles System für den Umgang mit Datentupeln liefert:

„Eine n -stellige Relation R ist bekanntlich eine Menge von Tupeln der Form (w_1, w_2, \dots, w_n) . Jedes Tupel ist damit eine geordnete Kombination von genau n Werten, wobei jeder dieser Werte w_i einer bestimmten Wertemenge D_i (=Domain) angehört. In mathematischer Sprechweise ist die Relation also eine Teilmenge des kartesischen Produkts (Kreuzprodukt) der Domain - formal: $R \subseteq D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$. Das kartesische Produkt ist die Basis zur Definition eines Relationsschemas $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$, wobei $A_1, A_2 \dots$ eine Liste von benannten Attributen ist und dem Attribut A_i die Wertemenge D_i zugeordnet ist. Eine Relation lässt sich gut durch eine Tabelle veranschaulichen, in der jedes ihrer Tupel durch eine eigene Zeile dargestellt wird. Die Spalten der Tabelle entsprechen den n Komponenten des Relationsschemas. Für jede Spalte ist damit eine Domain festgelegt, also eine Wertemenge, der ihre Einträge angehören müssen. Zudem entspricht die Spaltenfolge der Attributreihenfolge im Relationsschema.“ [Vog2004]

Die Daten werden also in Relationen (im Folgenden in Anlehnung an den deutschen Sprachgebrauch als „Tabellen“ bezeichnet) gespeichert. Zwischen diesen Tabellen werden Beziehungen definiert, um somit verschiedene spezifische Informationen miteinander verknüpfen zu können.

7.1.21 Relativwerte

Als Relativwerte W_r werden die zum direkten Vergleich verschiedener Bauteile innerhalb einer Bauteilgruppe benutzten Werte bezeichnet. Diese Werte werden ermittelt, indem innerhalb einer Bauteilgruppe alle Ökobilanzwerte für ein bestimmtes Ökokriterium ausgelesen und sortiert werden. Der niedrigste noch positive Wert wird dann als 1 definiert und alle restlichen Werte auf diesen bezogen. Eine genaue Beschreibung der Ermittlung der Relativwerte ist in 7.4 gegeben.

7.1.22 SQL

SQL (Structured Query Language) ist eine von der „International Organisation for Standardization“ (ISO) standardisierte, weit verbreitete Sprache zur Definition und Manipulation von Datenstrukturen in relationalen Datenbanken. Aus Datenbanksicht stellt eine Relation eine mit einem Bezeichner versehene, 2-dimensionale Tabelle dar. Die Spalten werden als Attribute bezeichnet und besitzen einen eindeutigen Bezeichner (Attributname), sowie einen Wertebereich. Die Zeilen werden als Datensätze bezeichnet [Cla2001, Vog2004].

7.1.23 Szenario

Als Szenarien werden in dieser Arbeit die unterschiedlichen Kombinationen aus vorgegebener Gebäudelebensdauer und nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren bezeichnet.

7.1.24 Tag

Als „tag“ werden in der Informatik spezielle Symbole bezeichnet, die der Auszeichnung dienen [Cla2001]. In dieser Arbeit werden bestimmte Schlüsselwörter in den SQL-Tabellen, die der Kategorisierung dienen, als „tag“ bezeichnet.

7.2 Analyse der Eingangswerte

Die Eingangswerte zur Berechnung der Bauteil- und Gebäudestrukturökobilanzen finden sich gänzlich in der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12). Diese Tabelle wurde im Rahmen des DAfStB/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“ (NBB) (siehe 7.5) ermittelt und dem IWB zur Implementierung der Online-Plattform „NBB-Info“ (7.5.1) zur Verfügung gestellt.

Zur Ermittlung der Ökodaten wurden dabei hauptsächlich die Datenbanken „GaBi 4“ und „Ökobau.dat“ verwendet. Der genaue Ermittlungsmodus der einzelnen Werte und Erläuterungen zur Vorgehensweise ist in [Wie2012] aufgeführt.

Wie in 7.7.12 genauer beschrieben, liegt die SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ in nicht normalisierter Form vor und besteht zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit aus ca. 21.100 Datensätzen.

Mittels des Moduls „relativwerte.php“ (7.6.8) und der SQL-Tabelle „relativwerte“ (7.7.17) wurden die in „lca_stamm_bauteile“ enthaltenen Datensätze auf Plausibilität überprüft. Hierbei wurde Folgendes festgestellt:

Die in „lca_stamm_bauteile“ enthaltenen Bauteile des Typs „Stütze“,

- Stütze Typ V - Stahlbeton C30/37 24x24 cm, Innenanstrich,
- Stütze Typ IV - Stahlbeton C40/50 24x24 cm, Innenanstrich

liegen nur unvollständig vor. Hierzu existieren in der Tabelle jeweils nur die Ökodaten des Baustoffs „Innenanstrich“, weitere enthaltene Baustoffe und deren Ökodaten fehlen.

Das in „lca_stamm_bauteile“ enthaltene Bauteil des Typs "Innenwand",

- IW Typ VI - Verkleidung Fliesen (Bedarf)

stellt kein vollständiges Bauteil im eigentlichen Sinne dar, sondern eine zusätzliche Baustoffschicht aus Fliesen, die nach Bedarf auf andere Innenwandkonstruktionen aufgebracht werden kann.

Die in „lca_stamm_bauteile“ enthaltenen Bauteile des Typs „Decke“,

- Decke Typ V - Stb C25/30 28 cm ohne Belag, unterseitig 10 cm Mineralwolle, kaschiert,
- Decke Typ V-b - Stb C25/30 25 cm ohne Belag, unterseitig 10 cm Mineralwolle, kaschiert,
- Decke Typ V-w - Stb C25/30 25 cm ohne Belag, unterseitig 10 cm Mineralwolle, kaschiert,
- Decke Typ V-p - Stb C25/30 28 cm ohne Belag, unterseitig 20 cm Mineralwolle, kaschiert,
- Decke Typ V-CEM I - Stb C25/30 28 cm ohne Belag, unterseitig 10 cm Mineralwolle, kaschiert,
- Decke Typ V-CEM IIIa - Stb C25/30 28 cm ohne Belag, unterseitig 10 cm Mineralwolle, kaschiert,
- Decke Typ xx-1 - nur Belag: Zementestrich 5 cm, Teppichboden,
- Decke Typ xx-2 - nur Belag: Zementestrich 5 cm, Naturstein,
- Decke Typ xx-3 - nur Belag: Zementestrich 5 cm, Fliesenbelag,
- Decke Typ xx-4 - nur Belag: Zementestrich 5 cm, Parkett

stellen keine vollständigen Bauteile im eigentlichen Sinne dar. Hierbei handelt es sich um Deckenaufbauten ohne Beläge, bzw. deren Beläge ohne den eigentlichen Deckenaufbau.

Die genannten Bauteile eignen sich nicht für ein automatisiertes Einlesen der Ökodaten und wurden deshalb nicht in den Bauteilkatalog (7.4.8) übernommen. Dies wurde händisch durchgeführt: In der SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“ (7.7.23), welche die Zuordnung der Bauteile zu den verschiedenen Bauteilgruppen ermöglicht, wurde manuell das Attribut „Zuordnung“ der genannten Bauteile derart verändert, dass diese keiner Bauteilgruppe zugewiesen werden und somit von den Berechnungsroutinen nicht mehr erfasst werden.

7.3 Gewichtung der Einzelfaktoren

Die Ökobilanzierung von Bauteilen und Gebäuden bleibt in dieser Arbeit auf die in 5.3 genannten acht Ökokriterien beschränkt. Die Auswahl genau dieser Ökokriterien resultiert im Wesentlichen auf den in [Bun1993, Bun1998] nachzulesenden Ergebnissen. Um eine Bauteil- oder eine Gebäudestruktur optimieren zu können, ist es erforderlich eine Gesamtbewertung über die Bilanzwerte der verschiedenen Ökokriterien vorzunehmen. In [Lün1999] findet sich hierzu Folgendes:

„Eine Gewichtung ist erforderlich, um Bewertungsergebnisse von Umweltkriterien, die in der Hierarchie nebeneinander stehen, zum übergeordneten Bewertungsergebnis zusammenzufassen. Ein objektiver Ansatz ist dazu nicht möglich.“

Die unterschiedlichen Ökokriterien sind nicht direkt miteinander vergleichbar und können deshalb nicht einfach zu einer Gesamtsumme aufaddiert werden. Es ist zu beachten, dass sich die Auswirkungen auf die Umwelt mitunter stark in Bezug auf räumliche und zeitliche Dimensionen, aber auch in Bezug auf die Reversibilität der verursachten Umweltschäden unterscheiden. In verschiedenen Ansätzen wird versucht, dies zu berücksichtigen und Aggregationsmechanismen zu entwickeln, die diesem Sachverhalt gerecht werden (siehe hierzu 6). Ein vollständig objektiver Ansatz zur Aggregation der verschiedenen Ökokriterien ist jedoch bis heute nicht entwickelt worden. Vielmehr muss ein Entscheidungsträger, je nach Einzelfall und auf die jeweilige Zieldefinition bezogen, bei jedem Projekt selbst Entscheidungen treffen, wie die verschiedenen Ökokriterien zu aggregieren sind. Derartige Entscheidungen werden oftmals aufgrund aktueller politischer Entscheidungen, wirtschaftlicher Randbedingungen oder unter Berücksichtigung öffentlicher Interessen getroffen [Lün1999]. Diese können sich jedoch jederzeit, aufgrund aktueller Ereignisse oder neuer Forschungsergebnisse, relativ schnell ändern.

Deshalb wurde beim Erstellen des Computerprogramms ÖkoBOA davon abgesehen, mit fest vergebenen Wichtungsfaktoren zu arbeiten. Vielmehr ist es hier dem User möglich, mittels der eingeführten nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren, die je nach aktuellem Bedarf, Kenntnisstand und lokaler Anforderung manuell eingestellt werden können, die unterschiedlichen Ökokriterien frei miteinander zu aggregieren und somit eine auf das spezielle Bauprojekt und dessen Rahmenbedingungen abgestimmte Ökobilanz zu generieren.

7.4 Arbeitsweise

Das Computerprogramm ÖkoBOA soll zur Erstellung von Ökobilanzen einer Bauteil- oder Gebäudestruktur in der Entwurfs- oder Planungsphase eines Gebäudes dienen und sowohl Analyse- als auch Optimierungsfunktionen bieten.

Zur Erstellung der Ökobilanzen wird dabei auf einen Bauteilkatalog zurückgegriffen, der in Form einer SQL-Tabelle vorliegt und die Baustoffe, Bauteile und Ökodaten enthält. Aus dieser SQL-Tabelle werden je nach Arbeitsschritt die relevanten Daten ausgelesen und mit diesen weitere Berechnungen durchgeführt.

Die Optimierungsfunktion basiert im Wesentlichen auf der Einführung der „Bauteilgruppe“ als neuer funktioneller Einheit. Dadurch bietet sich die Möglichkeit, innerhalb dieser Bauteilgrup-

pen in Abhängigkeit der vom User festgelegten nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren ein optimales Bauteil aus dem Bauteilkatalog zu ermitteln.

Die Analysefunktion liefert dem User umgehend einen Überblick darüber, wie groß der Einfluss eines bestimmten Bauteils auf die Ökobilanz der gesamten Gebäudestruktur ist. Auch über den Einfluss eines Baustoffs auf die Ökobilanz eines bestimmten Bauteils lässt sich hiermit schnell eine Aussage treffen.

Dies alles ermöglicht das Arbeiten mit den ansonsten sehr großen und unübersichtlichen Datenmengen eines Bauteilkatalogs, ohne dabei den Überblick zu verlieren.

Die genaue Arbeitsweise des Computerprogramms ÖkoBOA lässt sich in mehrere Arbeitsschritte unterteilen, die in den folgenden Unterkapiteln erläutert werden.

7.4.1 Ermittlung der Ökodat

Die Ökodat der verschiedenen Baustoffe werden direkt aus der SQL-Tabelle „lac_stamm_bauteile“ (7.7.12) übernommen. Hierzu werden die Baustoffe (je nach Anwendung alle in der Datenbank enthaltenen, oder nur die wirklich in der aktuellen Bauteilliste enthaltenen) identifiziert und die Ökodat ausgelesen. Da die Baustoffe mehrfache Einträge in der Tabelle besitzen, werden Dubletten hierbei automatisch aussortiert. Sind die Ökodat aller Baustoffe für die verschiedenen Ökokriterien und die beiden Prozessarten Konstruktion und Entsorgung bekannt, so werden diese in einer SQL-Tabelle zur weiteren Verwendung zwischengespeichert.

7.4.2 Ermittlung der Bilanzwerte

Die Bilanzwerte ergeben sich, indem die in 7.4.1 ermittelten Ökodat mit der Einbauhäufigkeit des Baustoffs multipliziert werden. Hierzu wird zuerst die geplante Gebäudelebensdauer ermittelt. Diese wird durch die Baustofflebensdauer des jeweiligen Baustoffs geteilt und das Ergebnis auf die nächste volle Zahl aufgerundet.

7.4.3 Ermittlung der Gebäude-/Bauteilökobilanz

Die Gebäudeökobilanz wird ermittelt, indem aus der Bauteilliste die in der Gebäudevariante enthaltenen Bauteile ermittelt werden. In einem nächsten Schritt werden die in den Bauteilen enthaltenen Baustoffe ermittelt. Die Bilanzwerte dieser Baustoffe werden ausgelesen und mit den Mengen der Bauteile multipliziert. Dies wird der Reihe nach für alle Bauteile durchgeführt. Zum Schluss wird eine Gesamtsumme über alle in der Gebäudevariante enthaltenen Bauteile gebildet, um somit die Gebäudeökobilanz zu erhalten. Diese kann nun vom User gespeichert werden.

Die Ermittlung einer Bauteilökobilanz verläuft äquivalent, allerdings wird hier nur eine Ökobilanz für ein einzelnes, ausgewähltes Bauteil gebildet und es findet keine Aufsummierung über mehrere Bauteile statt.

7.4.4 Ermittlung der Relativwerte

Die Relativwerte W_R dienen dem Computerprogramm ÖkoBOA zur Ermittlung einer optimalen Variante. Hierzu werden die Bauteilökobilanzen aller Bauteile für die aktuell eingestellte Gebäudelebensdauer und die Bauteilmenge I gebildet und gespeichert. In einem nächsten Schritt wird für jede Bauteilgruppe der Minimalwert eines jeden Ökokriteriums ermittelt. Es kann vorkommen, dass diese Absolutwerte ein negatives Vorzeichen besitzen, wenn enthaltene Rohstoffe beim Rückbau des Gebäudes wiederverwertet werden. Da negative Absolutwerte für die Erzeugung von aussagekräftigen Relativwerten nicht verwendbar sind, werden diese gesondert behandelt. Ist also der kleinste noch positive Wert ermittelt, so wird diesem der Relativwert I zugewiesen. Alle anderen positiven Werte derselben Bauteilgruppe werden dann durch diesen Wert geteilt und ergeben somit Relativwerte ≥ 1 . Den negativen Absolutwerten wird immer der

Relativwert 0 zugewiesen. Die erzeugten Relativwerte sind ausschließlich von der eingestellten Gebäudelebensdauer und somit der Einbauhäufigkeit der unterschiedlichen Baustoffe abhängig. Die Ermittlung der Relativwerte stellt einen eigenen, separat vom User auszuführenden Arbeitsschritt dar. Hierzu müssen zu der eingestellten Gebäudelebensdauer stets die Bauteilökobilanzen des vollständigen Bauteilkatalogs ermittelt werden. Da dieser Prozess aber durch die vielen Zugriffe auf verschiedene SQL-Tabellen ca. 20 Minuten in Anspruch nimmt, ist es nicht komfortabel, dies bei jeder Änderung der Gebäudelebensdauer erneut durchzuführen. Aus diesem Grund werden einmal für eine Gebäudelebensdauer erzeugte Relativwerte in einer SQL-Tabelle gespeichert und können somit jederzeit abgerufen und verwendet werden. Soll jedoch eine Optimierung für eine bisher noch nicht betrachtete Gebäudelebensdauer durchgeführt werden, so müssen zuerst die entsprechenden Relativwerte erzeugt werden. ÖkoBOA gibt dabei in Fünfjahresschritten Gebäudelebensdauern zwischen 5 und 100 Jahren vor. Dies dient zum einen zur Erhöhung der Wahrscheinlichkeit, dass zur ausgewählten Gebäudelebensdauer schon Relativwerte erzeugt wurden, zum anderen handelt es sich in der Regel bei Gebäuden um sehr langlebige Konstruktionen, deren wirkliche Lebensdauer von sehr vielen unterschiedlichen Faktoren beeinflusst wird und deshalb ohnehin nicht genauer als auf 5 Jahre abgeschätzt werden kann [Jon2009, Mis1972, Bos1998].

7.4.5 Ermittlung der optimalen Variante

Das Computerprogramm ÖkoBOA bietet dem User die Möglichkeit, eine optimale Gebäudevariante ermitteln zu lassen. Optimiert wird diese Variante hinsichtlich der zuvor eingestellten nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren für eine festgelegte Gebäudelebensdauer. Die Optimierung läuft dabei folgendermaßen ab:

Die Relativwerte zu der eingestellten Gebäudelebensdauer werden aus der entsprechenden SQL-Tabelle ausgelesen. Diese Relativwerte werden dann mit dem entsprechenden nutzerbezogenen Wichtungsfaktor multipliziert. Dies geschieht der Reihe nach für alle betrachteten Ökokriterien. In einem nächsten Schritt werden diese Produkte für jedes einzelne Bauteil zu einem Wert W_0 , dem Optimumwert, aufsummiert und dieser gespeichert. Nun wird innerhalb jeder Bauteilgruppe nach dem Bauteil mit dem kleinsten Optimumwert gesucht; dieses entspricht dem optimalen Bauteil des eingestellten Szenarios. Die Formel zur Berechnung von W_0 eines Beispielbauteils „Bt“ ist in Formel (7.1) gegeben:

$$W_{o_{Bt}} = W_{r,AP_{Bt}} \cdot f_{l,AP} + W_{r,EP_{Bt}} \cdot f_{l,EP} + W_{r,GWP_{Bt}} \cdot f_{l,GWP} + W_{r,ODP_{Bt}} \cdot f_{l,ODP} + W_{r,POCP_{Bt}} \cdot f_{l,POCP} + W_{r,Ee_{Bt}} \cdot f_{l,Ee} + W_{r,Ene_{Bt}} \cdot f_{l,Ene} + W_{r,Eges_{Bt}} \cdot f_{l,Eges} \quad (7.1)$$

W_0 = Optimumwert des betrachteten Bauteils; f_i = nutzerbezogene Wichtungsfaktoren der Ökokriterien;
 W_r = Relativwerte der Ökokriterien

Sind alle optimalen Bauteile gefunden, wird die erzeugte Kombination ausgegeben und kann vom User gespeichert werden.

7.4.6 Analyse der Ökobilanzen

Zur Analyse einer Gebäudevariante wird eine Tabelle dargestellt, in der alle in der Variante verwendeten Bauteile nach Bauteilgruppen sortiert enthalten sind. Zu jedem Bauteil werden die Absolutwerte der Ökobilanz aus der entsprechenden SQL-Tabelle ausgelesen und angezeigt. Zusätzlich werden die Absolutwerte für jedes Ökokriterium zu einer Gebäudeökobilanz aufsummiert. Diese wird in der letzten Zeile der Tabelle ebenfalls angezeigt. Die Absolutwerte der einzelnen Bauteile werden dann noch durch den Absolutwert der Gebäudeökobilanz geteilt. Diese ermittelten Werte werden in Prozentzahlen ausgedrückt in Klammern hinter den

Absolutwerten angezeigt und geben den Anteil des Bauteils für das jeweilige Ökokriterium an der Gebäudeökobilanz wieder.

Auf diese Weise lässt sich schnell erkennen, welches Bauteil für welches Ökokriterium den größten Anteil in die Gebäudeökobilanz einbringt.

Zusätzlich kann sich der User zu einem ausgewählten Bauteil auch die Bauteilökobilanz aufgeschlüsselt nach den enthaltenen Baustoffen in Form einer Tabelle anzeigen lassen. Auch in dieser Tabelle werden die Absolutwerte aller in dem ausgewählten Bauteil enthaltenen Baustoffe angezeigt. Die letzte Zeile gibt wiederum die gesamte Bauteilökobilanz wieder. Die Absolutwerte der Baustoffe werden durch den Absolutwert des entsprechenden Ökokriteriums der Bauteilökobilanz geteilt und, in Prozentwerten ausgedrückt, in Klammern hinter dem Absolutwert angezeigt. Somit gibt der Prozentwert den Anteil des jeweiligen Baustoffs an der Bauteilökobilanz wieder.

Hierdurch wird es möglich, mit einem geringen Zeitaufwand die Baustoffe mit dem größten Einfluss auf die Gebäudeökobilanz zu identifizieren.

7.4.7 Vergleich zweier Varianten

Das Programm ÖkoBOA bietet die Möglichkeit, zwei zuvor erstellte und gespeicherte Gebäudevarianten direkt miteinander zu vergleichen. Dies geschieht mittels einer Tabelle, die die einzelnen Werte der Bauteilökobilanzen beider ausgewählter Varianten, einen Vergleich der Absolutwerte der Bauteilökobilanzen, die Werte beider Gebäudeökobilanzen und einen Vergleich der Absolutwerte beider Gebäudeökobilanzen enthält. Die Tabelle ist dabei in Dreierblöcke aufgeteilt. Die erste Zeile eines Dreierblocks gibt die Werte der als „Variante 1“ ausgewählten Gebäudevariante wieder, die zweite Zeile die Werte der als „Variante 2“ ausgewählten Gebäudevariante und in der dritten Zeile finden sich die Prozentzahlen der „Variante 2“ bezogen auf die Werte der „Variante 1“ wieder. Für jede Bauteilgruppe wird ein solcher Dreierblock angezeigt. Die letzten 3 Zeilen der Tabelle enthalten einen äquivalent aufgebauten Dreierblock, der aber die Werte der Gebäudeökobilanzen beider Varianten enthält.

Hierdurch wird es möglich, objektive und quantitative Aussagen über die Vor- und Nachteile zweier Gebäudevarianten zu treffen und eine möglicherweise bessere Variante anhand fester Zahlenwerte zu identifizieren.

7.4.8 Bauteilkatalog

Außenwände:

- AW Typ I - Stb-Fertigteil 20 cm, Mineralwolle 12 cm, Aluminiumblech; Gipsinnenputz
- AW Typ II - Stb-Fertigteil 20 cm, Mineralwolle 15 cm, Aluminiumblech; Kalkgipsinnenputz
- AW Typ III - Stb-Fertigteil 20 cm, Mineralwolle 15 cm, Faserzementplatte; Kalkgipsinnenputz
- AW Typ IV - Stb-Fertigteil 20 cm, Mineralwolle 15 cm, Naturstein; Kalkgipsinnenputz
- AW Typ IV-p - Stb-Fertigteil 20 cm, Mineralwolle 30 cm, Naturstein; Kalkgipsinnenputz
- AW Typ V - Stb-Fertigteil 20 cm, Polystyrol 20 cm, Isolierputz; Kalkgipsinnenputz
- AW Typ VI - Stb-Fertigteil 20 cm, Mineralwolle 16 cm, Betonwerkstein
- AW Typ VII - KS-Mauerwerk 20 cm, Polystyrol 15 cm, Isolierputz; Kalkgipsinnenputz

Kelleraußenwände:

- KAW Typ I - StbC25/30 25 cm, Polystyrol 10 cm, Innenanstrich
- KAW Typ I-CEM I - StbC25/30 25 cm, Polystyrol 10 cm, Innenanstrich
- KAW Typ I-CEM IIIa - StbC25/30 25 cm, Polystyrol 10 cm, Innenanstrich

Innenwände:

- IW Typ I - Metallständer 5 cm, Mineralwolle 4 cm, beidseitig Gipskarton, Innenanstrich
- IW Typ II - Metallständer 5 cm, Mineralwolle 4 cm, beidseitig doppelt Gipskarton, Innenanstrich
- IW Typ III - Metallständer 5 cm, Mineralwolle 4 cm, beidseitig doppelt Gipskarton, Innenanstrich // Fliesen
- IW Typ III Vorwand - Metallständer 5 cm, Mineralwolle 4 cm, einseitig Gipskarton, Fliesen
- IW Typ IV - Metallständer 7.5 cm (2 mal), beidseitig Mineralwolle 5 cm, doppelt Gipskarton, Innenanstrich
- IW Typ MW - HLZ 24 cm, Kalkinnenputz, Innenanstrich
- IW Typ STB1 - Stahlbetonfertigteile 25 cm, Gipsputz, Innenanstrich
- IW Typ STB2 - Stahlbetonfertigteile 20 cm, Gipsputz, Innenanstrich
- IW Typ STB3 - Stahlbetonfertigteile 25 cm, Gipsputz, Innenanstrich
- IW Typ STB4 - Stahlbetonfertigteile 15 cm, Gipsputz, Innenanstrich
- IW Typ STB5 - Stahlbetonfertigteile 20 cm, Gipsputz, Innenanstrich
- IW Typ STB6 - Stahlbetonfertigteile 25 cm, Gipsputz, Innenanstrich
- IW Typ V - Metallständer 5 cm, Mineralwolle 4 cm, Gipskarton, Innenanstrich // Stb 25 cm, Innenanstrich

Stützen:

- Stütze Typ Ia - Stahlbeton C25/30 30x30 cm, Innenanstrich
- Stütze Typ Ib - Stahlbeton C25/30 30x36 cm, Innenanstrich
- Stütze Typ Ic - Stahlbeton C25/30 36x36 cm, Innenanstrich
- Stütze Typ Id - Stahlbeton C25/30 32x32 cm, Innenanstrich
- Stütze Typ IIa - Stahlbeton C25/30 20x20 cm, Innenanstrich
- Stütze Typ IIb - Stahlbeton C25/30 25x25 cm, Innenanstrich
- Stütze Typ VI - Stahlbeton C25/30 30x30 cm, Innenanstrich
- Stütze Typ VI-CEM I - Stahlbeton C25/30 30x30 cm, Innenanstrich
- Stütze Typ VI-CEM IIIa - Stahlbeton C25/30 30x30 cm, Innenanstrich
- Stütze Typ VII - Stahlbeton C25/30 40x40 cm, Innenanstrich
- Stütze Typ VIII - Stahlbeton C25/30 40x40 cm, Innenanstrich

Dächer:

- DAC Typ I - Flachdach Spannbetonhohlplatte 32 cm, XPS 18 cm, Bitumendachbahn; innen verspachtelt, Anstrich
- DAC Typ II - Flachdach Spannbetonhohlplatte 32 cm, XPS 18 cm, Bitumendachbahn, Kiesschüttung; innen verspachtelt, Anstrich
- DAC Typ III - Flachdach Spannbetonhohlplatte 32 cm, XPS 18 cm, Bitumendachbahn, Begrünung; innen verspachtelt, Anstrich
- DAC Typ III-p - Flachdach Spannbetonhohlplatte 32 cm, XPS 30 cm, Bitumendachbahn, Begrünung; innen verspachtelt, Anstrich
- DAC Typ IV - Flachdach Ortbeton 25 cm, XPS 18 cm, Bitumendachbahn; innen verspachtelt, Anstrich

- DAC Typ V - Flachdach Ortbeton 25 cm, XPS 18 cm, Bitumendachbahn, Kiesschüttung; innen verspachtelt, Anstrich
- DAC Typ VI - Flachdach Ortbeton 25 cm, XPS 18 cm, Bitumendachbahn, Begrünung; innen verspachtelt, Anstrich
- DAC Typ VII - Flachdach Ortbeton 24 cm, XPS 18 cm, Bitumendachbahn, Begrünung; innen verspachtelt, Anstrich

Decken:

- Decke Typ I-1 - Stb-Fertigteil 45 cm, Doppelboden, Teppichboden; unterseitig Anstrich
- Decke Typ I-2 - Stb-Fertigteil 45 cm, Doppelboden, Natursteinbelag; unterseitig Anstrich
- Decke Typ I-3 - Stb-Fertigteil 45 cm, Doppelboden, Fliesen; unterseitig Anstrich
- Decke Typ I-4 - Stb-Fertigteil 45 cm, Doppelboden, Klebeparkett; unterseitig Anstrich
- Decke Typ I.w-2 - Stb C25/30 24 cm, EPS 5 cm, Gipsfaserplatte, Natursteinbelag; unterseitig Anstrich
- Decke Typ I.w-3 - Stb C25/30 24 cm, EPS 5 cm, Gipsfaserplatte, Fliesenbelag; unterseitig Anstrich
- Decke Typ I.w-4 - Stb C25/30 24 cm, EPS 5 cm, Gipsfaserplatte, Parkettbelag; unterseitig Anstrich
- Decke Typ II-1 - Stb-Fertigteil 45 cm, Doppelboden Heizung, Teppichboden; unterseitig Anstrich
- Decke Typ II-2 - Stb-Fertigteil 45 cm, Doppelboden Heizung, Natursteinbelag; unterseitig Anstrich
- Decke Typ II-3 - Stb-Fertigteil 45 cm, Doppelboden Heizung, Fliesen; unterseitig Anstrich
- Decke Typ II-4 - Stb-Fertigteil 45 cm, Doppelboden Heizung, Klebeparkett; unterseitig Anstrich
- Decke Typ III-1 - Stb-Fertigteil 45 cm, Betonfertigteil, Teppichboden; unterseitig Anstrich
- Decke Typ III-2 - Stb-Fertigteil 45 cm, Betonfertigteil, Natursteinbelag; unterseitig Anstrich
- Decke Typ III-3 - Stb-Fertigteil 45 cm, Betonfertigteil, Fliesen; unterseitig Anstrich
- Decke Typ III-4 - Stb-Fertigteil 45 cm, Betonfertigteil, Klebeparkett; unterseitig Anstrich
- Decke Typ IV-1 - Stb C25/30 25 cm, Zementestrich 6cm, Teppich; abgehängte Decke
- Decke Typ IV-2 - Stb C25/30 25 cm, Zementestrich 6cm, Naturstein; abgehängte Decke
- Decke Typ IV-3 - Stb C25/30 25 cm, Zementestrich 6cm, Fliesen; abgehängte Decke
- Decke Typ IV-4 - Stb C25/30 25 cm, Zementestrich 6cm, Parkett; abgehängte Decke
- Decke Typ VII - Stb C35/45 25 cm, Oberflächenschutzsystem, unterseitig Anstrich
- Decke Typ VII-bw - Stb C35/45 25 cm, Oberflächenschutzsystem, unterseitig Anstrich
- Decke Typ VII-CEMI - Stb C35/45 25 cm, Oberflächenschutzsystem, unterseitig Anstrich
- Decke Typ VII-CEMIIIa - Stb C35/45 25 cm, Oberflächenschutzsystem, unterseitig Anstrich

Unterzüge:

- Unterzug Typ I C40/50
- Unterzug Typ II C30/37

Bodenplatten/Fundamente :

- Bodenplatte Typ I - Stahlbeton C35/45 40 cm, Oberflächenschutz
- Bodenplatte Typ I-CEM I - Stahlbeton C35/45 40 cm, Oberflächenschutz
- Bodenplatte Typ I-CEM IIIa - Stahlbeton C35/45 40 cm, Oberflächenschutz
- Bodenplatte Typ II - Stahlbeton C35/45 40 cm + Verstärkung, Oberflächenschutz
- Bodenplatte Typ III - Stahlbeton C35/45 40 cm + Verstärkung, Oberflächenschutz

Fenster:

- Fenster Typ I

Türen:

- Tür Typ I
- Tür Typ II
- Tür Typ III

7.5 NBB - Nachhaltig Bauen mit Beton

Da die Idee und Umsetzung dieser Arbeit stark durch die Mitarbeit und die im DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ gewonnenen Erkenntnisse inspiriert wurde und zudem einige Ergebnisse aus diesem Forschungsprojekt exemplarisch zum Nachweis der Funktionsfähigkeit des Computerprogramms ÖkoBOA verwendet wurden, soll an dieser Stelle ein kurzer Einblick in das Forschungsvorhaben gegeben werden.

Der zeitliche Verlauf des Forschungsvorhabens lässt sich mittels eines Auszugs aus [Wie2012] beschreiben:

„Der im Jahr 2001 herausgegebene Sachstandbericht zum nachhaltigen Bauen mit Beton, der als Heft 521 [Rei2001] in der Schriftenreihe des DAfStb erschienen ist, wurde zum Anlass genommen, einen Forschungsantrag für ein Verbundvorhaben zu stellen und beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) einzureichen. Im Jahr 2005 schließlich wurde das DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhaben mit dem Titel „Nachhaltig Bauen mit Beton“ in einer ersten Phase bewilligt. Der Abschlussbericht zu dieser ersten Projektphase wurde im Jahr 2007 in der Schriftenreihe des DAfStb als Heft 572 veröffentlicht [Deu2007]. Die Anschlussfinanzierung der zweiten Projektphase erfolgte im November 2006.“

Es wurden sechs Teilprojekte zur Bearbeitung der verschiedenen Forschungsschwerpunkte eingerichtet:

- Teilprojekt A: Nachhaltigkeitsbeurteilungen baulicher Lösungen aus Beton
- Teilprojekt B: Potentiale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau
- Teilprojekt C: Ressourcen- und energieeffiziente, adaptive Gebäudekonzepte im Geschossbau
- Teilprojekt D: Lebensdauermanagementsystem
- Teilprojekt E: Effiziente Sicherstellung der Umweltverträglichkeit
- Teilprojekt F: Informationsplattform „NBB-Info“

Hauptziel des Vorhabens war die Formulierung von Grundsätzen, die zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten bei Planung, Ausführung, Nutzung und Rückbau in der Praxis zukünftig Anwendung finden sollen:

- Integrierung von Nachhaltigkeitsaspekten in die bestehenden Planungs- und Ausführungsgrundsätze
- Anpassung bereits bestehender Bewertungsverfahren zum nachhaltigen Bauen auf die Bedürfnisse und Randbedingungen des Betonbaus
- Bereitstellung von Vorschlägen für technische Lösungen, insbesondere unter Berücksichtigung der Schnittstellen einzelner Lebenswegphasen für am Bau beteiligte Partner
- Entwicklung von Planungswerkzeugen und neuen Informations- und Kommunikations-tools, die den Transfer relevanter Informationen entlang des Lebensweges sicherstellen.

Das Projekt hatte eine Gesamtlaufzeit (über beide Phasen) von Mai 2005 bis Oktober 2009. Die Schlussberichte der Teilprojekte finden sich in den DAfStb Heften 584, 585, 586, 587 und 588 [Hau2011, Bra2011, Heg2011, Schi2011, Rei2011, Wie2012].

7.5.1 NBB-Info

Eine Beschreibung des Online-Informationssystems NBB-Info liefert ein Textauszug aus [Rei2011]:

„Die Grundzüge des Online-Informationssystems NBB-Info wurden im Rahmen der ersten Phase des DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“ am Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart erarbeitet und implementiert. Im Schlussbericht dieser Projektphase [Deu2007] werden die informationstechnologischen Grundlagen eingehend erörtert.

NBB-Info ist eine relationale Datenbank, die mit dem Open-Source-Datenbankmanagementsystem `mysql` realisiert wurde. Alle erforderlichen Benutzeroberflächen und Schnittstellen wurden serverseitig unter Verwendung von `PHP4` und clientseitig unter Verwendung von `JavaScript` realisiert. Für die Administration der Datenbank kommt die frei verfügbare `PHP`-Applikation `phpMyAdmin` zur Anwendung. Die Nutzerauthentifizierung erfolgt mit `MD5`-Chiffrierung. Als Datenaustauschformat musste abweichend vom Schlussbericht der ersten Phase [Deu2007], in dem `XML` für diesen Zweck vorgesehen wurde, auf das `CSV`-Datenformat zurückgegriffen werden. Der Grund hierfür lag in der Tatsache, dass in anderen Teilprojekten des Verbundforschungsvorhabens die Datenhaltung aus Kompatibilitätsgründen nicht in relationalen Datenbanken sondern in simplen Datentabellen eines Tabellenkalkulationsprogramms geschah. Ein Datenexport aus diesen Tabellen konnte am zweckmäßigsten mit `CSV` realisiert werden.

Die Hauptaufgaben des Systems sind der Austausch von Daten zwischen den verschiedenen Teilprojekten, die Sicherstellung einer einheitlichen Terminologie innerhalb des Forschungsvorhabens und die Präsentation der gewonnenen Ergebnisse.“

Das Online-Informationssystem NBB-Info dient als Plattform für das Computerprogramm ÖkoBOA, wobei die Struktur von NBB-Info, sowie die Ergebnisse und Daten des Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“ Verwendung fanden.

7.6 Module

Das Computerprogramm ÖkoBOA ist modular aufgebaut. Insgesamt besteht es aus 16 Modulen, wobei manche Module auch Funktionen des Online-Informationssystems NBB-Info beinhalten. Die Module sind Dateien vom Typ `*.php`, die `HTML`-, `PHP`- und `SQL`-Code enthalten. `HTML` wird dabei zur Darstellung der einzelnen Seiten angewendet, `PHP` für diverse Funktionen und zum Zugriff auf die `MySQL` Datenbank und `SQL` für die Operationen mit und in der `MySQL`-Datenbank. Die `*.php`-Dateien können mit dem Standard Windows Texteditor erzeugt und editiert werden. Eine übersichtlichere Darstellung und komfortablere Handhabung erlaubt

jedoch der Gebrauch des Freeware-Programm-Editors „jEdit“. Die in dieser Software integrierte Syntaxhervorhebung bietet eine übersichtliche und gegliederte Darstellung des Quellcodes. Beispielhaft wird im Folgenden das Modul „vergleich.php“ (7.6.13) in der von „jEdit“ gelieferten Darstellung gezeigt.

```

jEdit - vergleich.php
1 <?php
2 // -----
3 // Filename: module/vergleich.php
4 // Original Author of file: Christian Piehl
5 // Purpose of file: chooses which result to show
6 // -----
7 if (! $Sess_Person_ID ) {
8     exit ;
9 };
10 ?>
11 <link href="../../templates/stylesheets.css" rel="stylesheet" type="text/css">
12
13 <?php
14 if ( $ergebnis ) { ?>
15
16     <p class="Standardtext"><b>Welche Variante soll eingesehen werden?</b>
17
18     <form name="form01" method="post" action="<?php
19         echo "$PHP_SELF" ?>?modul=vergleich_antw" >
20         <select name="variante_ID">
21             <?php
22                 $query_variarten01 =mysql_query ( "SELECT ID_variante, Name FROM
23                 variante_name ORDER BY Name ASC" );
24                 while ( $array_variarten01 =mysql_fetch_array ( $query_variarten01 ) ) {
25                     echo "<option
26                         value=\" $array_variarten01 [ID_variante] \">>$array_variarten01
27                         [Name]</option>";
28                 }; ?>
29             </select>
30             <input type="hidden" name="ergebnis" value="ergebnis">
31             <input type="submit" name="Button01" value="bestätigen">
32         </form>
33
34 <?php
35 };
36 if ( $vergleich ) { ?>
37
38     <p class="Standardtext"><b>Welche Varianten sollen verglichen werden?</b>
39     <table width="100%" border="1" cellspacing="7" cellpadding="5" align="left">
40     <tr>
41
42         <td align="left" valign="middle" nowrap><p class="Standardtext">
43             <?php
44
45                 $query10 = mysql_query ( "SELECT ID_variante FROM variantenvergleich WHERE
46                 ID='1' " );
47                 $array10 = mysql_fetch_array ( $query10 ) ;
48                 $ID_variante = $array10 [ ID_variante ];
49
50                 $query11 = mysql_query ( "SELECT Name FROM variante_name WHERE ID_variante
51                 = '$ID_variante ' " );
52                 $array11 =mysql_fetch_array ( $query11 ) ;
53                 $variante_name1 = $array11 [ Name ] ;
54                 echo $variante_name1 ;
55             ?> <br> <br>

```

```

55     </td>
56
57     <td align="left" valign="middle" nowrap><p class="Standardtext">
58     <table width="100%" border="0" cellspacing="7" cellpadding="5"
59     align="left">
60     <tr>
61     <form name="form01" method="post" action="<?php
62     echo "$PHP_SELF"?>?modul=vergleich_antw" >
63     <select name="variante1_ID">
64     <?php
65     $query_varianten01 =mysql_query ("SELECT ID_variante, Name FROM
66     variante_name ORDER BY Name ASC");
67     while ($array_varianten01 =mysql_fetch_array ($query_varianten01 )) {
68     echo "<option
69     value=\"\$array_varianten01 [ID_variante]\"> \$array_varianten01
70     [Name]</option>";
71     };?>
72     </select>
73     <input type="submit" name="Button01" value="bestätigen">
74     </form>
75     </tr>
76     <br>
77     </table>
78     </td>
79     <td align="left" valign="middle" nowrap><p class="Standardtext">
80     <?php
81     $query20 = mysql_query ("SELECT ID_variante FROM variantenvergleich WHERE
82     ID='2'");
83     $array20 = mysql_fetch_array ($query20 );
84     $ID_variante = $array20 [ID_variante];
85     $query21 = mysql_query ("SELECT Name FROM variante_name WHERE ID_variante
86     ='$ID_variante '");
87     $array21 =mysql_fetch_array ($query21 );
88     $variante_name2 =$array21 [Name];
89     echo $variante_name2 ;
90     ?> <br> <br>
91     </td>
92
93     <td align="left" valign="middle" nowrap><p class="Standardtext">
94     <table width="100%" border="0" cellspacing="7" cellpadding="5"
95     align="left">
96     <tr>
97     <form name="form02" method="post" action="<?php
98     echo "$PHP_SELF"?>?modul=vergleich_antw" >
99     <select name="variante2_ID">
100    <?php
101    $query_varianten21 =mysql_query ("SELECT ID_variante, Name FROM
102    variante_name ORDER BY Name ASC");
103    while ($array_varianten21 =mysql_fetch_array ($query_varianten21 )) {
104    echo "<option
105    value=\"\$array_varianten21 [ID_variante]\"> \$array_varianten21
106    [Name]</option>";
107    };?>
108    </select>
109    <input type="submit" name="Button02" value="bestätigen">
110    </form>
111    </tr>
112    <br>
113    </table>
114    </td>

```

```

111 </tr>
112
113 </table>
114
115 <br><br>
116 <form name="form118" method="post" action="<?php
    echo "$PHP_SELF"?>?modul=vergleich_antw" >
117 <input type="hidden" name="vergleich" value="vergleich">
118 <input type="submit" name="Button118" value="gewählte Gebäudevarianten
    vergleichen">
119 </form>
120
121 <?php
122 } ;
123 ?>
124 <br>
125 <p class="Standardtext"><a
    href="index.php?modul=oekobilanz">zurück</a></p>

```

Im Weiteren sind die verschiedenen Module beschrieben, wobei zwischen den „Userfunktionen“ und der „Arbeitsweise“ unterschieden wird. Unter „Userfunktionen“ wird erläutert, welche Interaktionen ein User in einem Modul durchführen kann, unter „Arbeitsweise“, wie der Programmcode des betreffenden Moduls aufgebaut ist und funktioniert. SQL-Tabellennamen und hierin verwendete Attributnamen sowie die Modulnamen sind in Anführungszeichen geschrieben, konkrete Werte und Tags sind durch kursive Schrift gekennzeichnet.

7.6.1 bauteiluntersuchung.php

Userfunktionen:

Das Modul „bauteiluntersuchung.php“ dient dem User zur genaueren Betrachtung eines in einer Gebäudevariante (siehe 7.6.14) enthaltenen Bauteils.

Hierzu wird eine Tabelle mit neun Spalten erzeugt. Die Anzahl der Zeilen richtet sich nach der Anzahl der im Bauteil enthaltenen Baustoffe. Die erste Spalte enthält den Namen des Baustoffs, die restlichen acht Spalten die Bilanzwerte der einzelnen Baustoffe. Die Tabelle enthält dabei alle in dem betreffenden Bauteil enthaltenen Baustoffe mit ihren Bilanzwerten. Die letzte Zeile der Tabelle stellt noch einmal eine Aufsummierung der einzelnen Baustoffschichten dar und enthält somit die Ökobilanz des Bauteils. Die Bilanzwerte der einzelnen Baustoffe werden in jeder Zeile zusätzlich auf den Gesamtwert bezogen, so dass man schnell einen Gesamtüberblick über die einzelnen Baustoffe und deren Beitrag zur Ökobilanz des Bauteils bekommt.

Die Schaltfläche „Zurück“ bringt den User zurück zur vorherigen Seite mit der Ökobilanz der Gebäudevariante (Abbildung 8).

Arbeitsweise:

Zuerst wird mittels der Übergabewerte aus „vergleich_antw.php“ (7.6.14) die „Beschreibung“ (der Name des aktuellen Bauteils) aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) ermittelt, sowie die „Lebensdauer“ und „Menge“ des Bauteils aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20). Danach werden alle Einträge der SQL-Tabelle „bauteiluntersuchung“ (7.7.3) gelöscht, damit diese später neu erzeugt werden kann.

Nun läuft eine Schleife über alle Baustoffe, die in der SQL-Tabelle „inhaltsangaben“ (7.7.10) als Elemente des betreffenden Bauteils gekennzeichnet sind. Innerhalb dieser Schleife wird eine weitere Schleife gestartet, die für jeden im Bauteil enthaltenen Baustoff die Schichtnummer, den Namen und die Lebensdauer ermittelt.

Mittels der Baustofflebensdauer und der Gebäudelebensdauer kann dann in einem nächsten Schritt die Einbauhäufigkeit des Baustoffs über die Gebäudelebensdauer ermittelt werden.

Nun werden der Reihe nach für alle Ökokriterien mittels der Werte aus „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) die Bilanzwerte des Baustoffs über die gesamte Gebäudelebensdauer ermittelt. Zuerst

erfolgt dies für die Prozessart Konstruktion, dann für die Prozessart Entsorgung. Die Einzelergebnisse werden addiert; die so ermittelten Ergebnisse des Baustoffs werden in die SQL-Tabelle „bauteiluntersuchung“ (7.7.3) eingetragen. Dies geschieht der Reihe nach für alle Baustoffe, die im betrachteten Bauteil enthalten sind. Nach der Ermittlung aller Bilanzwerte werden diese zu einer Bauteilökobilanz aufaddiert. Auch diese Werte werden in die SQL-Tabelle „bauteiluntersuchung“ (7.7.3) eingetragen und mittels des Tags *ja* in der Spalte „gesamt“ markiert. Die Einheit des Bauteils wird aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) ermittelt und es folgt eine Textausgabe auf den Bildschirm, die den User über das gewählte Bauteil und dessen Menge informiert. Nun wird eine Ausgabetabelle mit neun Spalten erzeugt. Die Anzahl der Zeilen richtet sich nach der Anzahl der im Bauteil enthaltenen Baustoffe. Die erste Spalte enthält den fest eingetragenen Namen des Baustoffs, die restlichen acht die verschiedenen zugehörigen Bilanzwerte, die aus der SQL-Tabelle „bauteiluntersuchung“ (7.7.3) ausgelesen werden. Diese Ausgabetabelle gibt der Reihe nach die Bilanzwerte der verschiedenen Baustoffe aus. Zusätzlich zu den ermittelten Absolutwerten werden diese auch als Prozentwerte in Bezug auf das Gesamtbauteil angegeben. Eine weitere Zeile für das Gesamtbauteil wird hinzugefügt. Zuletzt wird eine Schaltfläche „zurück“ erzeugt, die den User zurück zum Modul „vergleich_antw.php“ (7.6.14) bringt.

Umfang:

Dieses Modul enthält 460 Zeilen Quelltext, was ca. neun A4-Seiten entspricht.

Baustoffe des Bauteils "AW Typ IV - Stb-Fertigteil 20cm, Mineralwolle 15cm, Naturstein; Kalkgipsinnenputz" (720 m²)
über eine Gebäudelebensdauer von 100 Jahren :

| Baustoff: | AP: | EP: | GWP: | ODP: | POCP: | Ee: | Ene: | Eges: |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------------------|-----------------------|------------------------|
| Kalkgipsputz (Innenputz) | 9.92953 (0.31 %) | 4.04989 (1.42 %) | 7282.64 (2.45 %) | 0.000152905 (0.96 %) | 0.901344 (0.50 %) | 1692.53 (0.93 %) | 65523.6 (1.91 %) | 68844 (1.97 %) |
| Stahlbetonwand C25/30 20cm | 83.0183 (2.60 %) | 39.9326 (13.95 %) | 45169.1 (15.17 %) | 0.00100441 (6.30 %) | 7.934 (4.39 %) | 5335.92 (2.93 %) | 209008 (6.10 %) | 233063 (6.67 %) |
| Dämmung, Mineralwolle (Fassade) | 162.014 (5.08 %) | 25.9671 (9.07 %) | 30584.1 (10.27 %) | 0.00118669 (7.44 %) | 8.8274 (4.88 %) | 13995.5 (7.69 %) | 395470 (11.54 %) | 399053 (11.43 %) |
| Luftschicht | 0 (0.00 %) | 0 (0.00 %) | 0 (0.00 %) | 0 (0.00 %) | 0 (0.00 %) | 0 (0.00 %) | 0 (0.00 %) | 0 (0.00 %) |
| Naturstein freihängend | 2933.97 (92.00 %) | 216.231 (75.56 %) | 214634 (72.10 %) | 0.0136053 (85.30 %) | 163.092 (90.23 %) | 160995 (88.45 %) | 2.7581e+006 (80.46 %) | 2.79099e+006 (79.93 %) |
| Gesamt | 3188.93183 | 286.18059 | 297669.84 | 0.015949305 | 180.754744 | 182018.95 | 3428101.6 | 3491950 |

[zurück](#)

Abbildung 8: Screenshot der Darstellung des Moduls „bauteiluntersuchung.php“

7.6.2 lokalfaktor.php

Userfunktionen:

Dieses Modul dient dem User zur Festlegung der gewünschten nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren (siehe 7.4).

Hierzu können in einer Tabelle die momentan festgelegten Wichtungsfaktoren eingesehen und diese nach Belieben geändert werden. Dies geschieht durch das Eintragen des neuen Wertes in ein Textfeld und dessen Bestätigung mittels der Schaltfläche „Wert ändern“.

Über den Hyperlink „Zurück“ gelangt man zurück zur vorherigen Seite (Abbildung 9).

Eintragen der nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren

Bitte tragen Sie die Faktoren wie gewünscht ein. Sollten Sie Kommazahlen verwenden wollen, nutzen Sie bitte einen Punkt als Komma:

| | | | |
|-------|---|----------------------|-------------|
| AP: | 1 | <input type="text"/> | Wert ändern |
| EP: | 1 | <input type="text"/> | Wert ändern |
| GWP: | 1 | <input type="text"/> | Wert ändern |
| POCP: | 1 | <input type="text"/> | Wert ändern |
| ODP: | 1 | <input type="text"/> | Wert ändern |
| Eges: | 1 | <input type="text"/> | Wert ändern |
| Ee: | 1 | <input type="text"/> | Wert ändern |
| Ene: | 1 | <input type="text"/> | Wert ändern |

[zurück](#)

Abbildung 9: Screenshot der Darstellung des Moduls „lokalfaktor.php“

Arbeitsweise:

Es wird eine Ausgabetable mit drei Spalten und acht Zeilen erzeugt. In der ersten Spalte werden die verschiedenen Ökokriterien in Form des in der SQL-Tabelle „kriterien“ (7.7.11) verwendeten Kürzels „Kuerzel“ eingetragen. Für die zweite Spalte wird mittels dieses Kürzels die „Kriterium_ID“ des betreffenden Ökokriteriums in „kriterien“ (7.7.11) identifiziert. Über das Kürzel kann dann der „Wert“ in der SQL-Tabelle „lokalfaktoren“ (7.7.13) ermittelt und in der Tabelle ausgegeben werden. In der dritten Spalte werden ein Texteingabefeld und eine Schaltfläche erzeugt. Ein in das Textfeld eingetragener Wert wird bei Aktivierung der Schaltfläche als Übergabewert an das Modul „lokalfaktor_antw.php“ (7.6.3) übermittelt. Der Name des Übergabewertes ist dabei mit dem Kürzel des Ökokriteriums der betreffenden Zeile identisch. Zusätzlich wird auch die „Kriterium_ID“ des Ökokriteriums mit übermittelt. Dies geschieht in allen acht Zeilen für die verschiedenen Ökokriterien. Zum Schluss wird ein Hyperlink erzeugt, der auf das Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) verweist.

Umfang:

Dieses Modul enthält 324 Zeilen Quelltext, was ca. sieben A4-Seiten entspricht.

7.6.3 lokalfaktor_antw.php

Userfunktionen:

Dieses Modul gibt dem User eine kurze Rückmeldung über das Ändern eines lokalen Wichtungsfaktors mittels des Moduls „lokalfaktor.php“ (7.6.2). Durch „zurück“ gelangt man wieder zurück zu diesem Modul und kann weitere Wichtungsfaktoren ändern.

Arbeitsweise:

Anhand der „Kriterium_ID“ des vom Modul „lokalfaktor.php“ (7.6.2) gelieferten Übergabewertes wird in der SQL-Tabelle „lokal faktoren“ (7.7.13) die Zeile mit der entsprechenden „Krit_ID“ ermittelt und in diese der übermittelte Wert als „Wert“ eingetragen. Es wird ein Hyperlink erzeugt, der auf das Modul „lokalfaktor.php“ (7.6.2) verweist.

Umfang:

Dieses Modul enthält 80 Zeilen Quelltext, was ca. zwei A4-Seiten entspricht.

7.6.4 oekobilanz.php

Userfunktionen:

Das Modul oekobilanz.php ist das Kernmodul des Programms. Es dient der Auswahl der verschiedenen Bauteile einer Gebäudevariante, für die eine Ökobilanz erstellt werden soll und beinhaltet die unterschiedlichen Schaltflächen, über die sich die Funktionen des Programms ausführen lassen.

Zur Auswahl der Bauteile wird eine Tabelle mit elf Zeilen und drei Spalten angezeigt. In den ersten zehn Zeilen werden die verschiedenen Bauteilgruppen geordnet nach den Typen „Außenwände“, „Kelleraußenwände“, „Innenwände“, „Stützen“, „Dächer“, „Decken“, „Unterzüge“, „Bodenplatten“, „Fenster“ und „Türen“ aufgeführt und jeweils in der ersten Spalte angezeigt. Die zweite Spalte enthält die zur jeweiligen Bauteilgruppe schon getroffene Auswahl inklusive der verwendeten Menge. Diese Angaben werden aus der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15) ausgelesen und angezeigt. In der dritten Spalte befinden sich jeweils zwei Dropdown-Menüs. Das erste dient zum Hinzufügen einer neuen Auswahl eines dem System bekannten Bauteils zu der entsprechenden Bauteilgruppe. Nach getroffener Wahl und einer Bestätigung über die Schaltfläche „hinzufügen“ wird der User automatisch zum Modul „oekobilanz_antw.php“ (7.6.5) weitergeleitet. Das zweite Dropdown-Menü enthält alle schon ausgewählten Bauteile der entsprechenden Bauteilgruppe. Durch eine Auswahl und Bestätigung über die Schaltfläche „entfernen“ lässt sich das gewählte Bauteil wieder aus der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15) und somit von der Liste der gewählten Bauteile entfernen. Die letzte Zeile gibt in der zweiten Spalte die aktuell eingestellte Gebäudelebensdauer an. Mittels eines Dropdown-Menüs in der dritten Spalte kann eine andere Gebäudelebensdauer ausgewählt werden. Die Gebäudelebensdauern sind dabei in Fünfjahresschritten vorgegeben (siehe 7.4). Diese kann dann mittels der Schaltfläche „Lebensdauer ändern“ bestätigt werden

Ist die Bauteilliste nach Wunsch des Users zusammengestellt und die Gebäudelebensdauer ausgewählt, kann man durch Aktivierung der Schaltfläche „Bilanz erstellen“ die Berechnung der Ökobilanz starten und wird dadurch automatisch zum Berechnungsmodul „oekobilanz_berechnung.php“ (7.6.6) weitergeleitet.

Soll eine erstellte Bauteilliste vollständig gelöscht werden, so kann dies mittels der Schaltfläche „komplette Liste leeren“ durchgeführt werden. Mit der nächsten Schaltfläche, „Nutzerbezogene Wichtungsfaktoren einsehen/ändern“ lassen sich die nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren edi-

tieren. Hierzu wird man zum Modul „lokalfaktor.php“ (7.6.2) weitergeleitet (Abbildung 10, Abbildung 11).

Des Weiteren wird in diesem Zusammenhang eine Tabelle mit einer Zeile und zwei Spalten angezeigt, die die Gebäudelebensdauern enthält, für welche bereits Relativwerte ermittelt wurden (siehe 7.4). Mittels der Schaltfläche „Relativwerte zur aktuellen Bauwerklebensdauer erzeugen“ lassen sich für die aktuell eingestellte Gebäudelebensdauer mittels des Moduls „relativwerte.php“ (7.6.8) die zugehörigen Relativwerte erzeugen.

„Optimale Gebäudekonfiguration ermitteln“ ruft das Modul „optimum.php“ auf und ermittelt eine optimierte Bauteilkonfiguration basierend auf den nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren und der eingestellten Gebäudelebensdauer.

Über „Ergebnis einsehen“ lassen sich berechnete Ökobilanzen anzeigen. Hierzu wird das Modul „vergleich.php“ (7.6.13) aufgerufen.

Die Schaltfläche „Varianten vergleichen“ ermöglicht über den Aufruf des Moduls „vergleich.php“ einen direkten Vergleich der Ökobilanzen zweier berechneter Gebäudevarianten.

Die letzte Schaltfläche, „Variante löschen“, ruft das Modul `variante_del.php` (7.6.11) auf, mit dem eine berechnete und gespeicherte Variante wieder gelöscht werden kann (Abbildung 12).

Arbeitsweise:

In einem ersten Schritt wird überprüft, ob ein Rückgabewert für eine Bauteilmenge existiert, das Modul also über das Modul „oekobilanz_antw.php“ (7.6.5) aufgerufen wurde. Ist dies der Fall, so wird die Zeile des Bauteils in der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15) über dessen ID identifiziert und die entsprechende Menge der Zeile hinzugefügt. Die eingetragene Menge ist dabei der Rückgabewert des Moduls „oekobilanz_antw.php“ (7.6.5), dessen Name aus einem Kürzel der Bauteilgruppe und der Kennung „menge“ besteht (z.B. DA_menge für die Menge eines Dachbauteils). Als nächstes wird die anzuzeigende Tabelle erzeugt. Dazu werden für die ersten zehn Zeilen in der ersten Spalte die Namen der bekannten Bauteilgruppen in jeder Zeile fest eingetragen.

Die zweite Spalte wird erzeugt, indem zuerst „Gegenstand_ID“ und „Einheit“ der Bauteilgruppe der entsprechenden Zeile aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) ermittelt werden. Dann folgt eine Schleife, die über alle Einträge der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15) läuft. Die Einträge werden über „Zuordnung“ auf Zugehörigkeit zur entsprechenden Bauteilgruppe überprüft und bei Übereinstimmung inklusive „Menge“ und „Einheit“ ausgegeben.

Die dritte Spalte erzeugt zwei Dropdown-Menüs. Im ersten Dropdown-Menü wird zunächst in der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) nach Übereinstimmungen mit der Bauteilgruppe der momentanen Zeile gesucht. Gefundene Übereinstimmungen werden im Menü angezeigt. Eine hier getroffene Auswahl eines Bauteils wird bei Bestätigung über die Schaltfläche „hinzufügen“ mittels eines Übergabewerts, der die „ID“ aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) enthält, an das Modul „oekobilanz_antw.php“ (7.6.5) übermittelt. Der Name des Übergabewerts besteht dabei aus der „Kennung“ der Bauteilgruppe aus der SQL-Tabelle „bauteilzuordnung“ (7.7.5) und der Kennung *neu* (z.B. „AW_neu“ für eine neu einzutragende Außenwand). Das zweite Dropdown-Menü untersucht die SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15) auf Übereinstimmungen zur Bauteilgruppe der betreffenden Zeile und zeigt die gefundenen Treffer im Menü an. Eine hier getroffenen Auswahl wird bei Bestätigung über die Schaltfläche „entfernen“ mittels eines Übergabewertes, der die „ID“ aus der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15) und „Gruppe“ aus der SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“ (7.7.23) enthält, an das Modul „oekobilanz_antw.php“ (7.6.5) übermittelt. Der Name des Übergabewerts besteht dabei aus der „Kennung“ der Bauteilgruppe aus der SQL-Tabelle „bauteilzuordnung“ (7.7.5) und der Kennung *entf* (z.B. „ST_entf“ für eine zu entfernende Stütze).

Erstellung der Ökobilanz

Bitte wählen Sie die verwendeten Bauteile aus:

| | | |
|-------------------|--|---|
| Außenwände: | | AW Typ I - Stb-Fertigteil 20cm, Mineralwolle 12cm, Aluminiumblech; Gipsinnenputz <input type="button" value="hinzu- fügen"/> |
| | | <input type="button" value="ent- fernen"/> |
| Kelleraußenwände: | | KAW Typ I - StbC25/30 25cm, Polysterol 10cm, Innenanstrich <input type="button" value="hinzu- fügen"/> |
| | | <input type="button" value="ent- fernen"/> |
| Innenwände: | | IW Typ I - Metallständer 5cm, Mineralwolle 4cm, beidseitig Gipskarton, Innenanstrich <input type="button" value="hinzu- fügen"/> |
| | | <input type="button" value="ent- fernen"/> |
| Stützen: | | Stütze Typ Ia - Stahlbeton C25/30 30x30cm, Innenanstrich <input type="button" value="hinzu- fügen"/> |
| | | <input type="button" value="ent- fernen"/> |
| Dächer: | | DAC Typ I - Flachdach Spannbetonhohlplatte 32cm, XPS 18 cm, Bitumendachbahn; innen verspachtelt, Anstrich <input type="button" value="hinzu- fügen"/> |
| | | <input type="button" value="ent- fernen"/> |
| Decken: | | Decke Typ I-1 - Stb-Fertigteil 45cm, Doppelboden, Teppichboden; unterseitig Anstrich <input type="button" value="hinzu- fügen"/> |
| | | <input type="button" value="ent- fernen"/> |
| Unterzüge: | | Unterzug Typ I C40/50 <input type="button" value="hinzu- fügen"/> |
| | | <input type="button" value="ent- fernen"/> |
| Bodenplatten: | | Bodenplatte Typ I - Stahlbeton C35/45 40 cm, Oberflächenschutz <input type="button" value="hinzu- fügen"/> |
| | | <input type="button" value="ent- fernen"/> |
| Fenster: | | Fenster Typ I <input type="button" value="hinzu- fügen"/> |
| | | <input type="button" value="ent- fernen"/> |

Abbildung 10: Screenshot der Darstellung des Moduls „oekobilanz.php“ (Teil 1)

| | | |
|-----------------------------|----------|---|
| Türen: | | Tür Typ I <input type="button" value="hinzu- fügen"/> |
| | | <input type="button" value="ent- fernen"/> |
| Lebensdauer Bauwerk: | 20 Jahre | 5 Jahre <input type="button" value="Lebensdauer ändern"/> |

Abbildung 11: Screenshot der Darstellung des Moduls „oekobilanz.php“ (Teil 2)

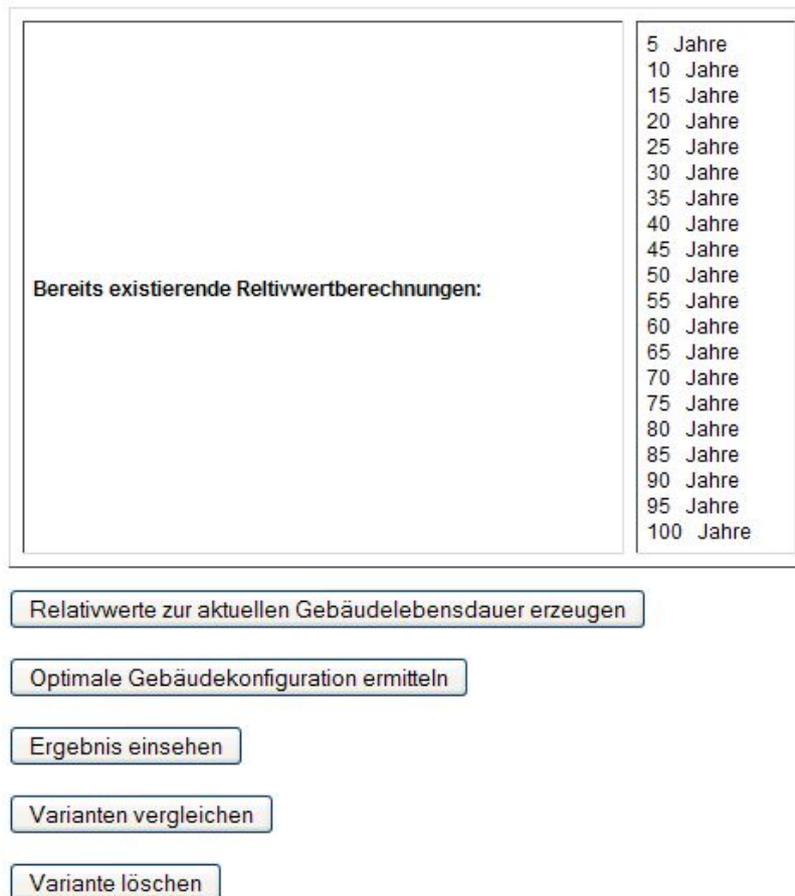


Abbildung 12: Screenshot der Darstellung des Moduls „oekobilanz.php“ (Teil 3)

Dieser Modus wird für jede Bauteilgruppe, also jede Zeile der ausgegebenen Tabelle, separat durchgeführt.

Für die letzte Zeile wird in der ersten Spalte „Lebensdauer Bauwerk“ ausgegeben. Für die zweite Spalte werden in der SQL-Tabelle „bauwerklebensdauer“ (7.7.6) „Lebensdauer“ und „Einheit“ ausgelesen und angezeigt. In der dritten Spalte wird ein Dropdown-Menü erzeugt, das in der SQL-Tabelle „bauwerklebensdauern“ (7.7.7) die „Lebensdauer“ und „Einheit“ aller Datensätze ausliest und anzeigt.

Eine Schaltfläche „Lebensdauer ändern“ wird erzeugt. Diese übermittelt bei Betätigung den Übergabewert „\$bauwerklebensdauer“ mit der gewählten „Lebensdauer“ an das Modul „oekobilanz_antw.php“ (7.6.5).

Als nächstes werden zwei Schaltflächen „Bilanz erstellen“ und „komplette Bauteilliste leeren“ erzeugt. Erstere ruft bei Bestätigung das Modul „oekobilanz_berechnung.php“ (7.6.6) auf, die zweite erzeugt einen Übergabewert „\$liste_entf“ und übermittelt ihn an das Modul „oekobilanz_antw.php“ (7.6.5).

Nun wird eine weitere Schaltfläche „Nutzerbezogene Wichtungsfaktoren einsehen/ändern“ erzeugt, die das Modul „lokalfaktor.php“ (7.6.2) aufruft.

Aus der SQL-Tabelle „relativwertjahre“ (7.7.18) werden „Jahr“ und „Einheit“ aller Einträge ausgelesen und in einer Ausgabetabelle angezeigt.

Die Schaltfläche „Relativwerte zur aktuellen Gebäudelebensdauer erzeugen“ ruft das Modul „relativwerte.php“ (7.6.8) auf, „Optimale Gebäudekonfiguration ermitteln“ das Modul „optimum.php“ (7.6.7).

Die Schaltflächen „Ergebnis einsehen“ und „Varianten vergleichen“ rufen beide das Modul „vergleich.php“ (7.6.13) auf, wobei erstere den Übergabewert „\$ergebnis“ und die zweite den Übergabewert „\$vergleich“ übermittelt.

Die letzte Schaltfläche „Variante löschen“ ruft das Modul „variante_del.php“ (7.6.11) auf.

Umfang:

Dieses Modul enthält 860 Zeilen Quelltext, was ca. 17 A4-Seiten entspricht.

7.6.5 oekobilanz_antw.php

Userfunktionen:

Der User bekommt hier eine kurze Rückmeldung, dass ein vorher mittels des Moduls „oekobilanz.php“ (7.6.4) gewähltes Bauteil der Liste hinzugefügt oder von ihr entfernt wurde, oder die Gebäudelebensdauer geändert wurde. Im Falle des Hinzufügens eines Bauteils wird man aufgefordert, dessen Menge anzugeben und diese mittels der Schaltfläche „bestätigen“ zu bestätigen. Hierdurch wird man automatisch zum Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) weitergeleitet. Beim Entfernen eines Bauteils wird dem User dessen Löschung bestätigt und man gelangt mittels des Hyperlinks „zurück“ wieder zum Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4).

Nach einem vollständigen Löschen der gesamten Liste wird dem User die Löschung bestätigt und man gelangt mittels des Hyperlinks „zurück“ wieder zum Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4).

Arbeitsweise:

Das Modul überprüft der Reihe nach, welcher Übergabewert vom Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) übergeben wurde. Hierbei wird nach den Kennungen *neu* und *entf* (siehe 7.6.4) unterschieden.

Bei Übergabewerten mit der Kennung *neu* wird zuerst anhand der übergebenen „ID“ die zugehörige „Gruppe“ der SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“ (7.7.23) identifiziert. Mittels dieser „Gruppe“ kann dann in der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) die „Gegenstand_ID“ und die „Einheit“ ermittelt werden. In die SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15) werden dann folgende Werte eingetragen: „ID“ (automatisch fortlaufend vergebener Primärschlüssel), „ID_Gegen“ (mit der „Gegenstand_ID“ aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9)) und „ID_Zuord“ (mit der übergebenen „ID“). Dem User wird der Tabelleneintrag bestätigt und man wird aufgefordert, die Menge des Bauteils in ein Formular einzutragen. Dieses Formular erzeugt wiederum einen Übergabewert und übergibt diesen dann zurück an das Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4). Der Name dieses Übergabewertes besteht aus dem Bauteilkürzel und der Kennung *menge* („\$GR_menge“ für die Menge eines Gründungstyps).

Bei Übergabewerten mit einem Bauteilkürzel und der Kennung *entf* wird in der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15) genau die Zeile gelöscht, deren „ID“ dem Übergabewert entspricht. Ist der Übergabewert jedoch *list_entf*, so werden alle Einträge der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15) gelöscht.

Wurde die Variable „\$bauerklebensdauer“ als Übergabewert übergeben, so wird in der SQL-Tabelle „bauerklebensdauer“ (7.7.6) die „Lebensdauer“ mit diesem aktualisiert.

Nach jeder durchgeführten Aktion wird ein Hyperlink erzeugt, der zurück auf das Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) verweist.

Umfang:

Dieses Modul enthält 414 Zeilen Quelltext, was ca. acht A4-Seiten entspricht.

7.6.6 oekobilanz_berechnung.php

Userfunktionen:

Der User bekommt hier eine kurze Rückmeldung, dass eine Ökobilanz aus einer vorher erstellten Bauteilliste ermittelt wurde. Des Weiteren wird man aufgefordert, einen Namen für die Gebäudevariante in ein Textfeld einzugeben. Mittels der Schaltfläche „bestätigen“ lässt sich die Gebäudevariante inklusive dem Namen nun abspeichern.

Arbeitsweise:

Zuerst werden alle aus vorherigen Berechnungen existierenden Einträge in der SQL-Tabelle „oeko_berechnung“ (7.7.16) gelöscht.

Als nächstes werden aus der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15) der Minimalwert und der Maximalwert für die „ID“ ermittelt. Es folgt eine Schleife über alle Einträge dieser Tabelle vom Minimalwert „\$imin“ bis zum Maximalwert „\$imax“. Für jeden Eintrag werden die „ID“- , „ID_Gegen“- und „Menge“-Attribute ausgelesen und in Variablen gespeichert; eine weitere Variable „\$schichtanzahl“ wird mit dem Wert 0 belegt. Zusätzlich werden mittels „ID_Gegen“ aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“(7.7.9) „Beschreibung“ und aus der SQL-Tabelle „inhaltsangaben“ „Erläuterung“ und „Gegenstand_teil“ ermittelt und in entsprechenden Variablen abgespeichert. Eine Laufvariable „\$zifferanzahl“ wird auf -1 gesetzt und eine weitere Variable „\$ziffer“ wird mit dem Wert *true* belegt.

Als nächstes läuft eine Schleife über alle Einträge in der SQL-Tabelle „inhaltsangaben“ (7.7.10), die über „Gegenstand_ganz“ als in der erstellten Bauteilliste vorhanden identifiziert werden. Die Spalte „Erläuterung“ dieser Tabelle enthält für alle automatisch eingetragenen Zeilen den Wert: *Schichtnr.: X*, wobei X der Schichtnummer des jeweiligen Baustoffs im entsprechenden Bauteil entspricht. Um die Gesamtanzahl der Schichten im jeweiligen Bauteil ermitteln zu können, muss nun die Zahl vom Rest des Eintrags separiert werden. Mittels der PHP-Funktion „substr“ wird deshalb jeder Eintrag von hinten beginnend untersucht. Wird an der Stelle „\$zifferanzahl“ eine Ziffer gefunden, so wird „\$zifferanzahl“ um 1 verringert. Beim ersten Durchlauf hat „\$zifferanzahl“ den Wert -1. Es wird also die letzte Stelle des Eintrags auf eine Ziffer überprüft. Dann wird „\$zifferanzahl“ auf -2 verringert, was der vorletzten Stelle des Eintrags entspricht. Dies wiederholt sich so lange, bis an der betrachteten Stelle keine Ziffer gefunden wird. In diesem Fall wird „\$zifferanzahl“ wieder um 1 erhöht. Die nun in ihrer Stellenanzahl bekannte Schichtnummer des betrachteten Baustoffs wird ausgelesen und in einer Variablen abgespeichert.

Aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) werden als nächstes „Lebensdauer“ und „Bezeichnung“ ermittelt und in Variablen gespeichert. Eine Variable „\$untergruppe“ wird deklariert. Diese besteht aus der ermittelten Schichtnummer, einem Leerzeichen und der „Bezeichnung“ aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9). Hierüber kann direkt „Oekobilanz“ aus der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) identifiziert und ausgelesen werden.

Die Einbauhäufigkeit des Baustoffs wird ermittelt, indem die Gebäudelebensdauer durch die eben ermittelte Lebensdauer des Baustoffs geteilt und das Ergebnis auf die nächste volle Zahl aufgerundet wird. Nun werden der Reihe nach für die Ökokriterien Versauerungspotential, Eutrophierungspotential, Treibhauspotential, ozonschädigendes Potential, Sommersmogpotential und die Energieaufwände Primärenergie erneuerbar, Primärenergie nicht erneuerbar und Primärenergie die Bilanzwerte getrennt nach den Prozessen Konstruktion und Entsorgung berechnet. Dies geschieht, indem zuerst die Ökodaten des Baustoffs pro Einheit aus der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) anhand der Attribute „Untergruppe“, „Prozessart“, „Wirkung“ und „Gruppe“ identifiziert und als Variable abgespeichert werden. Die Identifizierung über die vier Attribute ist notwendig, da teilweise Baustoffe in verschiedenen Bauteilen in unterschiedlichen Mengen pro Einheit enthalten sind. Somit muss darauf geachtet werden, wirklich den Bilanzwert des betreffenden Baustoffs im entsprechenden Bauteil auszulesen, was über die Attribute „Untergruppe“ und „Gruppe“ gewährleistet wird; zusätzlich wird über „Prozessart“ zwischen Konstruktion und Entsorgung unterschieden und über „Wirkung“ zwischen den verschiedenen Kriterien. Die ermittelten Ökodaten pro Einheit werden außerdem mit der Menge des Bauteils (z.B. X laufende Meter Stütze oder Y m² Außenwand) und der Einbauhäufigkeit des Bauteils im Gebäude über die Lebensdauer multipliziert, um so den Bilanzwert des Baustoffs für eine Prozessart über die Lebensdauer zu erhalten. Nachdem die Bilanzwerte ermittelt wurden, werden diese zusammen mit den restlichen Attributen in die SQL-Tabelle „oe-

ko_berechnung“ (7.7.16) geschrieben und „\$ziffer“ auf *false* gesetzt, was die Schleife über alle Einträge in der SQL-Tabelle „inhaltsangaben“ (7.7.10) beendet.

Die Schichtnummer des aktuellen Baustoffs wird nun mit „\$schichtanzahl“ verglichen (siehe Kapitelanfang). Bei einer höheren Schichtnummer als der bisherigen Schichtanzahl wird die aktuelle Schichtnummer als neue Schichtanzahl übernommen. Auf diese Weise enthält die Variable „\$schichtanzahl“, nachdem alle Baustoffe eines Bauteils abgearbeitet wurden, die maximal gefundene Schichtnummer, die somit auch der Schichtanzahl der im Bauteil verbauten Baustoffe entspricht.

Diese Routine läuft nun so lange, bis alle Baustoffe eines Bauteils eingetragen wurden. Jetzt kann das Attribut „Schichtanzahl“ des Bauteils aktualisiert werden.

In einer Schleife über alle Baustoffeinträge eines Bauteils in der SQL-Tabelle „oeko_berechnung“ (7.7.16) werden nun die einzelnen Bilanzwerte aufsummiert und diese Summen in einer weiteren Zeile als Ökobilanz des Bauteils eingetragen. Diese Gesamtbauteilzeilen sind innerhalb der SQL-Tabelle „oeko_berechnung“ (7.7.16) mit dem Tag *ja* in der Spalte „Bauteilsumme“ gekennzeichnet.

Ganz zum Schluss werden dann alle Gesamtbauteileinträge aufsummiert, um die Ökobilanz des vollständigen Gebäudes zu erhalten. Diese ermittelten Werte werden als letzte Zeile in die SQL-Tabelle eingetragen und mit dem Tag *gesamt* in der Spalte „Bauteilsumme“ gekennzeichnet.

Wenn all dies geschehen ist, bekommt der User die Meldung „Ökodaten wurden ermittelt“ ausgegeben und eine weitere Meldung fordert zur Eingabe eines Namens für die Gebäudevariante auf. Hierzu wird ein Texteingabefeld mit einer Schaltfläche erzeugt, welche bei Betätigung den eingegebenen Namen an das Modul „varianten_antw.php“ (7.6.10) übermittelt.

Zum Schluss wird ein Hyperlink erzeugt, der zurück auf das Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) verweist.

Umfang:

Dieses Modul enthält 331 Zeilen Quelltext, was ca. sechs A4-Seiten entspricht.

7.6.7 optimum.php

Userfunktionen:

Dieses Modul ermittelt die optimale Gebäudekonfiguration in Abhängigkeit der festgelegten nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren. Der User bekommt hierüber eine kurze Information und es wird eine Tabelle präsentiert, die zu jeder ausgewählten Bauteilgruppe die von der Optimierungsroutine vorgeschlagene Bauteilvariante enthält.

Über eine Schaltfläche „Gebäudekonfiguration speichern“ kann diese dann abgespeichert und genauer betrachtet werden.

Der Hyperlink „zurück“ bringt den User zurück zum Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4), ohne die vorgeschlagene Optimierung zu speichern (Abbildung 13).

Optimalkonfiguration wurde ermittelt

| | |
|---|---|
| Außenwände: | AW Typ VII - KS-Mauerwerk 20cm, Polysterol 15cm, Isolierputz; Kalkgipsinnenputz |
| Kelleraußenwände: | KAW Typ I-CEM IIIa - StbC25/30 25cm, Polysterol 10cm, Innenanstrich |
| Innenwände: | IW Typ I - Metallständer 5cm, Mineralwolle 4cm, beidseitig Gipskarton, Innenanstrich |
| Stützen: | Stütze Typ IIa - Stahlbeton C25/30 20x20cm, Innenanstrich |
| Dächer: | DAC Typ I - Flachdach Spannbetonhohlplatte 32cm, XPS 18 cm, Bitumendachbahn; innen verspachtelt, Anstrich |
| Decken: | Decke Typ III-3 - Stb-Fertigteil 45cm, Betonfertigteil, Fliesen; unterseitig Anstrich |
| Unterkzug: | Unterkzug Typ II C30/37 |
| Gründung: | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa - Stahlbeton C35/45 40 cm, Oberflächenschutz |
| Fenster: | Fenster Typ I |
| Türen: | Tür Typ III |
| <input type="button" value="Gebäudekonfiguration speichern"/> | |

[zurück](#)

Abbildung 13: Screenshot der Darstellung des Moduls „optimum.php“

Arbeitsweise:

Zuerst werden alle Einträge der SQL-Tabelle „bauteilvergleich“ (7.7.4) gelöscht. Als nächstes wird der Reihe nach für alle Ökokriterien die „Kriterium_ID“ aus der SQL-Tabelle „kriterien“ (7.7.11) ermittelt und hiermit dann in der SQL-Tabelle „lokalfaktoren“ (7.7.13) der entsprechende nutzerbezogene Wichtungsfaktor „Wert“. Daraufhin werden die minimale und maximale „ID“ der SQL-Tabelle „relativwerte“ (7.7.17) ermittelt und eine Schleife gestartet, die zwischen diesen Werten über die gesamte SQL-Tabelle läuft. Von allen gefundenen Datensätzen, die eine identische Gebäudelebensdauer in „Bauwerklebensdauer“ aufweisen, wie die momentan vom User eingestellte, werden „Bauteilgruppe“, „Bauteil_ID“ und die Relativwerte der Ökokriterien, „AP_relativ“, „EP_relativ“, „GWP_relativ“, „ODP_relativ“, „POCP_relativ“, „Ee_relativ“, „Ene_relativ“ und „Eges_relativ“ in Variablen gespeichert.

Als nächstes werden die einzelnen Relativwerte mit den entsprechenden Wichtungsfaktoren multipliziert und für jedes Bauteil zu einem Gesamtbauteilwert aufsummiert. Für jedes Bauteil erfolgt nun noch ein Eintrag in die SQL-Tabelle „bauteilvergleich“ (7.7.4), der eine automatisch erzeugte „ID“, die ermittelte „Bauteilgruppe“, die „Bauteil_ID“ und den „Wert“ (den berechneten Gesamtbauteilwert) umfasst.

Als nächstes werden die verschiedenen „Gegenstand_ID“ der unterschiedlichen Bauteilgruppen in der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) identifiziert und als Variablen gespeichert. Zu jeder Bauteilgruppe wird außerdem eine Variable deklariert, deren Name sich aus der in der SQL-Tabelle „bauteilzuordnung“ (7.7.5) verwendeten „Kennung“ und dem Kürzel *min* zusammensetzt. Mittels dieser Variablen sollen die Minimalwerte gespeichert werden; dazu werden sie zunächst mit dem Wert *n* belegt.

Es folgt eine Schleife über alle Einträge der SQL-Tabelle „bauteilvergleich“ (7.7.4). „Bauteilgruppe“, „Bauteil_ID“ und „Wert“ werden für jede Zeile ausgelesen. Anhand der ausgelesenen „Bauteilgruppe“ und der vorher ermittelten „Gegenstand_ID“ der unterschiedlichen Bauteilgruppen lässt sich somit jede Zeile eindeutig einer bestimmten Bauteilgruppe zuordnen. Enthält die zu der ermittelten Bauteilgruppe gehörige Variable noch den Wert *n* wird dieser durch den ausgelesenen „Wert“ ersetzt und die „Bauteil_ID“ gespeichert, wurde schon ein anderer Wert eingetragen, so wird dieser mit dem aktuellen Wert verglichen und jeweils der kleinere Wert und die zugehörige „Bauteil_ID“ gespeichert. Nachdem dies für die gesamte SQL-Tabelle „bauteilvergleich“ (7.7.4) durchgeführt wurde, sind somit die Minimalwerte und die zugehörigen „Bauteil_ID“ aller Bauteilgruppen bekannt.

Nun wird eine Ausgabetabelle mit zwei Spalten und zehn Zeilen erzeugt. Die erste Spalte enthält die Namen der verschiedenen Bauteilgruppen; in der zweiten Spalte werden die soeben ermittelten Bauteile mit den Minimalwerten ausgegeben. Hierzu läuft eine Schleife über alle Einträge der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15). Die „ID_Gegen“ jeder Zeile wird ausgelesen und damit in der SQL-Tabelle „bauteilvergleich“ (7.7.4) die ID der zugehörigen Bauteilgruppe ermittelt. In der der Bauteilgruppe entsprechenden Zeile der Ausgabetabelle kann dann mittels der gespeicherten „Gegenstand_ID“ der identischen Bauteilgruppe die „Beschreibung“ aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) ermittelt und ausgegeben werden.

Als nächstes wird eine Schaltfläche „Gebäudekonfiguration speichern“ erzeugt, die bei Aktivierung die ID der ermittelten Bauteile an das Modul „varianten“ (7.7.20) übermittelt.

Zuletzt wird ein Hyperlink erzeugt, der zurück auf das Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) weist.

Umfang:

Dieses Modul enthält 635 Zeilen Quelltext, was ca. 13 A4-Seiten entspricht.

7.6.8 relativwerte.php

Userfunktionen:

Der User bekommt hier eine kurze Information darüber, dass die Relativwerte für eine im Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) festgelegte Gebäudelebensdauer neu ermittelt wurden, oder dass zu der eingestellten Gebäudelebensdauer bereits die Relativwerte vorliegen. Über einen Hyperlink „zurück“ gelangt man zurück zum Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4).

Arbeitsweise:

Zuerst wird eine Variable „\$neuberechnung“ mit dem Wert *1* belegt. Danach wird die aktuell eingestellte „Lebensdauer“ aus der SQL-Tabelle „bauwerklebensdauer“ (7.7.6) ausgelesen.

Als nächstes wird ermittelt, zu welchen Gebäudelebensdauern bereits Relativwerte erzeugt wurden. Hierzu läuft eine Schleife über alle Einträge der SQL-Tabelle „relativwertjahre“ (7.7.18) und liest jeweils „Jahre“ aus und vergleicht diesen Wert mit der vorher ausgelesenen „Bauwerklebensdauer“. Sind diese beiden Werte für eine Zeile identisch, so wird die Variable „\$neuberechnung“ zu *0* gesetzt. Dies bedeutet, dass zu der eingestellten Gebäudelebensdauer bereits Relativwerte erzeugt wurden und eine erneute Berechnung somit nicht notwendig ist.

In einem nächsten Schritt wird überprüft, ob die Variable „\$neuberechnung“ den Wert *1* oder *0* enthält. Bei einer *1* werden zunächst alle Einträge der SQL-Tabellen „arbeitstabelle“ (7.7.1) und „minwerte“ (7.7.14) gelöscht.

Nun werden acht Variablen für die verschiedenen Ökokriterien deklariert und mit dem Wert *n* belegt, in denen die gefundenen Minimalwerte gespeichert werden sollen. Es folgt eine Schleife von *i=1* bis *i=10*, wobei für jeden Schleifendurchlauf eine entsprechende Bauteilgruppe festgelegt wird. Für die aktive Bauteilgruppe wird nun die „Gegenstand_ID“ aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) ermittelt.

Es folgt eine weitere Schleife, die in der SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“ (7.7.23) die „Gruppe“ aller Bauteile ausliest, welche der entsprechenden Bauteilgruppe angehören. Mittels dieser „Gruppe“ kann das Bauteil in der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) eindeutig über dessen „Beschreibung“ identifiziert werden und die „Gegenstand_ID“ des Bauteils wird ausgelesen.

Eine weitere Schleife wird gestartet, die in der SQL-Tabelle „inhaltsangaben“ (7.7.10) die „Erläuterung“ und „Gegenstand_teil“ ausliest, wenn „Gegenstand_ganz“ und die vorher ermittelte ID des Bauteils übereinstimmen. Eine Laufvariable „\$zifferanzahl“ wird auf *-1* gesetzt und eine weitere Variable „\$ziffer“ wird mit dem Wert *true* belegt. Die Spalte „Erläuterung“ der SQL-Tabelle „inhaltsangaben“ (7.7.10) enthält für alle automatisch eingetragenen Zeilen den Wert: *Schichtnr.: X*, wobei *X* der Schichtnummer des jeweiligen Baustoffs im entsprechenden Bauteil entspricht. Um die Gesamtanzahl der Schichten im jeweiligen Bauteil ermitteln zu können, muss nun die Zahl vom Rest des Eintrags separiert werden. Mittels der PHP-Funktion „substr“ wird nun jeder Eintrag von hinten beginnend untersucht. Wird an der Stelle „\$zifferanzahl“ eine Ziffer gefunden, so wird „\$zifferanzahl“ um *1* verringert. Beim ersten Durchlauf hat „\$zifferanzahl“ den Wert *-1*, es wird also die letzte Stelle des Eintrags auf eine Ziffer überprüft. Dann wird „\$zifferanzahl“ auf *-2* verringert, was der vorletzten Stelle des Eintrags entspricht. Dies wiederholt sich so lange, bis an der betrachteten Stelle keine Ziffer gefunden wird. In diesem Fall wird „\$zifferanzahl“ wieder um *1* erhöht, die nun in ihrer Stellenanzahl bekannte Schichtnummer des betrachteten Baustoffs ausgelesen und in einer Variablen abgespeichert. Aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) werden nun „Lebensdauer“ und „Bezeichnung“ ermittelt und in Variablen gespeichert. Eine Variable „\$untergruppe“ wird deklariert. Diese besteht aus der ermittelten Schichtnummer, einem Leerzeichen und der „Bezeichnung“ aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9). Hierüber kann direkt „Oekobilanz“ aus der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) identifiziert und ausgelesen werden.

Die Einbauhäufigkeit des Baustoffs wird ermittelt, indem die Gebäudelebensdauer durch die eben ermittelte Lebensdauer des Baustoffs geteilt und das Ergebnis auf die nächste volle Zahl aufgerundet wird. Nun werden der Reihe nach für die Ökokriterien Versauerungspotential, Eut-

rophierungspotential, Treibhauspotential, ozonschädigendes Potential, Sommersmogpotential und die Energieaufwände Primärenergie erneuerbar, Primärenergie nicht erneuerbar und Primärenergie die Bilanzwerte getrennt nach den Prozessen Konstruktion und Entsorgung berechnet. Dies geschieht, indem zuerst die Ökodaten des Baustoffs pro Einheit aus der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) anhand der Attribute „Untergruppe“, „Prozessart“, „Wirkung“ und „Gruppe“ identifiziert und als Variable abgespeichert werden. Die Identifizierung über die vier Attribute ist notwendig, da teilweise Baustoffe in verschiedenen Bauteilen in unterschiedlichen Mengen pro Einheit enthalten sind. Somit muss darauf geachtet werden, wirklich den Bilanzwert des betreffenden Baustoffs im entsprechenden Bauteil auszulesen, was über die Attribute „Untergruppe“ und „Gruppe“ gewährleistet wird; zusätzlich wird über „Prozessart“ zwischen Konstruktion und Entsorgung unterschieden und über „Wirkung“ zwischen den verschiedenen Kriterien. Die ermittelten Ökodaten pro Einheit werden noch mit der Menge des Bauteils (da hier Relativwerte erzeugt werden sollen, welche die entsprechenden Bauteile vergleichbar machen, wird die Menge überall zu 1 gesetzt) und der Einbauhäufigkeit des Bauteils im Gebäude über die Lebensdauer multipliziert, um so den Bilanzwert des Baustoffs für eine Prozessart über die Lebensdauer zu erhalten. Nachdem die Bilanzwerte ermittelt wurden, werden diese zusammen mit den restlichen Attributen in die SQL-Tabelle „arbeitstabelle“ (7.7.1) geschrieben und „\$ziffer“ auf *false* gesetzt, was die Schleife über alle Einträge in der SQL-Tabelle „inhaltsangaben“ (7.7.10) beendet.

Die Schichtnummer des aktuellen Baustoffs wird nun mit „\$schichtanzahl“ verglichen (siehe Kapitelanfang). Bei einer höheren Schichtnummer als der bisherigen Schichtanzahl wird die aktuelle Schichtnummer als neue Schichtanzahl übernommen. Auf diese Weise enthält die Variable „\$schichtanzahl“, nachdem alle Baustoffe eines Bauteils abgearbeitet wurden, die maximal gefundene Schichtnummer, die somit auch der Schichtanzahl der im Bauteil verbauten Baustoffe entspricht.

Diese Routine läuft nun so lange, bis alle Baustoffe eines Bauteils eingetragen wurden. Jetzt kann das Attribut „Schichtanzahl“ des Bauteils aktualisiert werden.

In einer Schleife über alle Baustoffeinträge eines Bauteils in der SQL-Tabelle „arbeitstabelle“ (7.7.1) werden nun die einzelnen Bilanzwerte aufsummiert und diese Summen in einer weiteren Zeile als Ökobilanz des Bauteils eingetragen. Diese Gesamtbauteilzeilen sind innerhalb der SQL-Tabelle „arbeitstabelle“ (7.7.1) mit dem Tag *ja* in der Spalte „Bauteilsumme“ gekennzeichnet. Die Gesamtbauteilwerte für die Prozessarten Konstruktion und Entsorgung werden aufsummiert und zusammen mit einer automatisch vergebenen „ID“, der „Bauwerklebensdauer“, der „Bauteil_ID“, dem „Bauteiltyp“ und der „Schichtanzahl“ als Absolutwerte in die SQL-Tabelle „relativwerte“ (7.7.17) eingetragen.

In einem nächsten Schritt werden die Minimalwerte jedes Ökokriteriums einer Bauteilgruppe ermittelt. Da negative Werte nicht brauchbar sind (siehe 7.4), wird jeder Wert zuerst auf sein Vorzeichen überprüft. Ist dies negativ, so wird dieser Wert nicht als Minimalwert in Betracht gezogen. Bei einem positiven Vorzeichen wird zunächst überprüft, ob die Variable zur Speicherung der Minimalwerte bereits einen Wert enthält. Enthält sie noch den Wert *n* von der anfänglichen Variablendeklaration, so wird der aktuelle Wert direkt übernommen. Ist bereits ein anderer Wert eingetragen, so werden beide Werte verglichen und der kleinere von beiden wird gespeichert. Dies geschieht der Reihe nach für alle acht Ökokriterien. Nach einem vollständigen Durchlauf über eine Bauteilgruppe enthalten die Variablen zur Speicherung des Minimalwerts den jeweils kleinsten positiven Wert der verschiedenen Ökokriterien. Dieser wird dann zusammen mit einer automatisch erzeugten „ID“ und der „Bauteilgruppe“ in die SQL-Tabelle „minwerte“ (7.7.14) eingetragen. Die Variablen zur Speicherung der Minimalwerte werden für den folgenden Durchlauf mit der nächsten Bauteilgruppe wieder mit dem Wert *n* belegt.

Nun erfolgt ein Eintrag in die SQL-Tabelle „relativwertjahre“ (7.7.18), der aus der „ID“, der momentanen Bauwerklebensdauer als „Jahre“ und der „Einheit“ besteht.

Es folgt noch die Ermittlung der eigentlichen Relativwerte, indem eine Schleife über alle Einträge der SQL-Tabelle „relativwerte“ (7.7.17) läuft, welche die eingetragenen Absolutwerte ausliest und sie durch die soeben ermittelten Minimalwerte der entsprechenden Bauteilgruppe aus der SQL-Tabelle „minwerte“ (7.7.14) teilt, sofern der Absolutwert positiv ist. Ist dies nicht der Fall, so wird als Relativwert der Wert 0 eingetragen. Die aktuelle Zeile der SQL-Tabelle „relativwerte“ (7.7.17) wird in einem nächsten Schritt mit den ermittelten Relativwerten vervollständigt.

Der User bekommt eine kurze Rückmeldung über die erfolgreiche Ermittlung der Relativwerte und es wird ein Hyperlink erzeugt, der auf das Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) verweist.

Wurde am Anfang des Moduls die Variable „\$neuberechnung“ mit dem Wert 0 belegt, so entfällt jegliche Berechnung, der User bekommt die kurze Rückmeldung, dass die Relativwerte bereits existieren und es wird ein Hyperlink erzeugt, der auf das Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) verweist.

Umfang:

Dieses Modul enthält 580 Zeilen Quelltext, was ca. zwölf A4-Seiten entspricht.

7.6.9 varianten.php

Userfunktionen:

Dieses Modul gibt dem User die Möglichkeit, die berechnete Ökobilanz einer erstellten Gebäudevariante zu speichern. Hierzu wird man aufgefordert, einen Namen für die Gebäudevariante einzugeben. Mittels der Schaltfläche „bestätigen“ wird die Gebäudevariante dann unter dem eingegebenen Namen abgespeichert.

Arbeitsweise:

Es wird eine kurze Information ausgegeben, die den User auffordert, einen Namen für die Gebäudevariante einzugeben. Hierzu wird ein Texteingabefeld erzeugt, das bei Aktivierung der zugehörigen Schaltfläche den eingegebenen Namen, die ID der in der Gebäudevariante verwendeten Bauteile und den Wert *erstellt* an das Modul „varianten_antw.php“ (7.6.10) übermittelt.

Umfang:

Dieses Modul enthält 54 Zeilen Quelltext, was ca. einer A4-Seite entspricht.

7.6.10 varianten_antw.php

Userfunktionen:

Dieses Modul gibt dem User eine kurze Rückmeldung darüber, dass eine ausgewählte Gebäudevariante unter einem vorher eingegebenen Namen gespeichert wurde.

Sollte der eingegebene Name bereits vergeben sein, so bekommt man darüber eine Meldung und wird aufgefordert, einen neuen Namen einzugeben. Mittels der Schaltfläche „bestätigen“ wird der neu eingegebene Name dann übernommen und die Gebäudevariante abgespeichert.

Mittels des Hyperlinks „zurück“ gelangt man zurück zum Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4).

Arbeitsweise:

Zuerst erfolgt eine Überprüfung, ob der vom User im Modul „oekobilanz_berechnung.php“ (7.7.16) oder „varianten.php“ (7.7.20) eingegebene Name bereits vergeben wurde. Hierzu wird eine Variable „\$nameexist“ deklariert und mit dem Wert *false* belegt. Es folgt eine Schleife, die über alle Einträge der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) läuft und den übergebenen Namen mit „Name“ vergleicht. Wird eine Übereinstimmung gefunden, so wird die Variable „\$nameexist“ mit dem Wert *true* belegt.

Als nächstes wird überprüft, ob der Wert der Variable mit *false* belegt ist. Ist dies der Fall, wird eine entsprechende Meldung ausgegeben. „Lebensdauer“ wird aus der SQL-Tabelle „bauwerk-lebensdauer“ (7.7.6) ausgelesen und als Variable gespeichert.

Der übergebene Name der Gebäudevariante wird als „Name“ in die SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) eingetragen. Die hierbei automatisch vergebene ID wird ermittelt und als Variable gespeichert.

Nun wird geprüft, ob der Wert *optimum* übergeben wurde. Ist dies der Fall, werden als nächstes die „Gegenstand_ID“ der verschiedenen Bauteilgruppen aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) ermittelt.

Nun läuft eine Schleife über alle Einträge der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15), die jeweils die „Gegenstand_ID“ und „Menge“ ausliest. Mit der „Gegenstand_ID“ kann dann aus der SQL-Tabelle „bauteilvergleich“ (7.7.4) die „Bauteilgruppe“ ermittelt werden. Hiermit kann in Verbindung mit den zuvor ermittelten ID der Bauteilgruppen jeder Eintrag eindeutig einer Bauteilgruppe zugewiesen werden.

Nun werden, in Abhängigkeit der zugewiesenen Bauteilgruppe und der Lebensdauer, für jeden Eintrag die verschiedenen Absolutwerte der Ökokriterien aus der SQL-Tabelle „relativwerte“ (7.7.17) ausgelesen. Diese werden der Reihe nach mit der ermittelten „Menge“ multipliziert. Die Ergebnisse dieser Multiplikation werden zusammen mit „ID“, „Name“, „Name_ID“, „Lebensdauer“, „Bauteiltyp“, „Bauteil“ und „Menge“ in die SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) eingetragen.

Wurde anfangs der Wert *erstellt* übergeben, werden in einer Schleife die „ID_Gegen“ und „Menge“ aus der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15) für alle Einträge ausgelesen. Mit der „ID_Gegen“ kann aus der SQL-Tabelle „bauteilvergleich“ (7.7.4) die „Bauteilgruppe“ ermittelt werden.

Nun werden die Werte aller Ökokriterien für die Prozessarten Konstruktion und Entsorgung der Gesamtbauteile (Eintrag *ja* in „Bauteilsumme“) aus der SQL-Tabelle „oeko_berechnung“ (7.7.16) ausgelesen und zu einem Gesamtwert mit beiden Prozessarten addiert. Die Ergebnisse werden zusammen mit „ID“, „Name“, „Name_ID“, „Lebensdauer“, „Bauteiltyp“, „Bauteil“ und „Menge“ in die SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) eingetragen.

Wurde anfangs die Variable „\$nameexist“ mit dem Wert *true* belegt, so wird eine kurze Meldung ausgegeben. Nun werden ein Texteingabefeld und eine Schaltfläche erzeugt, welche bei Betätigung den Eintrag des Texteingabefeldes, die ID der in der aktuellen Variante verwendeten Bauteile und, je nach zuvor übergebenem Wert, *optimum* oder *erstellt* erneut an das aktuelle Modul „varianten_antw.php“ übermittelt.

Zum Schluss wird ein Hyperlink „zurück“ erzeugt, der auf das Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) verweist.

Umfang:

Dieses Modul enthält 495 Zeilen Quelltext, was ca. zehn A4-Seiten entspricht.

7.6.11 variante_del.php

Userfunktionen:

Dieses Modul bietet dem User die Möglichkeit, über ein Dropdown Menü eine Gebäudevariante auszuwählen, welche mittels einer Schaltfläche gelöscht werden soll. Der User wird dabei durch eine Textausgabe kurz über diese Funktion informiert.

Über den Hyperlink „zurück“ gelangt man zurück zum Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4).

Arbeitsweise:

Zuerst wird eine kurze Meldung ausgegeben. Danach wird ein Dropdown-Menü erzeugt, das alle in der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) enthaltenen Attribute „Name“ der Gebäude-

variante anzeigt. Bei einer Auswahl des Users wird dann die „ID_variante“ an das Modul „variante_del_antw.php“ (7.6.12) übermittelt.

Es wird ein Hyperlink „zurück“ erzeugt, der auf das Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) verweist.

Umfang:

Dieses Modul enthält 30 Zeilen Quelltext, was ca. einer A4-Seite entspricht.

7.6.12 variante_del_antw.php

Userfunktionen:

Der User bekommt eine kurze Rückmeldung über das erfolgreiche Löschen der zuvor im Modul „variante_del.php“ (7.6.11) ausgewählten Variante.

Über den Hyperlink „zurück“ gelangt man zurück zum Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4).

Arbeitsweise:

Zuerst wird eine kurze Meldung ausgegeben. Dann werden alle Einträge der SQL-Tabelle „varianten“ (7.6.9) gelöscht, die unter „Name_ID“ denselben Wert besitzen wie der Übergabewert. In der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) wird der Eintrag gelöscht, der unter „ID_variante“ denselben Wert besitzt wie der Übergabewert.

Es wird ein Hyperlink „zurück“ erzeugt, der auf das Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) verweist.

Umfang:

Dieses Modul enthält 25 Zeilen Quelltext, was ca. einer A4-Seite entspricht.

7.6.13 vergleich.php

Userfunktionen:

Dieses Modul gibt dem User die Möglichkeit, je nach getroffener Auswahl im Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4), die Ökobilanz einer Gebäudevariante einzusehen oder zwei unterschiedliche Gebäudevarianten direkt miteinander zu vergleichen.

Im ersten Fall wird der User gefragt, welche Variante eingesehen werden soll. Hierzu wird ein Dropdown-Menü angezeigt, das alle gespeicherten Varianten anzeigt. Mittels der Schaltfläche „bestätigen“ kann dann eine Auswahl getroffen werden.

Im zweiten Fall wird eine Ausgabetabelle mit zwei Spalten und zwei Zeilen angezeigt. Die erste Spalte enthält jeweils die momentan ausgewählte Variante, die zweite Spalte jeweils ein Dropdown-Menü, das mittels der Schaltflächen „bestätigen“ die Auswahl aus allen gespeicherten Varianten ermöglicht.

Welche Varianten sollen verglichen werden?

| | | |
|-----------------|-------------------|------------|
| Variante I S100 | Variante A S100 ▼ | bestätigen |
| Variante A S100 | Variante A S100 ▼ | bestätigen |

gewählte Gebäudevarianten vergleichen

[zurück](#)

Abbildung 14: Screenshot der Darstellung des Moduls „vergleich.php“

Durch Betätigen der Schaltfläche „gewählte Gebäudevarianten vergleichen“ können die aktuell gewählten Gebäudevarianten verglichen werden. Hierbei wird die in der ersten Zeile gewählte Gebäudevariante als „Variante 1“ betrachtet, die in der zweiten Zeile gewählte Gebäudevariante als „Variante 2“ (siehe 7.4.7, Abbildung 14).

Über den Hyperlink „zurück“ gelangt man zurück zum Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4).

Arbeitsweise:

Zuerst wird überprüft, welcher Wert (*ergebnis* oder *vergleich*) vom Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) übergeben wurde.

Im Fall von *ergebnis* wird eine kurze Meldung ausgegeben. Danach wird ein Dropdown-Menü erzeugt, das „Name“ jeder Zeile aus der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) anzeigt. Zusätzlich wird eine Schaltfläche erzeugt, die bei Betätigung die „ID_variante“ der getroffenen Auswahl als Variable „\$variante_ID“ und den Wert *ergebnis* an das Modul „vergleich_antw.php“ (7.6.14) übermittelt.

Im Fall von *vergleich* wird ebenfalls eine kurze Meldung ausgegeben. Nun wird eine Ausgabetablelle mit zwei Spalten und zwei Zeilen erzeugt. In der ersten Spalte der ersten Zeile wird die „ID_variante“ aus der SQL-Tabelle „variantenvergleich“ (7.7.21) aus der Zeile ausgelesen, die unter „ID“ den Wert 1 besitzt. Mittels dieser „ID_variante“ kann in der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) der für die Gebäudevariante festgelegte Name ermittelt und ausgegeben werden.

In der zweiten Spalte der ersten Zeile wird ein Dropdown-Menü erzeugt, das „Name“ aus der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) anzeigt und bei einer mittels der Schaltfläche „bestätigen“ getroffenen Auswahl die „ID_variante“ der gewählten Gebäudevariante als Variable „variante1_ID“ an das Modul „vergleich_antw.php“ (7.6.14) übermittelt. In der ersten Spalte der zweiten Zeile wird die „ID_variante“ aus der SQL-Tabelle „variantenvergleich“ (7.7.21) aus der Zeile ausgelesen, die unter „ID“ den Wert 2 besitzt. Mittels dieser „ID_variante“ kann in der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) der für die Gebäudevariante festgelegte Name ermittelt und ausgegeben werden.

In der zweiten Spalte der zweiten Zeile wird ein Dropdown-Menü erzeugt, das „Name“ aus der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) anzeigt und bei einer mittels der Schaltfläche „bestätigen“ getroffenen Auswahl die „ID_variante“ der gewählten Gebäudevariante als Variable „variante2_ID“ an das Modul „vergleich_antw.php“ (7.6.14) übermittelt.

Nun wird eine Schaltfläche „gewählte Varianten vergleichen“ erzeugt, die bei Betätigung den Wert *vergleich* an das Modul „vergleich_antw.php“ (7.6.14) übermittelt.

Es wird ein Hyperlink „zurück“ erzeugt, der auf das Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) verweist.

Umfang:

Dieses Modul enthält 130 Zeilen Quelltext, was ca. drei A4-Seiten entspricht.

7.6.14 vergleich_antw.php

Userfunktionen:

Die Funktionen dieses Moduls hängen davon ab, welche Option im Modul „oekobilanz.php“ (7.6.13) gewählt wurde. Je nach getroffener Auswahl kann man hier das Ergebnis der Ökobilanz einer Gebäudevariante einsehen, eine bestimmte Gebäudevariante mit einer anderen direkt vergleichen, oder bekommt eine Rückmeldung zu einer im Modul „vergleich.php“ (7.6.13) getroffenen Auswahl zweier Gebäudevarianten zum späteren direkten Vergleich der beiden.

Beim Einsehen eines Ergebnisses gibt das Programm zuerst eine kurze Rückmeldung, welche Gebäudevariante über welche Gebäudelebensdauer berechnet wurde.

Es folgt eine Ausgabetablelle mit zwölf Spalten und zwölf Zeilen. In der ersten Spalte sind die verschiedenen Bauteilgruppen über die Zeilen der Tabelle aufgelistet, die zweite Spalte gibt die

in der Gebäudevariante getroffene Auswahl des Bauteils der Bauteilgruppe wieder. Die dritte Spalte enthält die Menge des verwendeten Bauteils.

Es folgen acht Spalten mit den Ökobilanzen der Bauteile. Zusätzlich zum Absolutwert wird auch noch der prozentuale Anteil der Ökobilanz der Bauteile an der Ökobilanz der Gesamtgebäudevariante in Klammern angegeben.

Die letzte Spalte bietet die Möglichkeit, über die Schaltflächen „bauteiluntersuchung“ eine genauere Betrachtung des Bauteils mit seinen enthaltenen Baustoffen durchzuführen.

Die erste Zeile der Tabelle dient dabei der Beschriftung und die letzte Zeile der Tabelle gibt die Werte der Gesamtgebäudevariante wieder.

Über den Hyperlink „zurück“ gelangt man zurück zum Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) (Abbildung 15, Abbildung 16).

Beim Vergleich zweier Gebäudevarianten bekommt man zuerst eine kurze Information darüber, welche beiden Gebäudevarianten über welche Gebäudelebensdauer verglichen werden. Es folgt eine Tabelle mit elf Spalten und 34 Zeilen.

Die erste Zeile der Tabelle dient der Beschriftung. Die folgenden Zeilen der Tabelle sind in Dreierblöcke gegliedert und farblich hervorgehoben. Es gibt insgesamt elf Dreierblöcke; zehn für die verschiedenen Bauteilgruppen und einer für die Gesamtgebäudevariante. Jeder Dreierblock enthält in seiner ersten Zeile die der Bauteilgruppe entsprechenden Bauteile der in der Auswahl als „Variante 1“ („Variante 1“ und „Variante 2“ siehe 7.6.13) festgelegten Gebäudevariante. Die zweite Zeile eines Dreierblocks enthält die der Bauteilgruppe entsprechenden Bauteile der in der Auswahl als „Variante 2“ festgelegten Gebäudevariante. Die dritte Zeile dient dem direkten Vergleich der beiden Gebäudevarianten. Hier ist ein Prozentwert angegeben, der dem Absolutwert der „Variante 2“ bezogen auf den Absolutwert der „Variante 1“ entspricht. Die erste Spalte gibt dabei die Bauteilgruppe und die gewählte Gebäudevariante wieder, die zweite Spalte die Bauteile. In der dritten Spalte sind die Mengen der Bauteile angegeben. Die folgenden acht Spalten enthalten die Ökobilanzen der Bauteile.

Über den Hyperlink „zurück“ gelangt man zurück zum Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4).

Bei der Bestätigung einer im Modul „vergleich.php“ (7.6.13) getroffenen Auswahl einer Gebäudevariante bekommt man eine kurze Rückmeldung, welche Gebäudevariante soeben ausgewählt wurde.

Über eine Schaltfläche „zurück zur Auswahl“ gelangt man zurück zum Modul „vergleich.php“ (7.6.13) (Abbildung 17, Abbildung 18).

Arbeitsweise:

Zuerst wird geprüft, ob *variante1_ID* vom Modul „vergleich.php“ (7.6.13) übergeben wurde. Ist dies der Fall, wird der „Name“ des Eintrags mit der entsprechenden „ID_variante“ aus der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) ausgelesen. In der SQL-Tabelle „variantenvergleich“ (7.7.21) wird „ID_variante“ in Zeile 1 mit dem neuen Wert überschrieben. Es wird eine kurze Meldung ausgegeben. Nun wird eine Schaltfläche erzeugt, die bei Betätigung den Wert *vergleich* an das Modul „vergleich.php“ (7.6.13) übermittelt.

Danach wird geprüft, ob *variante2_ID* vom Modul „vergleich.php“ (7.6.13) übergeben wurde. Ist dies der Fall, wird „Name“ des Eintrags mit der entsprechenden „ID_variante“ aus der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) ausgelesen. In der SQL-Tabelle „variantenvergleich“ (7.7.21) wird „ID_variante“ in Zeile 2 mit dem neuen Wert überschrieben. Es wird eine kurze Meldung ausgegeben. Nun wird eine Schaltfläche erzeugt, die bei Betätigung den Wert *vergleich* an das Modul „vergleich.php“ (7.6.13) übermittelt. Jetzt wird überprüft, ob der Wert *ergebnis* vom Modul „vergleich.php“ (7.6.13) übergeben wurde. Ist dies der Fall, wird „Name“ aus der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) und „Lebensdauer“ aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) der Einträge mit den entsprechenden „ID_variante“ und „Name_ID“ ausgelesen.

Ergebnis der Variante "Variante I S100" über eine Gebäudelebensdauer von 100 Jahren :

| Bauteiltyp: | Bauteil: | Menge: | AP: | EP: | GWP: |
|----------------|---|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| AW: | AW Typ IV - Stb-Fertigteil 20cm, Mineralwolle 15cm, Naturstein; Kalkgipsinnenputz | 720 m ² | 3188.94 (33.59 %) | 286.18 (23.93 %) | 297671 (17.93 %) |
| KAW: | KAW Typ I-CEM IIIa - StbC25/30 25cm, Polysterol 10cm, Innenanstrich | 474 m ² | 138.222 (1.46 %) | 41.8883 (3.50 %) | 66371.4 (4.00 %) |
| IW: | IW Typ I - Metallständer 5cm, Mineralwolle 4cm, beidseitig Gipskarton, Innenanstrich | 2595 m ² | 146.812 (1.55 %) | 37.3649 (3.12 %) | 59104.7 (3.56 %) |
| St: | Stütze Typ Ia - Stahlbeton C25/30 30x30cm, Innenanstrich | 580 m | 23.305 (0.25 %) | 13.8013 (1.15 %) | 11313.2 (0.68 %) |
| Da: | DAC Typ VII - Flachdach Ortbeton 24cm, XPS18 cm, Bitumendachbahn, Begrünung; innen verspachtelt, Anstrich | 468 m ² | 1639.26 (17.27 %) | 179.545 (15.02 %) | 279347 (16.83 %) |
| Gd: | Decke Typ II-2 - Stb-Fertigteil 45cm, Doppelboden Heizung, Natursteinbelag; unterseitig Anstrich | 2340 m ² | 3016.48 (31.77 %) | 380.903 (31.85 %) | 574465 (34.61 %) |
| Un: | Unterzug Typ II C30/37 | 360 m | 9.64807 (0.10 %) | 7.4175 (0.62 %) | 5048.73 (0.30 %) |
| Bo: | Bodenplatte Typ III - Stahlbeton C35/45 40 cm + Verstärkung, Oberflächenschutz | 468 m ² | 588.952 (6.20 %) | 136.919 (11.45 %) | 236232 (14.23 %) |
| Fe: | Fenster Typ I | 540 m ² | 638.612 (6.73 %) | 97.4579 (8.15 %) | 114796 (6.92 %) |
| Tu: | Tür Typ III | 435 m ² | 103.496 (1.09 %) | 14.2666 (1.19 %) | 15523.2 (0.94 %) |
| Gesamt: | Variante I S100 | n/a | 9493.72707 | 1195.7435 | 1659872.23 |

[zurück](#)

Abbildung 15: Screenshot der Darstellung des Moduls „vergleich_antw.php“ (Ergebnismodus, Teil 1)

| ODP: | POCP: | Ee: | Ene: | Eges: | Baustoffe: |
|----------------------|-------------------|------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| 0.0159493 (23.23 %) | 180.755 (28.85 %) | 182018 (17.64 %) | 3.4281e+006 (16.65 %) | 3.49196e+006 (16.21 %) | bauteiluntersuchung |
| 0.00267089 (3.89 %) | 31.6294 (5.05 %) | 16057 (1.56 %) | 1.00846e+006 (4.90 %) | 1.03409e+006 (4.80 %) | bauteiluntersuchung |
| 0.00290536 (4.23 %) | 11.002 (1.76 %) | 37797.8 (3.66 %) | 1.18969e+006 (5.78 %) | 1.20597e+006 (5.60 %) | bauteiluntersuchung |
| 0.000449179 (0.65 %) | 1.97185 (0.31 %) | 3950.83 (0.38 %) | 127874 (0.62 %) | 137492 (0.64 %) | bauteiluntersuchung |
| 0.00736228 (10.72 %) | 93.143 (14.87 %) | 62341 (6.04 %) | 3.50931e+006 (17.04 %) | 3.62245e+006 (16.81 %) | bauteiluntersuchung |
| 0.028913 (42.11 %) | 196.243 (31.32 %) | 265366 (25.72 %) | 6.50021e+006 (31.56 %) | 6.71698e+006 (31.18 %) | bauteiluntersuchung |
| 0.000123537 (0.18 %) | 0.877954 (0.14 %) | 1075.62 (0.10 %) | 24038.5 (0.12 %) | 29157.5 (0.14 %) | bauteiluntersuchung |
| 0.00375024 (5.46 %) | 57.083 (9.11 %) | 60918.5 (5.90 %) | 3.00606e+006 (14.60 %) | 3.09529e+006 (14.37 %) | bauteiluntersuchung |
| 0.00559789 (8.15 %) | 42.916 (6.85 %) | 49071.8 (4.76 %) | 1.82178e+006 (8.85 %) | 1.87584e+006 (8.71 %) | bauteiluntersuchung |
| 0.000945864 (1.38 %) | 10.9134 (1.74 %) | 353187 (34.23 %) | -21017 (-0.10 %) | 336445 (1.56 %) | bauteiluntersuchung |
| 0.06866754 | 626.534604 | 1031783.55 | 20594505.5 | 21545674.5 | |

Abbildung 16: Screenshot der Darstellung des Moduls „vergleich_antw.php“ (Ergebnismodus, Teil 2)

Vergleich der Varianten

"Variante I S100" über eine Gebäudelebensdauer von 100 Jahren und

"Variante A S100" über eine Gebäudelebensdauer von 100 Jahren.

Für den direkten Vergleich werden die Werte der Variante "Variante I S100" zu 100 Prozent gesetzt.

| Bauteiltyp: | Bauteil: | Menge: |
|----------------------|--|---------------------|
| AW Variante I S100: | AW Typ IV - Stb-Fertigteil 20cm, Mineralwolle 15cm, Naturstein; Kalkgipsinnenputz | 720 m ² |
| AW Variante A S100: | AW Typ VII - KS-Mauerwerk 20cm, Polysterol 15cm, Isolierputz; Kalkgipsinnenputz | 720 m ² |
| Vergleich: | | 100.00 % |
| KAW Variante I S100: | KAW Typ I-CEM IIIa - StbC25/30 25cm, Polysterol 10cm, Innenanstrich | 474 m ² |
| KAW Variante A S100: | KAW Typ I-CEM IIIa - StbC25/30 25cm, Polysterol 10cm, Innenanstrich | 474 m ² |
| Vergleich: | | 100.00 % |
| IW Variante I S100: | IW Typ I - Metallständer 5cm, Mineralwolle 4cm, beidseitig Gipskarton, Innenanstrich | 2595 m ² |
| IW Variante A S100: | IW Typ I - Metallständer 5cm, Mineralwolle 4cm, beidseitig Gipskarton, Innenanstrich | 2595 m ² |
| Vergleich: | | 100.00 % |

Abbildung 17: Screenshot der Darstellung des Moduls „vergleich_antw.php“ (Vergleichsmodus, Teil 1)

| AP: | EP: | GWP: | ODP: | POCP: | Ee: | Ene: | Eges: |
|----------|----------|----------|------------|----------|----------|--------------|--------------|
| 3188.94 | 286.18 | 297671 | 0.0159493 | 180.755 | 182018 | 3.4281e+006 | 3.49196e+006 |
| 240.229 | 73.8533 | 146192 | 0.00263889 | 28.5525 | 47703 | 1.91643e+006 | 1.96718e+006 |
| 7.53 % | 25.81 % | 49.11 % | 16.55 % | 15.80 % | 26.21 % | 55.90 % | 56.33 % |
| 138.222 | 41.8883 | 66371.4 | 0.00267089 | 31.6294 | 16057 | 1.00846e+006 | 1.03409e+006 |
| 138.222 | 41.8884 | 66371.4 | 0.00267089 | 31.6294 | 16057 | 1.00846e+006 | 1.03409e+006 |
| 100.00 % | 100.00 % | 100.00 % | 100.00 % | 100.00 % | 100.00 % | 100.00 % | 100.00 % |
| 146.812 | 37.3649 | 59104.7 | 0.00290536 | 11.002 | 37797.8 | 1.18969e+006 | 1.20597e+006 |
| 146.812 | 37.3649 | 59104.8 | 0.00290536 | 11.002 | 37797.7 | 1.1897e+006 | 1.20597e+006 |
| 100.00 % | 100.00 % | 100.00 % | 100.00 % | 100.00 % | 100.00 % | 100.00 % | 100.00 % |

Abbildung 18: Screenshot der Darstellung des Moduls „vergleich_antw.php“(Vergleichsmodus, Teil 2

Als nächstes werden die „Gegenstand_ID“ der Bauteilgruppen aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) ermittelt. Es werden Variablen für die Ökobilanzwerte aller Ökokriterien der Gebäudevariante deklariert und mit dem Wert 0 belegt.

Nun folgt eine Schleife über alle Einträge der SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20). Für jeden Eintrag der Tabelle wird überprüft, ob „Name_ID“ mit der ID der aktuellen Variante übereinstimmt. Ist dies der Fall, werden die Ökobilanzwerte des Bauteils dieser Zeile ausgelesen und zu den zuvor deklarierten Variablen addiert.

Nun wird die Ausgabetable erzeugt. Hierzu werden für die erste Zeile der Reihe nach „Bauteiltyp“, „Bauteil“, „Menge“, die acht Ökokriterien und „Baustoffe“ in die Spalten eingetragen.

Nun folgen zehn vom Aufbau her identische Zeilen für die unterschiedlichen Bauteilgruppen. Hierzu wird in der ersten Spalte jeweils die „Kennung“ aus der SQL-Tabelle „bauteilzuordnung“ (7.7.5) der Bauteilgruppe angegeben. In der zweiten Spalte werden in einer Schleife „Bauteil“ aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) für die entsprechende Variante und die jeweilige Bauteilgruppe ausgelesen. Aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) wird nun die „Beschreibung“ für das identifizierte Bauteil ausgelesen und ausgegeben. In der dritten Spalte werden „Einheit“ und „Menge“ aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.6.9) für die entsprechende Gebäudevariante und die jeweilige Bauteilgruppe ausgelesen und ausgegeben.

In den folgenden acht Spalten werden für die acht Ökokriterien jeweils die Werte aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) ausgelesen und ausgegeben. Zusätzlich werden die Werte durch die zuvor ermittelten Ökobilanzwerte der Gebäudevariante geteilt und auf zwei Nachkommastellen gerundet. Das Ergebnis dieser Berechnung wird in Klammern ebenfalls ausgegeben. In der letzten Spalte wird für jedes in der Zeile aufgeführte Bauteil eine Schaltfläche erzeugt, die bei Betätigung die ID des jeweiligen Bauteils zusammen mit der ID der Variante an das Modul „bauteiluntersuchung.php“ (7.7.3) übermittelt.

In der letzten Zeile wird in der ersten Spalte *Gesamt* eingetragen, die zweite Spalte gibt den Namen der Gebäudevariante an. In die dritte Spalte wird *n/a* eingetragen, da es sich hier um die Gesamtgebäudevariante handelt und die verschiedenen Bauteile unterschiedliche Mengeneinheiten besitzen. In die folgenden acht Spalten werden der Reihe nach die zuvor ermittelten Ökobilanzwerte der Gebäudevariante eingetragen, die letzte Spalte bleibt hier ohne Funktion.

Es wird ein Hyperlink „zurück“ erzeugt, der auf das Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) verweist.

Wurde der Wert *vergleich* vom Modul „vergleich.php“ (7.6.13) übergeben, so wird zuerst „ID_variante“ aus der SQL-Tabelle „variantenvergleich“ (7.7.21) der Zeile mit „ID“ = 1 ausgelesen. Hiermit kann der „Name“ aus der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) und die „Lebensdauer“ aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.6.9) ermittelt werden. Danach wird „ID_variante“ aus der SQL-Tabelle „variantenvergleich“ (7.7.21) in der Zeile mit „ID“ = 2 ausgelesen und der entsprechende „Name“ aus der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) und die „Lebensdauer“ aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.6.9) ermittelt.

Es folgt eine Textausgabe mit den Namen der beiden Gebäudevarianten und deren Gebäudelebensdauer. Als nächstes werden die „Gegenstand_ID“ der Bauteilgruppen aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) ermittelt. Es werden Variablen für die Ökobilanzwerte aller Ökokriterien der beiden Gebäudevarianten deklariert und jeweils mit dem Wert 0 belegt.

Nun werden aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) die Ökobilanzwerte der einzelnen Bauteile für die beiden Varianten ausgelesen und aufsummiert. Hierzu wird für jeden Eintrag der Tabelle überprüft, ob „Name_ID“ mit der ID der aktuellen Variante übereinstimmt. Ist dies der Fall, werden die Ökobilanzwerte dieser Zeile ausgelesen und zu den zuvor deklarierten Variablen addiert.

Nun wird die Ausgabetable erzeugt. Hierzu werden in der ersten Zeile der Reihe nach in die einzelnen Spalten „Bauteiltyp“, „Bauteil“, „Menge“ und die acht Ökokriterien eingetragen. Nun folgen 10 vom Aufbau her identische Blöcke mit jeweils drei Zeilen für die unterschiedlichen Bauteilgruppen.

In der ersten Zeile eines Dreierblocks wird in der ersten Spalte jeweils die „Kennung“ aus der SQL-Tabelle „bauteilzuordnung“ (7.7.5) der Bauteilgruppe angegeben und der ermittelte „Name“ der ersten Gebäudevariante ausgegeben. In der zweiten Spalte werden in einer Schleife „Bauteil“ aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) für die entsprechende Gebäudevariante und die jeweilige Bauteilgruppe ausgelesen. Aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) wird nun die „Beschreibung“ für das identifizierte Bauteil ausgelesen und ausgegeben. In der dritten Spalte werden „Einheit“ und „Menge“ aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.6.9) für die entsprechende Gebäudevariante und die jeweilige Bauteilgruppe ausgelesen und ausgegeben. In den folgenden acht Spalten werden für die acht Ökokriterien jeweils die Ökobilanzwerte aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) ausgelesen und ausgegeben.

In der zweiten Zeile eines Dreierblocks wird in der ersten Spalte jeweils die „Kennung“ der Bauteilgruppe aus der SQL-Tabelle „bauteilzuordnung“ (7.7.5) angegeben und der ermittelte „Name“ der zweiten Gebäudevariante ausgegeben. In der zweiten Spalte werden in einer Schleife „Bauteil“ aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) für die entsprechende Gebäudevariante und die jeweilige Bauteilgruppe ausgelesen. Aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) wird nun die „Beschreibung“ für das identifizierte Bauteil ausgelesen und ausgegeben. In der dritten Spalte werden „Einheit“ und „Menge“ aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.6.9) für die entsprechende Gebäudevariante und die jeweilige Bauteilgruppe ausgelesen und ausgegeben. In den folgenden acht Spalten werden für die acht Ökokriterien jeweils die Ökobilanzwerte aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) ausgelesen und ausgegeben.

In der dritten Zeile eines Dreierblocks wird in der ersten Spalte *Vergleich* eingetragen. Die zweite Spalte bleibt leer. In der dritten Spalte wird „Menge“ des betreffenden Bauteils der beiden Gebäudevarianten aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) ausgelesen. Die Menge der Bauteilgruppe der zweiten Gebäudevariante wird durch den Wert der ersten Gebäudevariante geteilt und auf zwei Nachkommastellen gerundet ausgegeben. In den folgenden acht Spalten werden für die acht Ökokriterien jeweils die Ökobilanzwerte aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) für beide Gebäudevarianten ausgelesen. Die Werte der zweiten Gebäudevariante werden durch die Ökobilanzwerte der ersten Gebäudevariante geteilt und auf zwei Nachkommastellen gerundet ausgegeben.

Es folgt noch ein letzter Dreierblock. In dessen erster Zeile wird in der ersten Spalte *Gesamt* und der ermittelte „Name“ der ersten Gebäudevariante eingetragen. In der zweiten Spalte wird der ermittelte „Name“ der ersten Gebäudevariante eingetragen. In die dritte Spalte wird *n/a* eingetragen, da es sich hier um die Gesamtgebäudevariante handelt und die verschiedenen Bauteile unterschiedliche Mengeneinheiten besitzen. In den folgenden acht Spalten werden für die acht Ökokriterien jeweils die vorher aufaddierten Ökobilanzwerte der Bauteilgruppen der ersten Gebäudevariante ausgegeben.

In der zweiten Zeile wird in der ersten Spalte *Gesamt* und der ermittelte „Name“ der zweiten Gebäudevariante eingetragen. In der zweiten Spalte wird der ermittelte „Name“ der zweiten Gebäudevariante eingetragen. In die dritte Spalte wird *n/a* eingetragen, da es sich hier um die Gesamtgebäudevariante handelt und die verschiedenen Bauteile unterschiedliche Mengeneinheiten besitzen. In den folgenden acht Spalten werden für die acht Ökokriterien jeweils die vorher aufaddierten Ökobilanzwerte der Bauteilgruppen der zweiten Gebäudevariante ausgegeben.

In der letzten Zeile wird in der ersten Spalte *Vergleich* eingetragen, die zweite Spalte bleibt leer. In die dritte Spalte wird *n/a* eingetragen, da es sich hier um die Gesamtgebäudevariante handelt und die verschiedenen Bauteile unterschiedliche Mengeneinheiten besitzen. In den folgenden acht Spalten werden für die acht Ökokriterien jeweils die vorher aufaddierten Ökobilanzwerte der Bauteilgruppen der zweiten Gebäudevariante durch die Ökobilanzwerte der ersten Gebäudevariante geteilt, auf zwei Nachkommastellen gerundet und ausgegeben.

Es wird ein Hyperlink „zurück“ erzeugt, welcher auf das Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) verweist.

Umfang:

Dieses Modul enthält 7.840 Zeilen Quelltext, was ca. 156 A4-Seiten entspricht.

7.6.15 zuordnungstabelle.php

Userfunktionen:

Der User bekommt hier eine kurze Rückmeldung, dass aus der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) eine neue „zuordnungstabelle“ (7.7.23) erzeugt werden kann. Wenn der User dies mittels der Schaltfläche „Bestätigen“ bestätigt, wird die Aktion ausgeführt.

Arbeitsweise:

Das Modul besteht ausschließlich aus einer Meldung über die Funktion des Moduls und einem Formular, das nach einer Bestätigung des Users das Modul „zuordnungstabelle_antw“ (7.6.16) aufruft.

Umfang:

Dieses Modul enthält 20 Zeilen Quelltext, was ca. einer A4-Seite entspricht.

7.6.16 zuordnungstabelle_antw.php

Userfunktionen:

Der User bekommt hier nur eine kurze Rückmeldung, dass die „zuordnungstabelle“ (7.7.23) erzeugt und die „spezialisierungen“ (7.7.19) aktualisiert wurden.

Arbeitsweise:

Zuerst werden alle automatisch erzeugten Einträge in den SQL-Tabellen „gegenstaende“ (7.7.9), „spezialisierungen“ (7.7.19), „beurteilungen“ (7.7.8), und „inhaltsangaben“ (7.7.10) gelöscht. Diese Einträge werden über das Tag *ja* in der Spalte „auto_erzeugt“ identifiziert. Die SQL-Tabellen „zuordnungstabelle“ (7.7.23) und „baustofftabelle“ (7.7.2) werden vollständig geleert. Die ID des Benutzers und das Datum werden zur späteren Protokollierung ermittelt und in Variablen gespeichert.

Als nächstes werden die ID-Werte der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) auf deren Minimal- und Maximalwert untersucht und ein Begriffsarray wird deklariert.

Nun läuft eine Schleife von der soeben ermittelten minimalen ID bis zur maximalen ID über alle Einträge der Tabelle. Innerhalb dieser Schleife werden jeweils die Spalten „typ“ und die ersten beiden Buchstaben von „gruppe“ der Tabelle ausgelesen. Diese Werte werden für alle Bauteiltypen mit Ausnahme von „Dächer“ und „Gründung“ mit den Einträgen der Spalten „Typ“ und „Kennung“ der SQL-Tabelle „bauteilzuordnung“ (7.7.5) verglichen, um somit über die ID in der Spalte „ID-grob“ den Baustoff einer entsprechenden Bauteilgruppe zuordnen zu können. Für „Dächer“ und „Gründung“ findet ausschließlich ein Vergleich der Spalten „typ“ in der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) und „Typ“ in der SQL-Tabelle „bauteilzuordnung“ (7.7.5) statt. Hierbei genügt ein einfacher Vergleich, da diese Bauteiltypen nicht, wie alle sonstigen Bauteiltypen, über Bauteilgruppen innerhalb des Bauteiltyps verfügen (siehe 7.7.5).

Aus den ermittelten Werten für „typ“ und „gruppe“ wird ein zusammenhängender Textstring erzeugt. Das Begriffsarray wird nun auf diesen String untersucht. Ist dieser schon vorhanden, wird der momentane Datensatz als Dublette erkannt und im Weiteren ignoriert. Ist dieser String noch nicht im Begriffsarray enthalten, so werden „typ“, „gruppe“ und „ID_grob“ in eine neue Zeile der SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“ (7.7.23) eingetragen und dieser Zeile automatisch eine fortlaufende ID hinzugefügt.

Dies geschieht für jede Zeile der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12). Die nun existierende SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“ (7.7.23) ist dublettenfrei und enthält alle Bauteilgruppen mit deren Zuordnung zur SQL-Tabelle „bauteilzuordnung“ (7.7.5).

Als nächstes müssen die ermittelten Bauteilgruppen in die SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) eingetragen werden. Dazu läuft eine Schleife über alle Einträge der SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“ (7.7.23). Die Spalten „typ“, „gruppe“ und „zuordnung“ werden ausgelesen. Mittels „zuordnung“ können in der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) „Einheit“ und „Bezeichnung“ identifiziert werden. Die ermittelten Werte für „Bezeichnung“, „gruppe“ und „Einheit“ werden in einer neuen Zeile der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) in die Spalten „Bezeichnung“, „Beschreibung“ und „Einheit“ eingetragen. Die Zeile wird automatisch mit einer fortlaufenden „Gegenstand_ID“ in der Spalte „Gegenstand_ID“, dem Tag *ja* in „auto_erzeugt“, der momentanen User-ID in „erfasst_von“ und dem Datum in „Datum“ ergänzt.

In die SQL-Tabelle „spezialisierungen“ (7.7.19) wird eine neue Zeile mit „zuordnung“ und „Gegenstand_ID“ in den Spalten „Gegenstand_grob“ und „gegenstand_speziell“ erzeugt. Diese Zeile wird mit einer fortlaufenden „Spezialisierungs_ID“, dem „auto_erzeugt“-Tag, der User-ID und dem Datum ergänzt.

In einem nächsten Schritt werden ein „Baustoffarray“ und ein „Inhaltsarray“ deklariert und es läuft erneut eine Schleife über alle Einträge der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12). Diesmal werden jeweils die Spalten „prozessart“, „wirkung“, „untergruppe“, „Jahr“ und „Einheit_Menge“ ausgelesen. Eine weitere Schleife entfernt mittels der PHP-Funktion „substr“ die Schichtnummer des Baustoffs in der Spalte „untergruppe“, wodurch nur noch die eigentliche Bezeichnung des Baustoffs übrig bleibt.

Da die aus der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) automatisch in die Datenbank importierten Baustoffe zur Wahrung der Hierarchie als Überordnung den Begriff *Baustoffe (NBB)* erhalten sollen, wird dessen „Gegenstand_ID“ aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) ermittelt.

Nun wird geprüft, ob die Bezeichnung des Baustoffs schon im „Baustoffarray“ existiert. Ist dies der Fall, handelt es sich bei der momentanen Zeile um eine schon eingetragene Dublette, die aussortiert werden kann. Ist dies nicht der Fall, wird die „Prozessart“ der Zeile überprüft. Da das erste Auftreten der Prozessart „Entsorgung“ eines Baustoffs automatisch dessen vorgegebene Lebensdauer darstellt, kann das „Jahr“ dieser Zeile übernommen und im Folgenden als Lebensdauer betrachtet werden (siehe dazu 7.7.12). Die ermittelte „Bezeichnung“, „Beschreibung“, „Einheit“ und „Lebensdauer“ können jetzt in die SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) als neue Zeile zusammen mit der automatisch erzeugten „Gegenstand_ID“, dem „auto_erzeugt“-Tag, der User-ID und dem Datum eingetragen werden.

Um den Baustoff hierarchisch zuordnen zu können, werden in der SQL-Tabelle „spezialisierungen“ (7.7.19) „Gegenstand_grob“ (die ermittelte ID des Begriffs *Baustoffe (NBB)*), „Gegenstand_speziell“ (die soeben erzeugte ID des Eintrags in die Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9)), eine „Spezialisierungs_ID“, das „auto_erzeugt“-Tag, die User-ID und das Datum in einer neuen Zeile eingetragen.

Zuletzt werden die Ökodaten der Baustoffe in die SQL-Tabelle „baustofftabelle“ (7.7.2) eingetragen. Hierzu werden zuerst zwei Arrays erzeugt, ein „Oekodatenarray“ und ein „Beurteilungsarray“. Eine Schleife läuft über alle Einträge der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) und liest „Prozessart“, „Wirkung“, „gruppe“, „untergruppe“, „Menge“, „Einheit_Menge“ und „Oekobilanz“ aus. Der Eintrag in „untergruppe“, bestehend aus der Schichtnummer des Baustoffs und der Bezeichnung des Baustoffs wird in die beiden Einzelkomponenten aufgeteilt. Mittels der so erhaltenen Bezeichnung wird in der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) die „Gegenstand_ID“ des Baustoffs ermittelt.

Aus „Prozessart“, „Wirkung“ und der aus „untergruppe“ ermittelten Bezeichnung wird ein Textstring gebildet, in dem die einzelnen Bestandteile durch ein Leerzeichen getrennt sind. Das Ökodatenarray wird nun auf diesen String hin untersucht. Existiert dieser bereits im Array, so handelt es sich um eine bereits erfasste Dublette, die im Folgenden ignoriert wird. Existiert dieser String noch nicht, so wird in einem weiteren Schritt die „Kriterium_ID“ aus der SQL-Tabelle „kriterien“ (7.7.11) mittels des Eintrags in „Wirkung“ ermittelt. Aus „Gegenstand_ID“

und „Kriterium_ID“ wird nun, getrennt durch ein Leerzeichen, der Textstring erzeugt. Auf diesen String hin wird das „Beurteilungsarray“ untersucht. Wird dieser String im Array gefunden, so bedeutet dies, dass die Ökodaten einer der beiden Prozessarten (Konstruktion und Entsorgung) schon eingetragen wurden und nun die Werte der zweiten Prozessart hinzuaddiert werden müssen. Dies geschieht, indem die momentanen „Wert_min“- und „Wert_max“-Werte der ersten Prozessart aus der SQL-Tabelle „baustofftabelle“ (7.7.2) über „Gegenstand_ID“ und „Kriterium_ID“ identifiziert, ausgelesen und mit den aktuellen Ökodaten der zweiten Prozessart addiert werden. Die Werte in der SQL-Tabelle „baustofftabelle“ (7.7.2) werden dann auf die erhaltene Summe der Ökodaten beider Prozessarten aktualisiert.

Ist der Textstring in dem „Beurteilungsarray“ noch nicht enthalten, wurden für den Baustoff noch keine Ökodaten eingetragen und in der SQL-Tabelle „baustofftabelle“ (7.7.2) wird eine neue Zeile erzeugt, in welche die momentanen Ökodaten geschrieben werden. Beim Erzeugen der neuen Zeile wird dieser automatisch eine fortlaufende ID, das „auto_erzeugt“-Tag, die User-ID und das Datum hinzugefügt.

Um festzuhalten, dass ein Baustoff in einem bestimmten Bauteil enthalten ist, wird aus der „Gegenstand_ID“ des Bauteils, der „Gegenstand_ID“ des Baustoffs (beide aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) mittels „Bezeichnung“ und „Beschreibung“ ermittelt) und der Schichtnummer des Baustoffs ein Textstring gebildet. Existiert dieser schon im „Inhaltsarray“, so handelt es sich um eine Dublette. Ist der String im Array noch nicht vorhanden, so wird in der SQL-Tabelle „inhaltsangaben“ (7.7.10) eine neue Zeile erzeugt, in welche die „Gegenstand_ID“ des Baustoffs als „Gegenstand_teil“ und die „Gegenstand_ID“ des Bauteils als „Gegenstand_ganz“ eingefügt werden. Zusätzlich wird die Zeile mit einer automatisch erzeugten „Inhalt_ID“, „Erläuterung“ (der Schichtnummer), „Faktor_min“, „Faktor_max“, dem „auto_erzeugt“-Tag, der User-ID und dem Datum vervollständigt.

Zuletzt werden die in die SQL-Tabelle „baustofftabelle“ (7.7.2) eingetragenen Werte für „Wert_min“ und „Wert_max“ zusammen mit der „Gegenstand_ID“ und der „Kriterium_ID“ in die Tabelle „beurteilungen“ (7.7.8) eingetragen.

Dieser letzte Schritt hat für die eigentliche Ökobilanzierung keine Funktion. Er dient ausschließlich dazu, bestimmte Funktionen der Online-Plattform NBB-Info (7.5.1) auch für die automatisch übernommenen Datensätze aus der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) verfügbar zu machen. Da dies jedoch in einem für die Ökobilanzierung relevanten Modul geschieht, sei es hier der Vollständigkeit halber erwähnt.

Umfang:

Dieses Modul enthält 334 Zeilen Quelltext, was ca. sieben A4-Seiten entspricht.

7.7 SQL-Tabellen

Alle benötigten Daten für das Computerprogramm ÖkoBOA befinden sich in SQL-Tabellen in einer MySQL-Datenbank, die auf dem Server des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen der Universität lokalisiert ist. Auf diese Tabellen kann über SQL-Befehle in den Modulen direkt zugegriffen werden. Verwaltet werden die Datenbanken mittels der PHP-Applikation „phpMyAdmin“. Exemplarisch ist in Abbildung 19 ein Ausschnitt der SQL-Tabelle „baustofftabelle“ (7.7.2) in der Darstellung der PHP-Applikation „phpMyAdmin“ gezeigt. Eine Zeile stellt hier einen Datensatz in der Tabelle dar. Die Spaltenüberschriften sind die Attributnamen der in der Tabelle enthaltenen Attribute.

Abbildung 20 zeigt die zu Abbildung 19 gehörende Tabellenstruktur in der Darstellung der PHP-Applikation „phpMyAdmin“. Hierbei entspricht jede Zeile einem Attribut der Tabelle. Die Spalte „Feld“ enthält die zugewiesenen Attributnamen, wobei der unterstrichene Attributname der ersten Zeile den Primärschlüssel der Tabelle kennzeichnet. „Typ“ zeigt die Datentypen der Tabelleneinträge an. Unter „Attribute“ kann ausgewählt werden, ob Vorzeichen berücksichtigt

werden und ob führende Nullen angezeigt werden sollen. „Null“ legt fest, ob ein Feld leer bleiben darf. „Standard“ legt den default-Eintrag für ein ansonsten leeres Feld fest. Unter „Extra“ kann festgelegt werden, ob ein Feld (ganzzahlig) für einen neuen Datensatz automatisch weitergezählt wird. Diese Option wird für die automatische Vergabe der Primärschlüssel angewandt. Die letzte Spalte „Aktion“ bietet die Möglichkeit, verschiedene Operationen an einem Attribut auszuführen.

| | | Baustoff_ID | Gegenstand_ID | Kriterium_ID | Wert_min | Wert_max | auto_erzeugt | erfasst_von | Datum |
|--------|---------|-------------|---------------|--------------|-----------|-----------|--------------|-------------|---------------------|
| Ändern | Löschen | 1 | 19631 | 1 | 3.17813 | 3.17813 | ja | 7 | 2010-04-09 11:09:42 |
| Ändern | Löschen | 2 | 19632 | 1 | 6.94193 | 6.94193 | ja | 7 | 2010-04-09 11:09:42 |
| Ändern | Löschen | 3 | 19633 | 1 | 3.17813 | 3.17813 | ja | 7 | 2010-04-09 11:09:42 |
| Ändern | Löschen | 4 | 19634 | 1 | 0.315621 | 0.315621 | ja | 7 | 2010-04-09 11:09:42 |
| Ändern | Löschen | 5 | 19635 | 1 | 0.399189 | 0.399189 | ja | 7 | 2010-04-09 11:09:42 |
| Ändern | Löschen | 6 | 19636 | 1 | 3.66809 | 3.66809 | ja | 7 | 2010-04-09 11:09:42 |
| Ändern | Löschen | 7 | 19637 | 1 | 0.0760015 | 0.0760015 | ja | 7 | 2010-04-09 11:09:42 |
| Ändern | Löschen | 8 | 19638 | 1 | 0.0752659 | 0.0752659 | ja | 7 | 2010-04-09 11:09:42 |
| Ändern | Löschen | 9 | 19639 | 1 | 6.14765 | 6.14765 | ja | 7 | 2010-04-09 11:09:42 |
| Ändern | Löschen | 10 | 19640 | 1 | 19.4781 | 19.4781 | ja | 7 | 2010-04-09 11:09:42 |
| Ändern | Löschen | 11 | 19641 | 1 | 6.09636 | 6.09636 | ja | 7 | 2010-04-09 11:09:42 |
| Ändern | Löschen | 12 | 19642 | 1 | 10.6335 | 10.6335 | ja | 7 | 2010-04-09 11:09:42 |
| Ändern | Löschen | 13 | 19643 | 1 | 0 | 0 | ja | 7 | 2010-04-09 11:09:42 |

Abbildung 19: Screenshot aus der SQL-Tabelle „baustofftabelle“

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra | Aktion | | | | | |
|--------------------------|---------------|--------------|-----------|------|---------------------|----------------|--------|---------|-----------------|-------|--------|----------|
| <input type="checkbox"/> | Baustoff_ID | int(11) | | Nein | | auto_increment | Ändern | Löschen | Primärschlüssel | Index | Unique | Volltext |
| <input type="checkbox"/> | Gegenstand_ID | int(11) | | Nein | 0 | | Ändern | Löschen | Primärschlüssel | Index | Unique | Volltext |
| <input type="checkbox"/> | Kriterium_ID | int(11) | | Nein | 0 | | Ändern | Löschen | Primärschlüssel | Index | Unique | Volltext |
| <input type="checkbox"/> | Wert_min | float | | Nein | 0 | | Ändern | Löschen | Primärschlüssel | Index | Unique | Volltext |
| <input type="checkbox"/> | Wert_max | float | | Nein | 0 | | Ändern | Löschen | Primärschlüssel | Index | Unique | Volltext |
| <input type="checkbox"/> | auto_erzeugt | varchar(255) | | Nein | | | Ändern | Löschen | Primärschlüssel | Index | Unique | Volltext |
| <input type="checkbox"/> | erfasst_von | int(11) | | Nein | 0 | | Ändern | Löschen | Primärschlüssel | Index | Unique | Volltext |
| <input type="checkbox"/> | Datum | datetime | | Nein | 0000-00-00 00:00:00 | | Ändern | Löschen | Primärschlüssel | Index | Unique | Volltext |

Abbildung 20: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „baustofftabelle“

Die gezeigte Beispieltabelle enthält das Attribut „auto_erzeugt“. Dieses wurde eingeführt, um automatisch erzeugte Datensätze zu kennzeichnen. Durch die Arbeit an dem DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ waren zu Beginn dieser Arbeit bestimmte SQL-Tabellen schon vorhanden. Die in diesen Tabellen enthaltenen Datensätze sind Teil der Ergebnisse des Forschungsprojekts. Aufgrund der Programmstruktur und Arbeitsweise des als Plattform für das Computerprogramm ÖkoBOA fungierenden Online- Informationssystems „NBB-Info“ (7.5.1) werden diese Tabellen teilweise von ÖkoBOA mit verwendet und mit neuen Datensätzen beschrieben. Um die Ergebnisse des Forschungsprojektes von den Ergebnissen dieser Arbeit abzugrenzen zu können, werden alle von ÖkoBOA erzeugten Datensätze in SQL-Tabellen, welche auch Teil von „NBB-Info“ sind, mit dem Tag „auto_erzeugt“ = *ja* gekennzeichnet. Die Attribute „erfasst von“ (speichert die ID der Person, die den Datensatz erzeugte) und „Datum“ (enthält Datum und Uhrzeit der Erstellung des Datensatzes) dienen der Verwaltung der Datensätze und der Rekonstruktion von Änderungen im Datensatzbestand. Zu-

sammen mit dem Tag „auto_erzeugt“ bilden die Attribute „erfasst_von“ und „Datum“ das so genannte „Eintrags-Tag“, das genauere Informationen über einen bestimmten Datensatz und dessen Erstellung liefert.

Die verschiedenen SQL-Tabellen mit den enthaltenen Datensätzen bilden zusammen eine relationale Datenbank. Um Redundanzen und damit mögliche Inkonsistenzen zu vermeiden, wird hierfür gefordert, dass die Tabellen normalisiert vorliegen. Der Prozess der Normalisierung beruht im Wesentlichen auf der schrittweisen Zerteilung einer Tabelle in mehrere Einzeltabellen, deren Einträge schließlich am Ende keine Redundanzen mehr aufweisen. Die exakte Vorgehensweise hierzu wird beispielsweise in [Här2001] genauer erläutert.

Die dem Computerprogramm ÖkoBOA zugrunde liegenden Ökodaten, Bauteilaufbauten, und Baustofflebensdauern wurden im Rahmen des DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“ in Form der Excel-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12, mit 13 Spalten und ca. 21000 Zeilen) dem Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart zur Verfügung gestellt. Zur weiteren Verwendung wurde sie in eine gleichnamige SQL-Tabelle exportiert. Diese Tabelle ist, bedingt durch ihren Aufbau (siehe 7.7.12), in vielfacher Weise redundant und erfüllt somit nicht den Anspruch einer normalisierten Tabelle. Aufgrund der Größe der Tabelle und der gleich mehrfachen Redundanzen erschien es durch den erforderlichen zeitlichen Aufwand nicht sinnvoll, diese Tabelle einem vollständigen Normalisierungsprozess zu unterziehen. Vielmehr werden bei der Ausführung bestimmter Module jeweils neue SQL-Tabellen aus der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ erzeugt, welche dann in einer auf die Funktionsweise des jeweiligen Moduls abgestimmten Form normalisiert werden. Die Darstellung von relationalen Datenbanken erfolgt in der Regel durch ein „Entity-Relationship-Modell“ (ER-Modell), in dem durch eine grafische Darstellung die Funktionsweise der Datenbank verdeutlicht wird (siehe hierzu [Cla2001]).

Aufgrund der Komplexität der vorliegenden Datenbank, resultierend aus ihrem Umfang und dem Vorliegen von nicht normalisierten Tabellen, wurde hier entschieden, von dieser Darstellungsform abzuweichen. Die Struktur der dem Computerprogramm ÖkoBOA zugrunde liegenden relationalen Datenbank wird somit in Anlehnung an die Darstellungsform der ER-Modelle in Form von „Verknüpfungsmodellen“ erläutert. In Abbildung 21 ist exemplarisch ein solches Verknüpfungsmodell abgebildet.

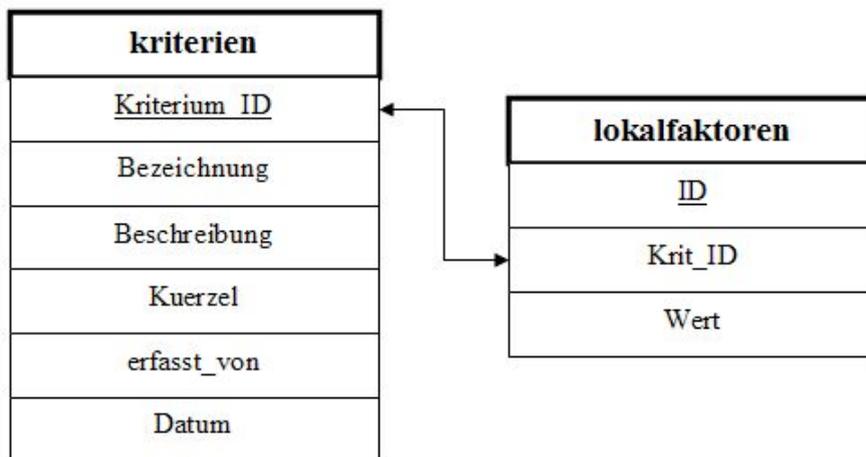


Abbildung 21: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „lokalfaktoren“

Jede Tabelle in einem solchen Verknüpfungsmodell stellt eine SQL-Tabelle in der Datenbank dar. Die erste, fett gedruckte Zeile der Tabelle enthält den Tabellennamen. Alle weiteren Zeilen enthalten die in der Tabelle vorkommenden Attributnamen. Ein unterstrichener Attributname steht dabei für den Primärschlüssel der Tabelle, der einen Datensatz eindeutig kennzeichnet. Die Zugriffe der verschiedenen Module auf die SQL-Tabellen werden als doppelseitige Pfeile

dargestellt. Im hier vorliegenden Fall greift also ein Modul auf die beiden SQL-Tabellen „kriterien“ und „lokalfaktoren“ zu, wobei der Primärschlüssel der SQL-Tabelle „kriterien“ zur Lokalisierung bestimmter Datensätze in der SQL-Tabelle „lokalfaktoren“ verwendet wird.

Auf den folgenden Seiten wird für jede in der relationalen Datenbank enthaltene SQL-Tabelle ein solches Verknüpfungsmodell gezeigt, das alle Modulzugriffe auf die SQL-Tabelle darstellt. SQL-Tabellennamen und hierin verwendete Attributnamen, sowie die Modulnamen sind in Anführungszeichen geschrieben, konkrete Werte und Tags sind durch kursive Schrift gekennzeichnet

7.7.1 arbeitstabelle

Diese SQL-Tabelle besteht aus 25 Attributen. Die „ID“ wird automatisch erzeugt und dient als Primärschlüssel der Tabelle. „Bauteiltyp_ID“ verweist auf den Primärschlüssel der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15). Die „Bauteil_ID“ verweist auf den Primärschlüssel der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) und erlaubt somit eine eindeutige Identifikation des Bauteils.

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|--------------------|--------------|-----------|------|----------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | ID | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Bauteiltyp_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Bauteil_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Schichtanzahl | int(5) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Baustoff_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Schichtnummer | int(5) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Lebensdauer | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Einbauhaefufigkeit | int(5) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_AP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_EP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_GWP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_ODP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_POCP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_Ee | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_Ene | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_Eges | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_AP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_EP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_GWP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_ODP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_POCP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_Ee | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_Ene | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_Eges | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Bauteilsumme | varchar(255) | | Nein | | |

Abbildung 22: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „arbeitstabelle“

„Schichtanzahl“ gibt die Gesamtanzahl der Schichten des betreffenden Bauteils an. „Baustoff_ID“ verweist wiederum auf den Primärschlüssel der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) und ermöglicht eine eindeutige Identifikation des Baustoffs (Abbildung 23). „Schichtnummer“ gibt die Schichtnummer des betreffenden Baustoffs im betrachteten Bauteil an. „Lebensdauer“ enthält die erwartete Lebensdauer des Baustoffs in Jahren. „Einbauhaeufigkeit“ gibt an, wie oft der jeweilige Baustoff über die gewählte Lebensdauer des Gesamtgebäudes eingebaut wird. Die nächsten 16 Attribute enthalten die Werte zu den acht Ökokriterien (Bilanzwerte oder Bauteil-/Gebäudeökobilanzwerte). Dabei existiert für jedes Kriterium jeweils ein Wert für die beiden Prozessarten *Konstruktion* und *Entsorgung*. Die Bezeichnung dieser Attribute setzt sich zusammen aus den in der SQL-Tabelle „kriterien“ (7.7.11) im Attribut „Kuerzel“ verwendeten Abkürzungen des Ökokriteriums und einem durch einen Unterstrich von der Abkürzung getrennten Präfix *K* oder *E* für die jeweilige Prozessart. *K_AP* steht also zum Beispiel für Wert des Gesamtversauerungspotentials bei der Prozessart *Konstruktion*. Das Attribut „Bauteilsumme“ dient zur Kennzeichnung der Gesamtwerte für ein ganzes Bauteil oder das Gesamtgebäude. Die Zeilen der Tabelle, in welchen die Einzelwerte der enthaltenen Baustoffe aufsummiert werden und somit die Bauteilbilanz ergeben, sind hier mit einem *ja* gekennzeichnet (Abbildung 22). Diese Tabelle wird beim Aufrufen des Moduls „relativwerte.php“ (7.6.8) erzeugt und wird ausschließlich zur Zwischenspeicherung aller dem System bekannten Bauteile und deren Bilanzwerte oder Bauteil-/Gebäudeökobilanzwerte genutzt. Aufgrund der hier enthaltenen Ergebnisse wird dann in einem weiteren Schritt die SQL-Tabelle „relativwerte“ (7.7.17) erzeugt.

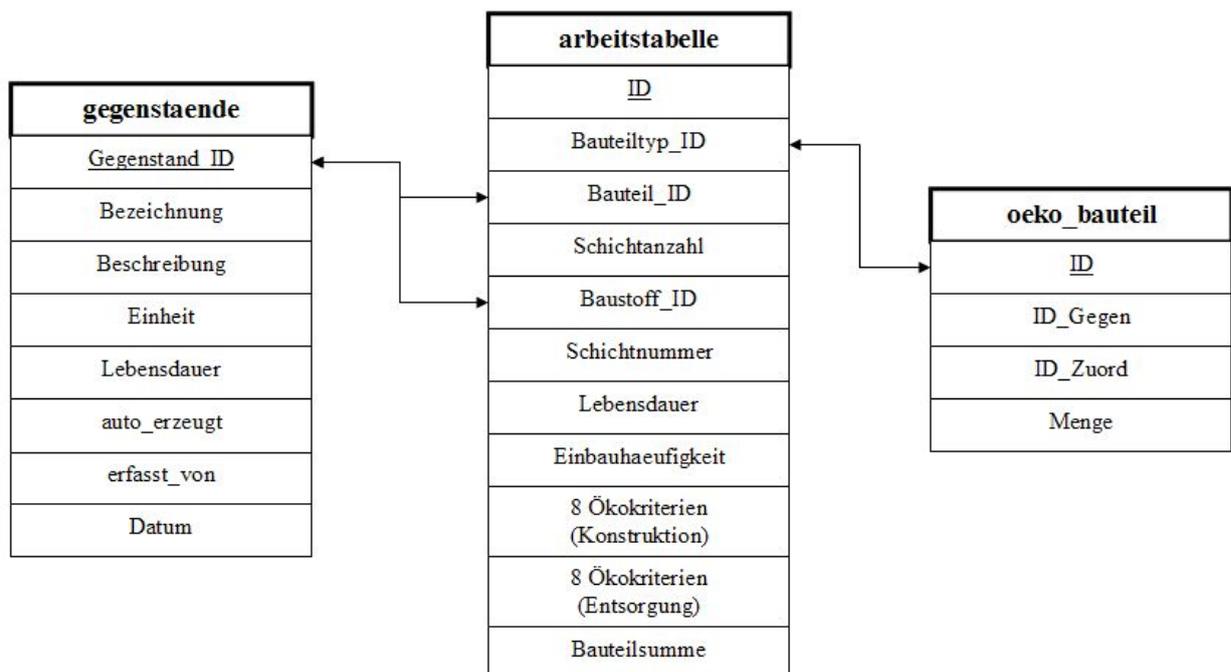


Abbildung 23: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „arbeitstabelle“ (zur besseren Übersichtlichkeit sind die jeweils acht Attribute mit den Konstruktions- und Entsorgungswerten zu den Ökokriterien als ein einziges Attribut *8 Ökokriterien (Konstruktion/Entsorgung)* dargestellt)

7.7.2 baustofftabelle

Diese SQL-Tabelle besteht aus den acht Attributen „Baustoff_ID“, „Gegenstand_ID“, „Kriterium_ID“, „Wert_min“, „Wert_max“, „auto_erzeugt“, „erfasst_von“ und „Datum“ (Abbildung 24). Bei der „Baustoff_ID“ handelt es sich dabei um den Primärschlüssel der Tabelle, eine automatisch erzeugte fortlaufende Nummer.

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|---------------|--------------|-----------|------|---------------------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | Baustoff_ID | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Gegenstand_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Kriterium_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Wert_min | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Wert_max | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | auto_erzeugt | varchar(255) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | erfasst_von | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Datum | datetime | | Nein | 0000-00-00 00:00:00 | |

Abbildung 24: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „baustofftabelle“

Die „Gegenstand_ID“ verweist auf den Primärschlüssel eines Baustoffs in der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9). Die „Kriterium_ID“ verweist auf den Primärschlüssel der SQL-Tabelle „kriterien“ (7.7.11) und definiert somit ein bestimmtes Ökokriterium (Abbildung 25). Über die beiden Attribute „Wert_min“ und „Wert_max“ kann für ein Ökokriterium eines Baustoffs eine Wertespanne angegeben werden. Das Attribut „auto_erzeugt“ dient der Kennzeichnung von automatisch eingetragenen Datensätzen. Die Attribute „erfasst von“ und „Datum“ enthalten das Eintrags-Tag bestehend aus der User-ID des Erstellers der betreffenden Zeile und dem Datum mit Uhrzeit der Erzeugung des Datensatzes.

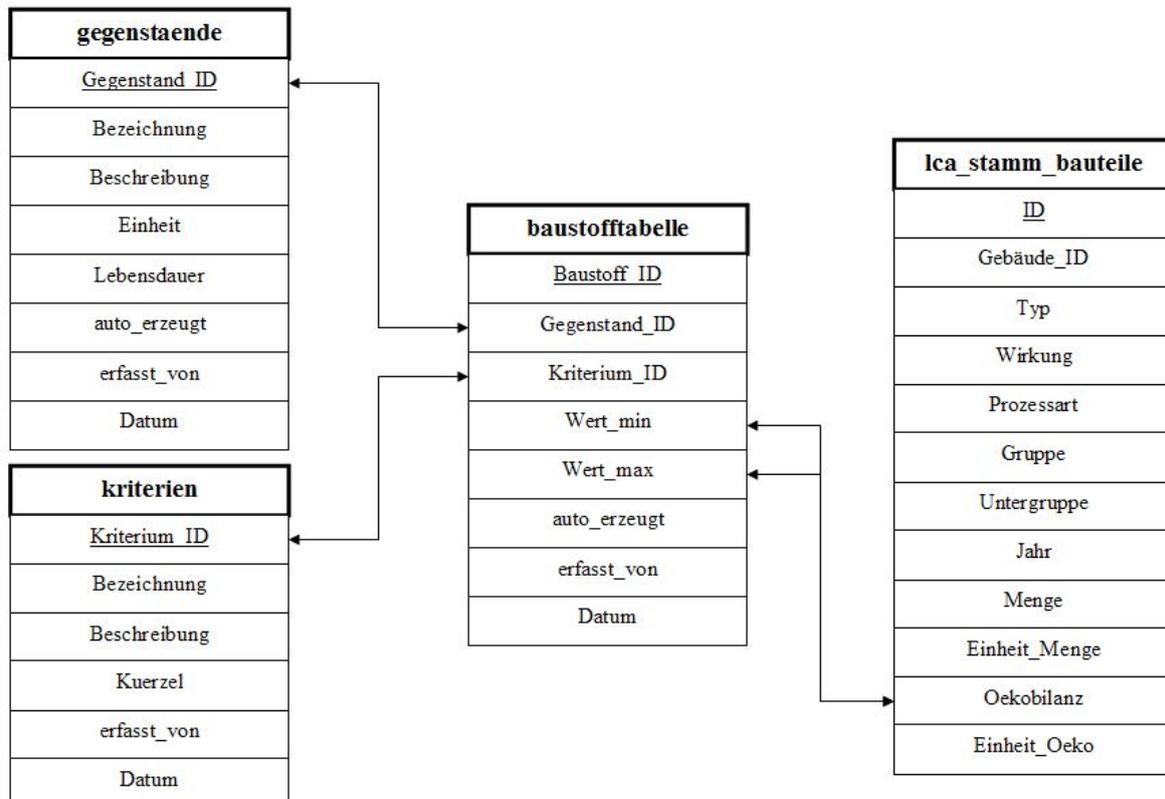


Abbildung 25: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „baustofftabelle“

Diese SQL-Tabelle besitzt zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit 640 Datensätze. Sie dient dazu, einem in der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) eingetragenen Baustoff einen Minimal- und Maximalwert für ein in der SQL-Tabelle „kriterien“ (7.7.11) eingetragenes Öko-

kriterium zuzuweisen. Die Tabelle wird dabei automatisch mittels der Module „zuordnungstabelle.php“ (7.6.15) und „zuordnungstabelle_antw.php“ (7.6.16) aus der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) erzeugt.

7.7.3 bauteiluntersuchung

Diese SQL-Tabelle besteht aus den 16 Attributen „Bauteil_ID“, „Bauwerklebensdauer“, „Schichtanzahl“, „Schichtnr“, „Baustoff_ID“, „Lebensdauer“, „Einbauhäufigkeit“, „AP“, „EP“, „GWP“, „ODP“, „POCP“, „Ee“, „Ene“, „Eges“ und „gesamt“. „Bauteil_ID“ und „Baustoff_ID“ verweisen jeweils auf die „Gegenstand_ID“ der SQL-Tabelle „gegenstaende“ und dienen der Identifizierung des betreffenden Bauteils oder Baustoffs. „Bauwerklebensdauer“ enthält die Gebäudelebensdauer. „Schichtanzahl“ und „Schichtnr“ enthalten die im betrachteten Bauteil beinhaltete Anzahl an Baustoffschichten und die Schichtnummer der die Zeile betreffenden Schicht. „Lebensdauer“ gibt die Baustofflebensdauer der betreffenden Schicht an und „Einbauhäufigkeit“ die hieraus resultierenden notwendigen Sanierungen über die Gebäudelebensdauer. Die Attribute „AP“, „EP“, „GWP“, „ODP“, „POCP“, „Ee“, „Ene“ und „Eges“ stellen die Bilanzwerte oder Bauteilökobilanzwerte der betrachteten Ökokeriterien (siehe hierzu 7.7.11) über die Gebäudelebensdauer dar. „gesamt“ dient zur Kennzeichnung der aufaddierten Gesamtbilanz des Bauteils über alle enthaltenen Baustoffe (Abbildung 26).

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|--------------------|--------------|-----------|------|----------|-------|
| <input type="checkbox"/> | Bauteil_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Bauwerklebensdauer | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Schichtanzahl | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Schichtnr | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Baustoff_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Lebensdauer | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Einbauhäufigkeit | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | AP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | EP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | GWP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | ODP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | POCP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Ee | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Ene | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Eges | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | gesamt | varchar(255) | | Nein | | |

Abbildung 26: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „bauteiluntersuchung“

Diese Tabelle wird vom Modul „bauteiluntersuchung.php“ (7.6.1) erzeugt. Bei jedem Aufruf des Moduls wird die Tabelle zuerst vollständig gelöscht und dann für das gewählte Bauteil mittels der „Lebensdauer“ und „Menge“ aus der SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) neu erzeugt. Aus diesem Grund wird für diese Tabelle auch kein Primärschlüssel benötigt, da immer nur die Daten eines einzelnen Bauteils und seiner enthaltenen Baustoffe in der Tabelle stehen.

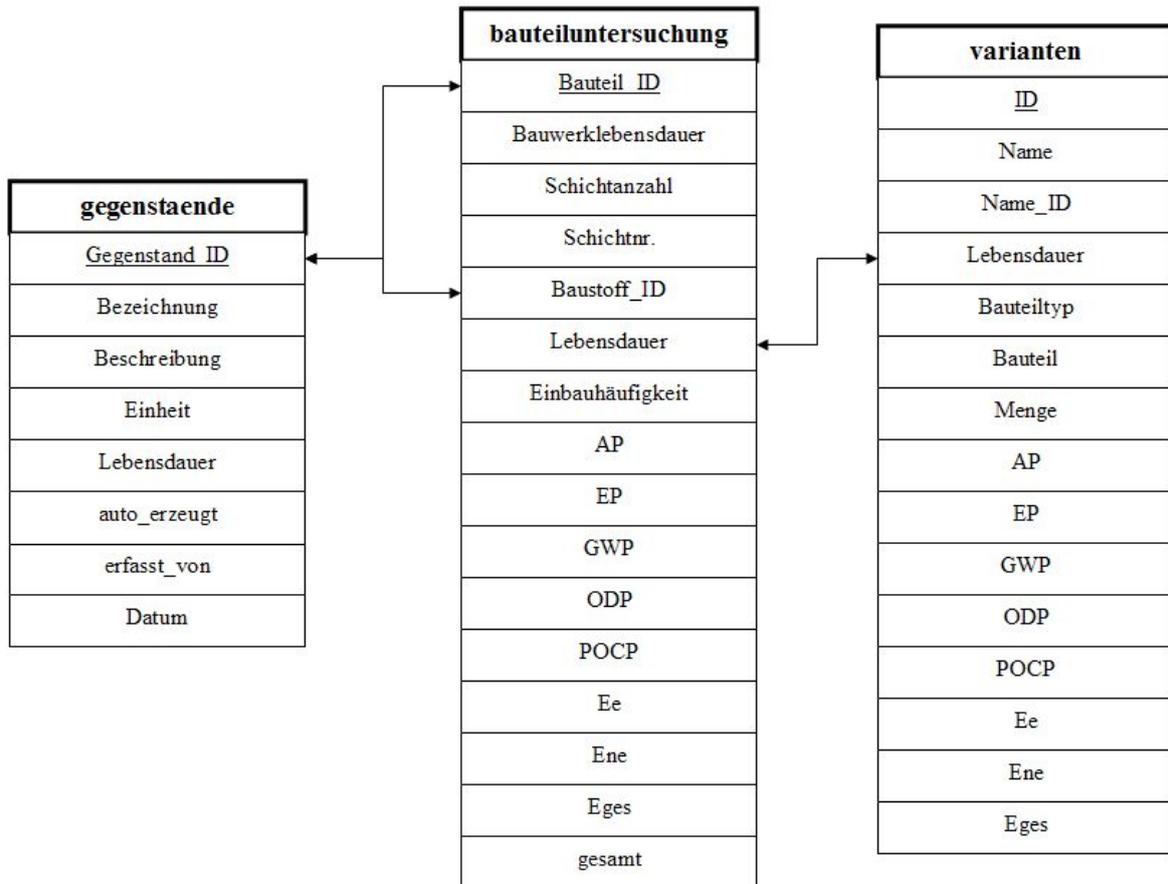


Abbildung 27: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „bauteiluntersuchung“

7.7.4 bauteilvergleich

Diese SQL-Tabelle besitzt die vier Attribute „ID“, „Bauteilgruppe“, „Bauteil_ID“ und „Wert“. „ID“ stellt dabei den Primärschlüssel dieser Tabelle dar. „Bauteilgruppe“ kennzeichnet die einzelnen Bauteile als zu bestimmten Bauteilgruppen zugehörig. „Bauteil_ID“ verweist auf die „Gegenstand_ID“ der SQL-Tabelle „gegenstaende“ und kennzeichnet ein bestimmtes Bauteil. „Wert“ gibt den für das Bauteil ermittelten Wert an (Abbildung 28).

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|---------------|---------|-----------|------|----------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>ID</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Bauteilgruppe | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Bauteil_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Wert | float | | Nein | 0 | |

Abbildung 28: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „bauteilvergleich“

Diese Tabelle wird bei jedem Aufruf des Moduls „optimum.php“ (7.6.7) vollständig gelöscht und danach neu erstellt. Sie ordnet dabei die Bauteile bestimmten Bauteilgruppen zu und enthält außerdem den mittels der Relativwerte der Ökokriterien aus der SQL-Tabelle „relativwerte“ (7.7.17) und der vom User festgelegten nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren der Ökokriterien aus „lokalfaktoren“ (7.7.13) ermittelten Gesamtwert „Wert“. Das Minimum dieses Wertes kennzeichnet dabei innerhalb einer Bauteilgruppe das für die vom User ausgewählten Parameter optimale Bauteil.

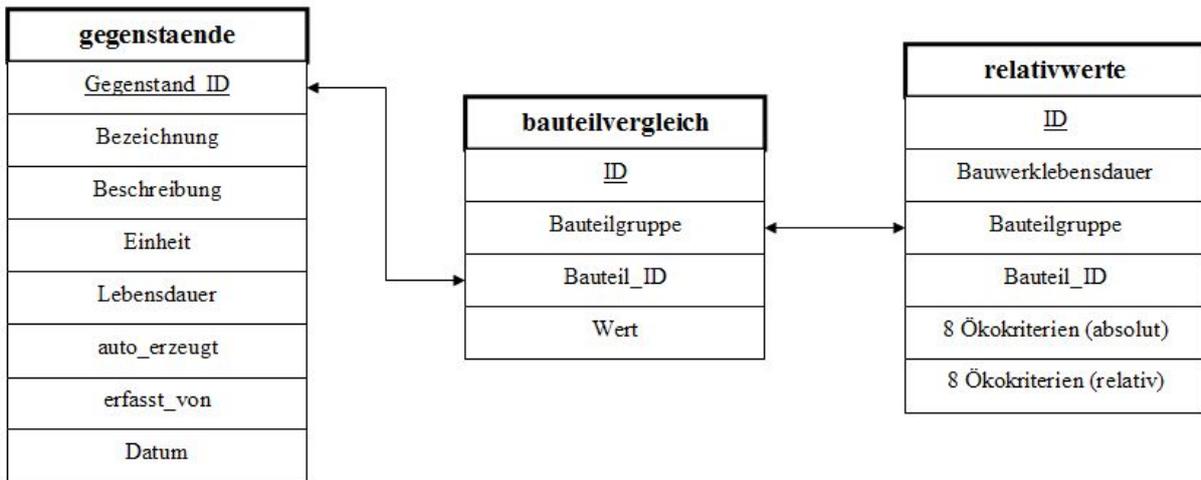


Abbildung 29: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „bauteilvergleich“ (zur besseren Übersichtlichkeit sind die jeweils acht Attribute mit den Absolut- und Relativwerten zu den Ökokriterien als ein einziges Attribut 8 Ökokriterien (absolut/relativ) dargestellt)

7.7.5 bauteilzuordnung

Diese SQL-Tabelle besteht aus den fünf Attributen „ID“, „Typ“, „Gruppe“, „Kennung“ und „ID_grob“ (Abbildung 30). Die „ID“ dient als Primärschlüssel dieser Tabelle und wird automatisch erzeugt. In der Spalte „Typ“ stehen die verschiedenen Bauteiltypen wie z.B. *Innenwände* und *Dächer*. In der Spalte „Gruppe“ stehen die Bauteilgruppen (siehe hierzu 7.1.4 und 7.1.7). So besitzt z.B. der Bauteiltyp *Innenwände* die Bauteilgruppen *Innenwand* und *Stütze*. Die Bezeichnung dieser Bauteiltypen richtet sich dabei nach den Bezeichnungen der Spalte „Typ“ in der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12). Die Bauteiltypen *Dächer* und *Gründung* besitzen keine Untertypen. Die Spalte „Kennung“ enthält für alle Bauteiltypen, welche weiter in Bauteilgruppen unterteilt werden, die ersten zwei Buchstaben des Eintrags in der Spalte „Gruppe“ der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12). So besitzt die Bauteilgruppe *Außenwand* des Bauteiltyps *Außenwände* die Kennung *AW*, die Bauteilgruppe *Kelleraußenwand* des gleichen Bauteiltyps die Kennung *KA*. Die Spalte „ID_grob“ verweist auf den in der Hierarchie übergeordneten Eintrag in der Spalte „Gegenstand_ID“ der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9).

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|---------|--------------|-----------|------|----------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | ID | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Typ | varchar(250) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Gruppe | varchar(250) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Kennung | varchar(255) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | ID_grob | int(11) | | Nein | 0 | |

Abbildung 30: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „bauteilzuordnung“

Diese Tabelle wird vom User selbst erstellt und dient zur Definition der Bauteilgruppen als funktionelle Einheit. Sie besitzt für die in dieser Arbeit verwendeten Eingangsdaten zehn Datensätze. Bei der Verwendung anderer Eingangsdaten als der vorhandenen SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12), muss die SQL-Tabelle „bauteilzuordnung“ neu erzeugt werden. Sie dient dazu, mittels des Moduls „zuordnungstabelle_antw.php“ (7.6.16) jeder Zeile der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) den passenden hierarchisch übergeordneten Begriff zuzuordnen zu können (Abbildung 31). Da die SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) nicht

normalisiert vorliegt, müssen die Einträge dieser Tabelle hier über zwei 1-zu-n-Verknüpfungen eindeutig identifiziert werden. Auf diese Weise werden z.B. alle Bauteile des Bauteiltyps *Fenster und Türen* mit der Bauteilgruppe *Fenster* dem hierarchisch übergeordneten Begriff *Fenster (NBB)* zugeordnet.

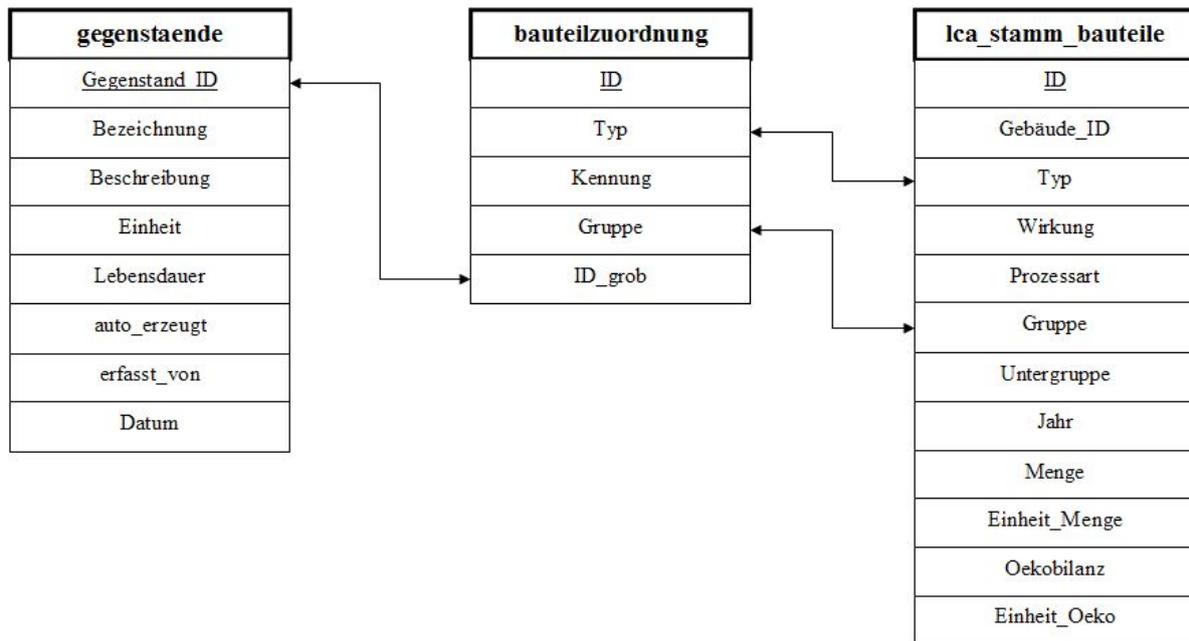


Abbildung 31: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „bauteilzuordnung“ (Reihenfolge der Attribute zur besseren Darstellung teilweise geändert)

7.7.6 bauwerklebensdauer

Diese SQL-Tabelle besteht aus den zwei Attributen „Lebensdauer“ und „Einheit“ (Abbildung 32). In dieser SQL-Tabelle wird die aktuell vom User eingegebene Gebäudelebensdauer für weitere Berechnungen der Module „oekobilanz_berechnung.php“ (7.6.6) und „relativwerte.php“ (7.6.8) gespeichert. Diese SQL-Tabelle besitzt keine direkten Verknüpfungen zu anderen SQL-Tabellen und wird vom Modul „oekobilanz_antw.php“ (7.6.5) aktualisiert, sobald der User die Gebäudelebensdauer ändert.

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|-------------|--------------|-----------|------|----------|-------|
| <input type="checkbox"/> | Lebensdauer | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Einheit | varchar(255) | | Nein | | |

Abbildung 32: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „bauwerklebensdauer“

7.7.7 bauwerklebensdauern

Diese SQL-Tabelle besteht aus den drei Attributen „Lebensdauer_ID“, „Lebensdauer“ und „Einheit“ (Abbildung 33). „Lebensdauer_ID“ ist hier der automatisch erzeugte Primärschlüssel. In dieser SQL-Tabelle sind alle möglichen Gebäudelebensdauern zwischen 5 und 100 Jahren enthalten. Da sich die Relativwerte der Ökokriterien mit der geplanten Lebensdauer des Bauwerks ändern und die Erzeugung dieser Relativwerte ca. 20 Minuten in Anspruch nimmt (siehe 7.4.4) wurde entschieden, die geplanten Gebäudelebensdauern in Fünffahresschritten anzugeben. Auf diese Weise müssen die Relativwerte der Ökokriterien nur für 20 verschiedene Gebäudelebensdauern erzeugt werden. Auf die schon berechneten Werte für eine bestimmte Gebäudelebensdauer kann dann ohne erneute Berechnung in der SQL-Tabelle „relativwerte“

(7.7.17) zurückgegriffen werden. In den meisten Fällen ist es außerdem unwahrscheinlich, dass die wirkliche Lebensdauer eines Bauwerks genauer als auf 5 Jahre angegeben werden kann. Diese SQL-Tabelle besitzt keine direkten Verknüpfungen zu anderen SQL-Tabellen und wird ausschließlich von dem Modul „oekobilanz.php“ (7.6.4) benutzt, um dem User in einem Drop-down Menü die Auswahl der gewünschten Gebäudelebensdauer zu ermöglichen.

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|-----------------------|--------------|-----------|------|----------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>Lebensdauer_ID</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Lebensdauer | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Einheit | varchar(255) | | Nein | | |

Abbildung 33: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „bauwerklebensdauern“

7.7.8 beurteilungen

Diese SQL-Tabelle besteht aus den neun Attributen „Beurteilung“, „Gegenstand_ID“, „Kriterium_ID“, „Bewertung“, „Wert_min“, „Wert_max“, „auto_erzeugt“, „erfasst_von“ und „Datum“. Die „Beurteilung_ID“ dient als Primärschlüssel dieser Tabelle und wird automatisch erzeugt. Die Spalte „Gegenstand_ID“ verweist auf einen Eintrag in der Spalte „Gegenstand_ID“ der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9). Die Spalte „Kriterium_ID“ verweist auf den Primärschlüssel eines Eintrags in der SQL-Tabelle „kriterien“ (7.7.11). In der Spalte „Bewertung“ lässt sich, wenn gewünscht, ein Kommentar zu der betreffenden Zeile eintragen. Dieses Attribut ist für händisch vorgenommene Einträge eines Users gedacht und besitzt für das automatisierte Einlesen von Eingangswerten keine Funktion. Die Spalten „Wert_min“ und „Wert_max“ beinhalten die Werte für die Ökobilanzierung, ausgelesen aus der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12). Durch die Angabe von zwei Werten ist es möglich, einen Wertebereich auszudrücken. Die Spalte „auto_erzeugt“ kennzeichnet automatisch erzeugte Datensätze, so dass diese bei einem erneuten automatischen Einlesen neuer Eingangswerte vom System von manuell eingetragenen Datensätzen unterschieden werden können. Die manuell erzeugten Datensätze bleiben auf diese Weise unangetastet, während die automatisch eingetragenen vom System zuerst gelöscht und dann wieder mittels der neuen Eingangswerte neu erzeugt werden (siehe 7.6.16). Die Einträge der Spalten „erfasst_von“ und „Datum“ bilden das Eintrags-Tag bestehend aus der ID des Users und dem Zeitpunkt des Eintrags (Abbildung 34).

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|-----------------------|--------------|-----------|------|---------------------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>Beurteilung_ID</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Gegenstand_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Kriterium_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Bewertung | varchar(250) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Wert_min | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Wert_max | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | auto_erzeugt | varchar(255) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | erfasst_von | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Datum | datetime | | Nein | 0000-00-00 00:00:00 | |

Abbildung 34: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „beurteilungen“

Diese SQL-Tabelle dient ausschließlich zur Verwendung innerhalb bestimmter Bereiche der Online-Plattform NBB-Info (7.5) und die eingetragenen Werte „Wert_min“ und „Wert_max“

sind zur dortigen besseren Darstellung auf unterschiedliche Einheitenpräfixe umgerechnet. Zur eigentlichen Ökobilanzierung wird die Tabelle „beurteilungen“ nicht verwendet, ist hier aber der Vollständigkeit halber auch mit ihren Verknüpfungen zu anderen SQL-Tabellen (Abbildung 35) dargestellt.

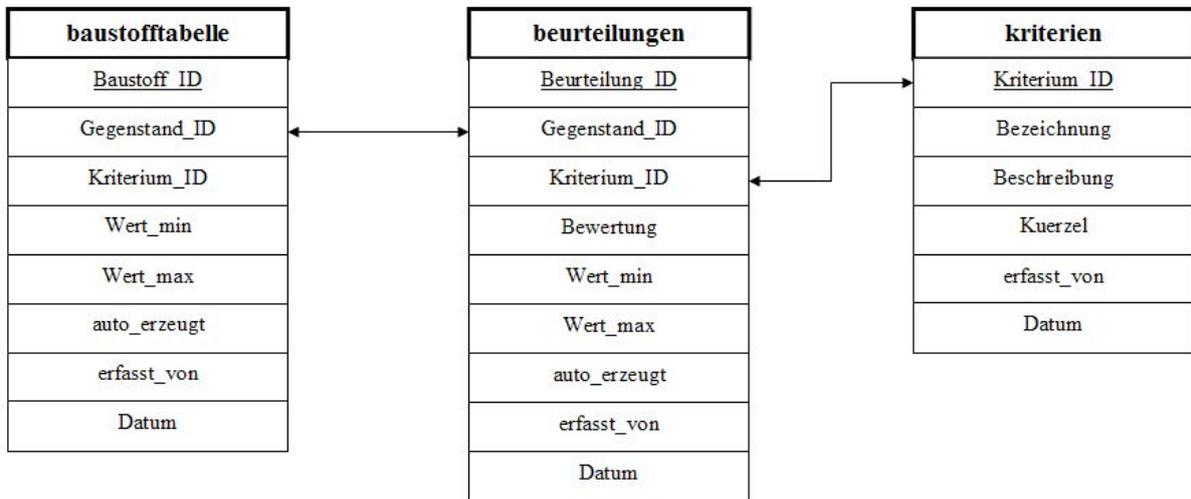


Abbildung 35: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „beurteilungen“

7.7.9 gegenstaende

Diese SQL-Tabelle besteht aus den acht Attributen „Gegenstand_ID“, „Bezeichnung“, „Beschreibung“, „Einheit“, „Lebensdauer“, „auto_erzeugt“, „erfasst_von“ und „Datum“. Bei der „Gegenstand_ID“ handelt es sich um den automatisch erzeugten Primärschlüssel der Tabelle. Die „Bezeichnung“ enthält für Baustoffe den Namen des Objekts und für Bauteile die Bezeichnung der Bauteilgruppe. Unter „Beschreibung“ können bei manuell erzeugten Datensätzen kurze Beschreibungen zu den Objektbezeichnungen eingetragen werden. Bei automatisch aus der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) erzeugten Datensätzen wird hier ein kurzer Eintrag erzeugt, der einen Baustoff als *in den NBB-Varianten verwendet* kennzeichnet und zu Bauteilen die vollständige Typbezeichnung liefert. „Einheit“ gibt die Einheit des Baustoffs oder Bauteils an, auf die sich die Ökodaten/Bilanzwerte beziehen.

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|----------------------|--------------|-----------|------|---------------------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>Gegenstand_ID</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Bezeichnung | varchar(100) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Beschreibung | text | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Einheit | varchar(20) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Lebensdauer | varchar(255) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | auto_erzeugt | varchar(255) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | erfasst_von | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Datum | datetime | | Nein | 0000-00-00 00:00:00 | |

Abbildung 36: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „gegenstaende“

Diese werden für Baustoffe direkt aus der Spalte „Einheit_Menge“ der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) ausgelesen. Für Bauteile werden diese anhand der ID in der Spalte „zuordnung“ der „zuordnungstabelle“ (7.7.23) von den schon in der Tabelle „gegen-

staende“ eingetragenen übergeordneten Bauteilgruppen übernommen. Die „Lebensdauer“ gibt die zu erwartende Lebensdauer des Bauteils oder Baustoffs an. Sie wird direkt aus „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) ermittelt und übernommen. Die Einträge der Spalten „erfasst_von“ und „Datum“ bilden das Eintrags-Tag bestehend aus der ID des Users und dem Zeitpunkt des Eintrags (Abbildung 36). Diese Tabelle enthält alle in der Datenbank erfassten Bauteile, Baustoffe und Prozesse. Sie dient hauptsächlich dazu, jedem Objekt eine eindeutige ID zuzuweisen. Zusätzlich liefert sie noch weitere Informationen über die eingetragenen Objekte, die an dieser Stelle von Relevanz sind. Die Tabelle wurde teils manuell und teils automatisch erzeugt. Zu beachten ist, dass bei einem erneuten automatischen Einlesen über das Modul „zuordnungstabelle_antw.php“ (7.6.16) alle vorher automatisch erzeugten Datensätze gelöscht werden. Dies wurde so programmiert, um Dubletten zu vermeiden. Sollen Datensätze aus einer anderen SQL-Tabelle als „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) erzeugt werden, so muss vom User vorher geprüft werden, ob die Bauteilgruppen der neuen Tabelle zu den dem System bekannten kompatibel sind. Ist dies nicht der Fall, müssen vor dem Erzeugen der Datensätze manuell Datensätze mit den übergeordneten Bauteilgruppen generiert werden. Im hier vorliegenden Fall haben die übergeordneten Bauteilgruppen die „Gegenstand_ID“ 1042-1050 (Abbildung 37)

| ←T→ | | Gegenstand_ID | Bezeichnung | Beschreibung | Einheit |
|--------|---------|---------------|----------------------|---|---------|
| Ändern | Löschen | 1042 | Bodenplatten (NBB) | Ökobilanzen der bei NBB verwendeten Bauteile über ... | m<sup>2 |
| Ändern | Löschen | 1043 | Dächer (NBB) | Ökobilanzen der bei NBB verwendeten Bauteile über ... | m<sup>2 |
| Ändern | Löschen | 1044 | Geschossdecken (NBB) | Ökobilanzen der bei NBB verwendeten Bauteile über ... | m<sup>2 |
| Ändern | Löschen | 1045 | Stützen (NBB) | Ökobilanzen der bei NBB verwendeten Bauteile über ... | m |
| Ändern | Löschen | 1046 | Unterräume (NBB) | Ökobilanzen der bei NBB verwendeten Bauteile über ... | m |
| Ändern | Löschen | 1047 | Fenster (NBB) | Ökobilanzen der bei NBB verwendeten Bauteile über ... | Stk. |
| Ändern | Löschen | 1048 | Türen (NBB) | Ökobilanzen der bei NBB verwendeten Bauteile über ... | Stk. |
| Ändern | Löschen | 1049 | Innenwände (NBB) | Ökobilanzen der bei NBB verwendeten Bauteile über ... | m<sup>2 |
| Ändern | Löschen | 1050 | Außenwände (NBB) | Ökobilanzen der bei NBB verwendeten Bauteile über ... | m<sup>2 |

Abbildung 37: Übergeordnete Bauteilgruppen in der SQL-Tabelle „gegenstaende“, (Tabellenausschnitt mit vier Attributen)

Das Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „gegenstaende“ ist in Abbildung 38 und Abbildung 39 dargestellt. Da diese Tabelle eine der Haupttabellen darstellt, ist die Anzahl der Verknüpfungen entsprechend groß. Aus diesem Grund sind die verknüpften Tabellen, zur besseren Übersichtlichkeit, nicht vollständig dargestellt.

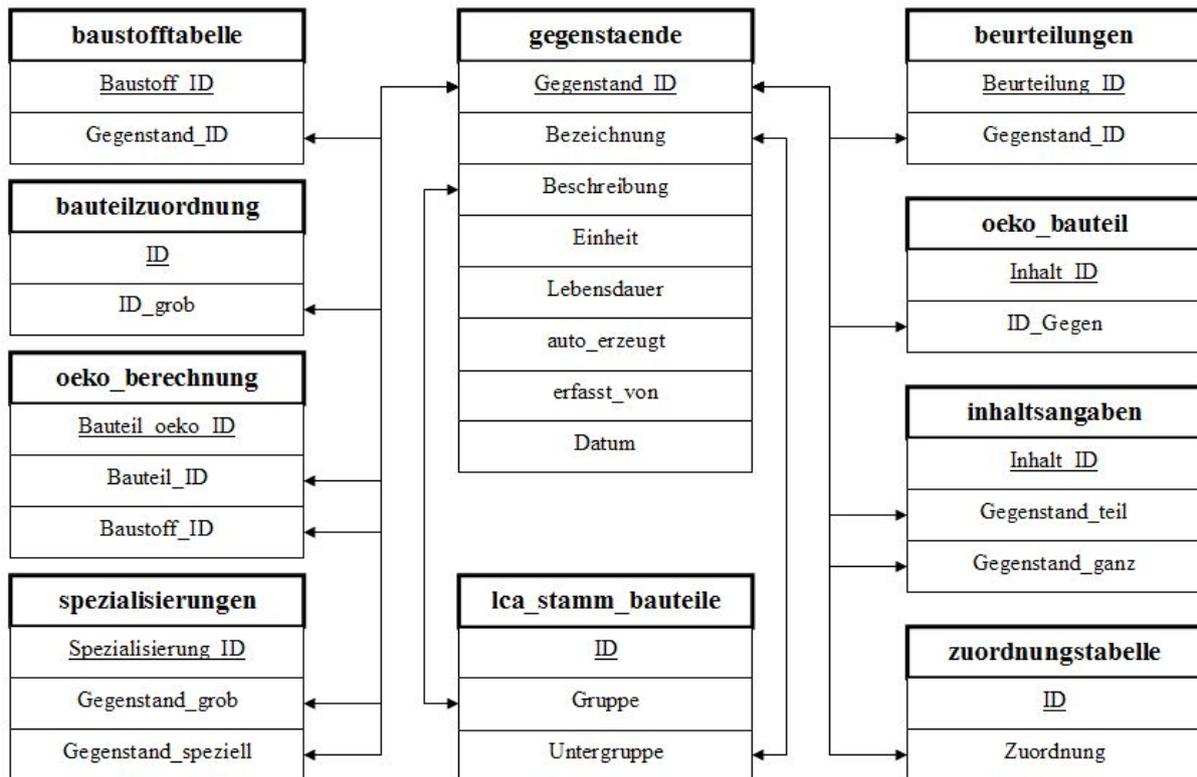


Abbildung 38: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (zur besseren Übersichtlichkeit sind in den verknüpften Tabellen nicht alle Attribute dargestellt)

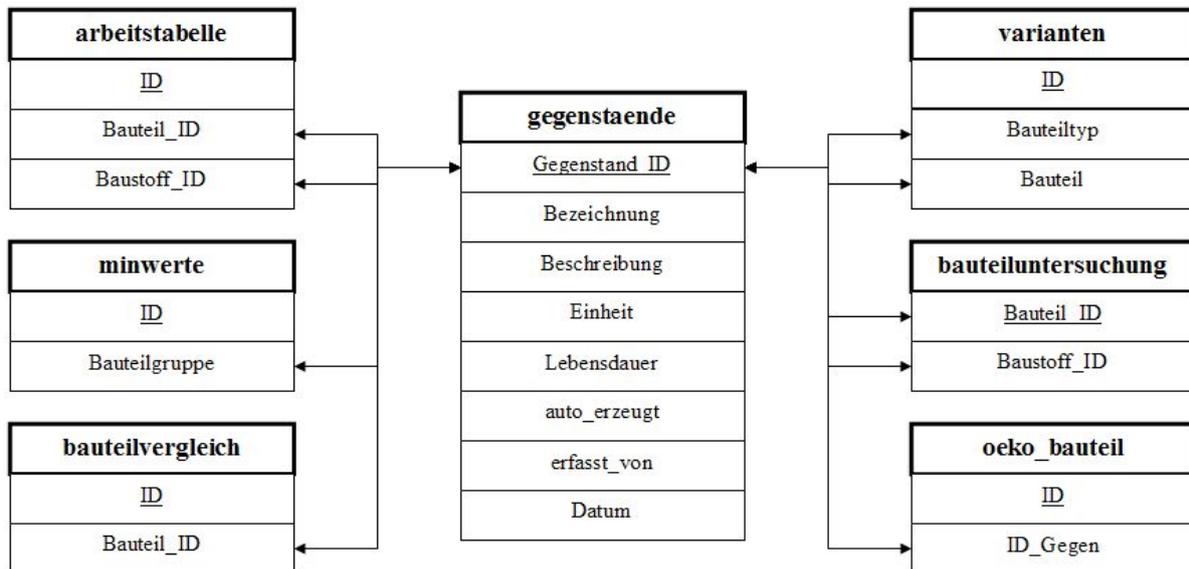


Abbildung 39: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (zur besseren Übersichtlichkeit sind in den verknüpften Tabellen nicht alle Attribute dargestellt)

7.7.10 inhaltsangaben

Diese SQL-Tabelle besteht aus den neun Attributen „Inhalt_ID“, „Gegenstand_teil“, „Gegenstand_ganz“, „Erläuterung“, „Faktor_min“, „Faktor_max“, „auto_erzeugt“, „erfasst_von“ und „Datum“ (Abbildung 40). „Inhalt_ID“ stellt dabei den automatisch generierten Primärschlüssel dar. Die beiden Attribute „Gegenstand_teil“ und „Gegenstand_ganz“ beziehen sich auf den Primärschlüssel der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9). Hiermit kann festgelegt werden, dass

ein Objekt „Gegenstand_teil“ in einem anderen Objekt „Gegenstand_ganz“ enthalten ist. Für die automatisch aus der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) erzeugten Datensätze wird so festgelegt, aus welchen Baustoffen ein Bauteil besteht. Das Attribut „Erläuterung“ bietet die Möglichkeit, einen kurzen Erläuterungstext zu verfassen. Für die automatisch erzeugten Einträge wird hier die Schichtnummer des Baustoffs im Bauteil angegeben. Die beiden Attribute „Faktor_min“ und „Faktor_max“ geben eine Wertespanne an, in welcher der Baustoff „Gegenstand_teil“ pro Einheit des Bauteils „Gegenstand_ganz“ enthalten ist (z.B. 4 kg Mineralwolle pro m² Innenwand Typ III). Das Attribut „auto_erzeugt“ kennzeichnet die automatisch erstellten Datensätze, „erfasst_von“ und „Datum“ bilden das Eintrags-Tag bestehend aus der ID des Users und dem Zeitpunkt des Eintrags.

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|------------------|--------------|-----------|------|---------------------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>Inhalt_ID</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Gegenstand_teil | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Gegenstand_ganz | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Erläuterung | varchar(250) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Faktor_min | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Faktor_max | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | auto_erzeugt | varchar(255) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | erfasst_von | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Datum | datetime | | Nein | 0000-00-00 00:00:00 | |

Abbildung 40: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „inhaltsangaben“

Diese Tabelle dient zur Festlegung der Inhaltsstoffe der erfassten Objekte. Es existieren sowohl manuell erstellte, als auch automatisch aus SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) erzeugte Datensätze. Diese Datensätze werden vom Modul „zuordnungstabelle_antw.php“ (7.6.16) erzeugt. Bei einem erneuten Ausführen dieses Moduls werden alle zuvor automatisch erzeugten Datensätze zur Vermeidung von Dubletten gelöscht. Zur weiteren Berechnung der Ökobilanz wird zusätzlich vom Modul „oekobilanz_berechnung.php“ (7.6.6) auf diese Tabelle zurückgegriffen (Abbildung 41).

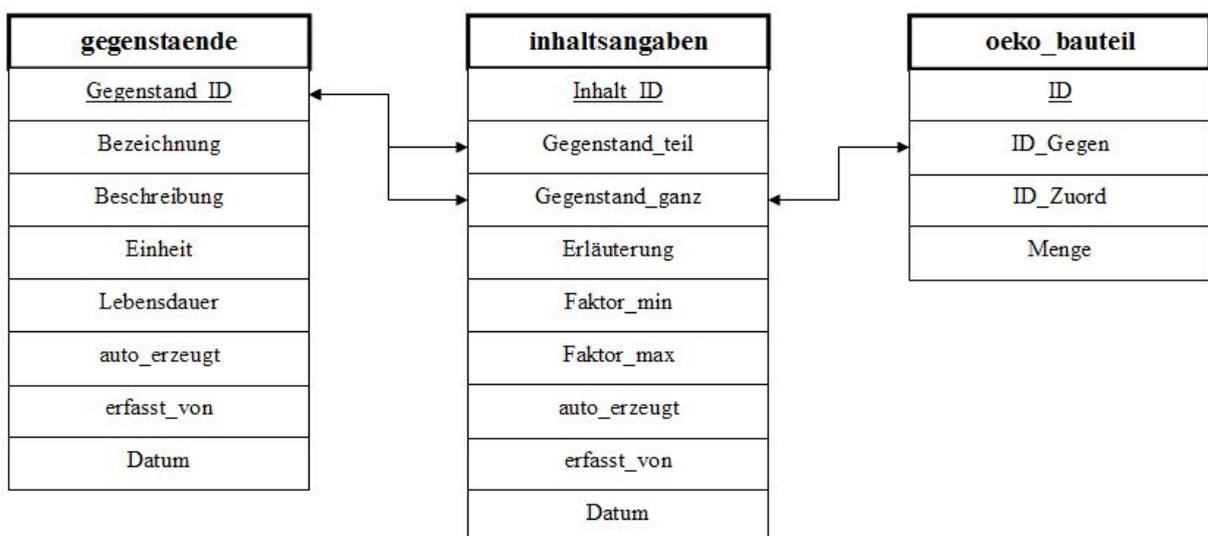


Abbildung 41: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „inhaltsangaben“

7.7.11 kriterien

Diese SQL-Tabelle besteht aus den sechs Attributen „Kriterium_ID“, „Bezeichnung“, „Beschreibung“, „Kuerzel“, „erfasst_von“ und „Datum“. „Kriterium_ID“ ist der Primärschlüssel dieser Tabelle und wird automatisch erzeugt. „Bezeichnung“ enthält den Namen des entsprechenden Ökokriteriums. Unter „Beschreibung“ ist eine kurze Beschreibung zum Ökokriterium hinterlegt. „Kuerzel“ enthält die in der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) als Attribut „Wirkung“ benutzte Abkürzung des Ökokriteriums. „erfasst_von“ und „Datum“ bilden das Eintrags-Tag bestehend aus der ID des Users und dem Zeitpunkt des Eintrags (Abbildung 42).

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|---------------------|--------------|-----------|------|---------------------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>Kriterium_ID</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Bezeichnung | varchar(100) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Beschreibung | varchar(200) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Kuerzel | varchar(255) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | erfasst_von | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Datum | datetime | | Nein | 0000-00-00 00:00:00 | |

Abbildung 42: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „kriterien“

Diese Tabelle muss vom User manuell erzeugt werden. Hierzu muss man die in der Einleasetabelle (in diesem Fall „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12)) vorkommenden Ökokriterien identifizieren und in die Tabelle eintragen.

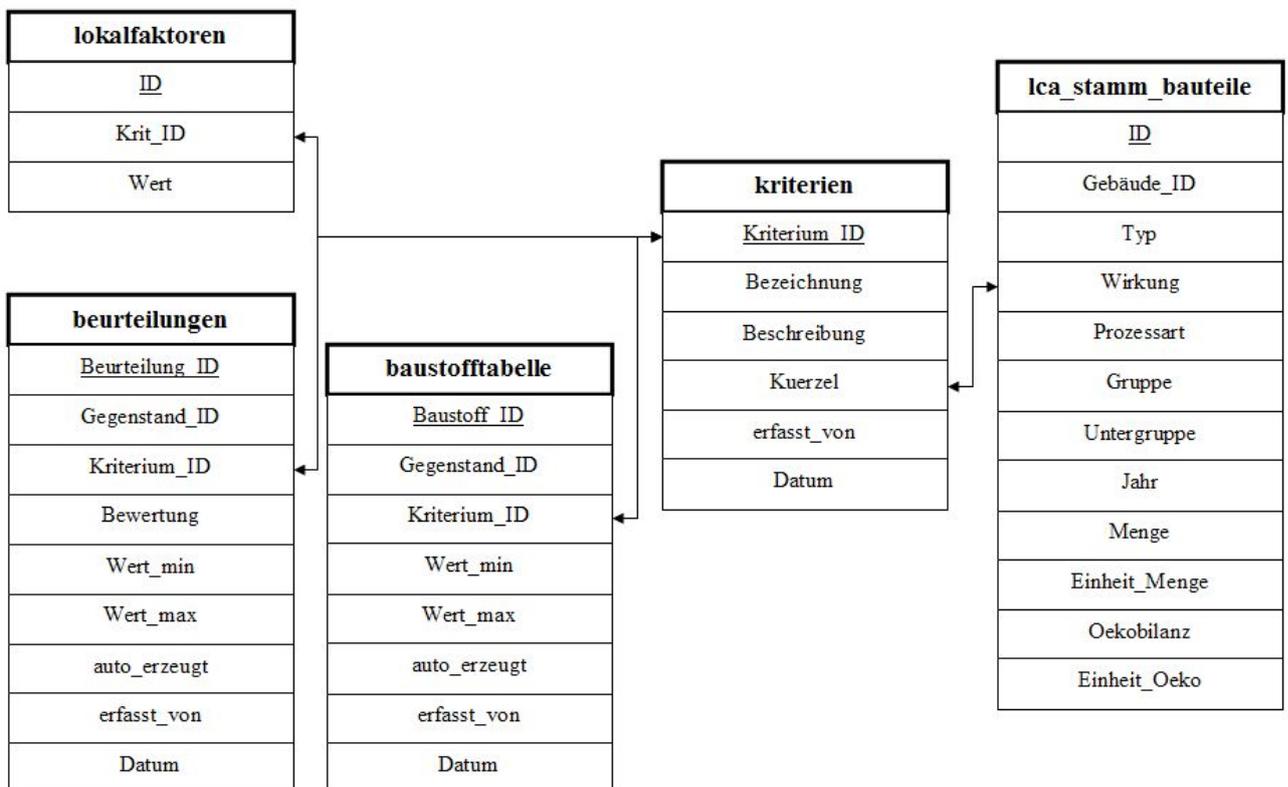


Abbildung 43: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „kriterien“

Da einige Funktionen aus NBB-Info (7.5) ebenfalls auf diese Tabelle zurückgreifen, sollten hier keine Datensätze gelöscht, sondern ausschließlich, sofern in der Einleasetabelle ein Ökokriterium

vorkommt, das in der Tabelle noch nicht existiert, neu angelegt werden. Werden in der Einlesetabelle andere Abkürzungen verwendet, so sind diese im Attribut „Kuerzel“ zu aktualisieren.

Diese Tabelle dient dazu, den dem System bekannten Ökokriterien einen festen Primärschlüssel zuzuweisen, um mit diesem dann später auf die Kriterien zugreifen zu können. Beim automatischen Erzeugen von Datensätzen aus der Einlesetabelle werden die Kriterien mittels ihrer Abkürzung, die im Attribut „Kuerzel“ festgelegt wird, vom Modul „zuordnungstabelle_antw.php“ (7.6.16) identifiziert (Abbildung 43).

7.7.12 lca_stamm_bauteile

Bei dieser SQL-Tabelle handelt es sich um die Einlesetabelle. In dieser Tabelle eingetragene Bauteile und Baustoffe mit ihren Ökodaten werden vom System ausgelesen und die erhaltenen Informationen werden in die entsprechenden SQL-Tabellen übertragen um weiter damit arbeiten und Ökobilanzen erstellen zu können.

Die Tabelle besteht aus den zwölf Attributen „ID“, „Gebäude_ID“, „Prozessart“, „Wirkung“, „Typ“, „Gruppe“, „Untergruppe“, „Jahr“, „Menge“, „Einheit_Menge“, „Oekobilanz“ und „Einheit_Oeko“. Primärschlüssel der Tabelle ist die fortlaufende „ID“. Die „Gebäude_ID“ gibt die Bezeichnung des Bauwerks an. Wird die Tabelle in Zukunft erweitert, so können hier die Bauteile unterschiedlicher Bauwerke unterschieden werden. Die „Prozessart“ gibt die Art des Prozesses an, für den dieser Datensatz erzeugt wurde. *K* steht dabei für die Konstruktion, *E* für die Entsorgung des betreffenden Baustoffs. Das Attribut „Typ“ gibt den Bauteiltypen an, zu dem das Bauteil des Datensatzes gehört. In „Gruppe“ wird das Bauteil vollständig und eindeutig benannt. „Untergruppe“ enthält gleich zwei Informationen: Hier wird zum einen der Baustoff eindeutig benannt, zum anderen befindet sich vor dem Namen des Baustoffs eine Zahl, welche die Schicht des Baustoffs im Bauteil darstellt. In „Jahr“ befindet sich eine Zahl, die angibt, zu welchem Zeitpunkt (Alter des Gebäudes) der betreffende Prozessschritt planmäßig durchgeführt werden soll. „Menge“ gibt die Menge des Baustoffs in der Einheit „Einheit_Menge“ pro Einheit des Bauteils an. „Oekobilanz“ gibt die Ökodaten des betreffenden Baustoffs in der Einheit „Einheit_Oeko“ an (Abbildung 44).

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|---------------|--------------|-----------|------|----------|-------|
| <input type="checkbox"/> | <u>ID</u> | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Gebäude_ID | varchar(250) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Prozessart | varchar(250) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Wirkung | varchar(250) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Typ | varchar(250) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Gruppe | varchar(250) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Untergruppe | varchar(250) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Jahr | int(4) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Menge | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Einheit_Menge | varchar(250) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Oekobilanz | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Einheit_Oeko | varchar(250) | | Nein | | |

Abbildung 44: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“

Diese Tabelle ist nicht normalisiert, was bedeutet, dass sie Dubletten enthält. Dies resultiert aus dem Tabellenaufbau: Es gibt einen vollständigen Datensatz für jeden Baustoff eines Bauteils für

jede Kombination aus Prozessart, Ökokriterium und Jahr. Das bedeutet, dass für jeden Baustoff eines Bauteils zwei (Prozessarten) mal acht (Ökokriterien) mal (Häufigkeit des Einbaus über 100 Jahre) Datensätze existieren. Ein Beispieldatensatz (Abbildung 45) liest sich also wie folgt: Der Datensatz besitzt die ID 3191558 und bezieht sich auf die *Stammdaten NBB: Bauteile*. Er hält fest, dass für die Prozessart *K* (Konstruktion) für den Baustoff *Dämmung Mineralwolle* des Bauteils *AW TYP VI* ein Versauerungspotential *AP* von 0,0583709 kg *SO₂ Äquivalent* entstehen. Dies fällt zum Zeitpunkt *T = 65* Jahre an. Des Weiteren lässt sich der Tabelle noch entnehmen, dass 16 kg des Baustoffs *Mineralwolle* pro Einheit des Bauteils *AW Typ VI* verbaut werden und dass diese als *zweite Schicht* (die Zahl vor der Bezeichnung im Attribut „Untergruppe“) im Bauteil eingebaut wird. Das Bauteil gehört zum Bauteiltyp *Außenwände*.

| ID | Gebäude_ID | Prozessart | Wirkung | Typ | Gruppe | Untergruppe | Jahr | Menge | Einheit_Menge | Oekobilanz | Einheit_Oeko |
|---------|------------------------------|------------|---------|------------|---|---|------|-------|---------------|------------|-------------------------|
| 3191558 | >Stammdaten NBB: Bauteile | K | AP | Außenwände | AW Typ VI - Stb-Fertigteil 20cm, Mineralwolle 16cm, Betonwerkstein | 2 Dämmung, Mineralwolle (Fassade) | 65 | 16 | kg | 0.0583709 | kgSO ₂ -Äqu. |

Abbildung 45: Beispieldatensatz aus der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“

Diese Tabelle wurde erzeugt, indem eine im Rahmen des DAfStB/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“ (7.5) vom Teilprojekt A erstellte Excel-Tabelle in eine identisch aufgebaute SQL-Tabelle exportiert wurde. Die hier enthaltenen Ökodaten stammen hauptsächlich aus den Datenbanken „Gabi 4“ und „Ökobau.dat“ [Wie2012] und wurden in der vorliegenden Form für das Forschungsprojekt genutzt. Der Primärschlüssel der Tabelle „ID“ wurde ebenfalls aus der erhaltenen Excel-Tabelle übernommen.

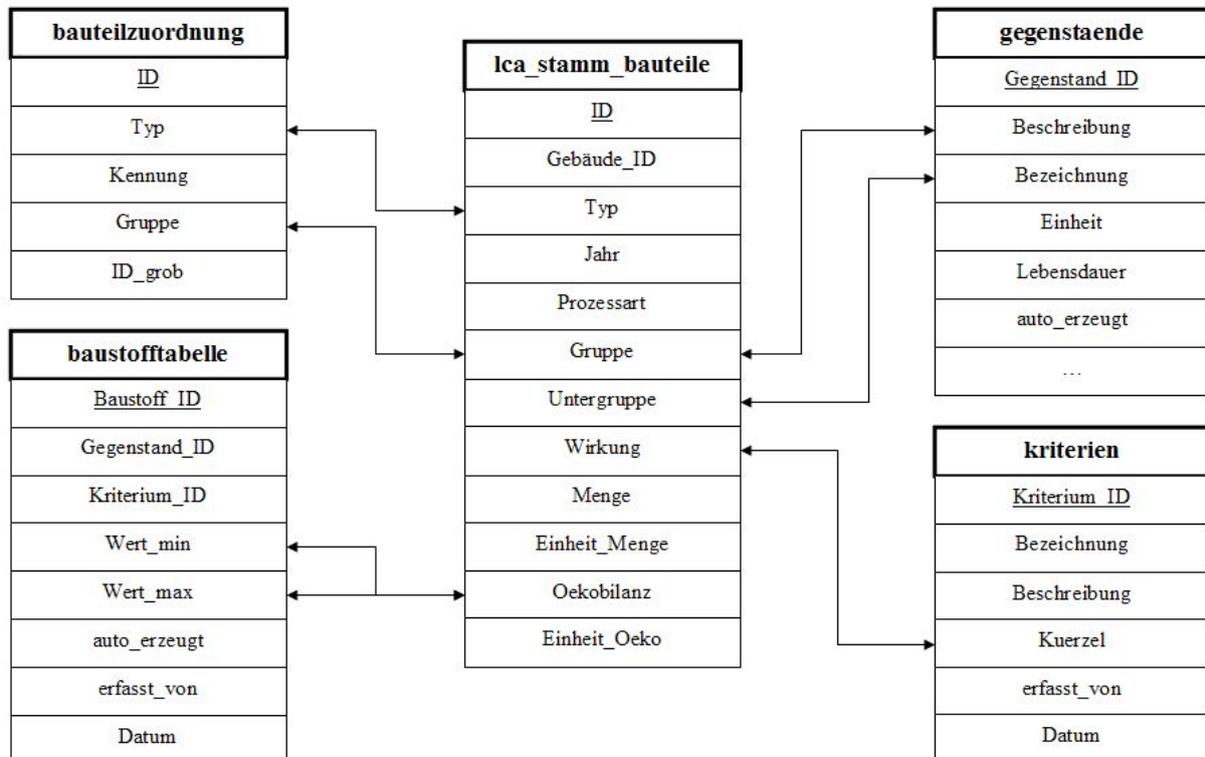


Abbildung 46: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“

Wenn also weitere Datensätze zur Einlesetabelle hinzugefügt werden sollen, ist darauf zu achten, dass hier keine Dubletten entstehen. Über die in Abbildung 46 dargestellten Verknüpfungen

der Tabelle werden die einzelnen Daten von den Modulen „oekobilanz_berechnung.php“ (7.6.6) und „zuordnungstabelle_antw.php“ (7.6.16) aus der Tabelle ausgelesen und in normalisierter Form in die dargestellten Tabellen übertragen.

7.7.13 lokalfaktoren

Diese SQL-Tabelle besteht aus den drei Attributen „ID“, „Krit_ID“ und „Wert“ (Abbildung 47). „ID“ dient dabei als automatisch erstellter Primärschlüssel, „Krit_ID“ verweist auf „Kriterium_ID“, den Primärschlüssel der SQL-Tabelle „kriterien“ (7.7.11) und „Wert“ enthält einen Zahlenwert (Abbildung 48). Die Tabelle dient zur Speicherung der vom User festgelegten Multiplikatoren für die ermittelten Relativwerte der acht Ökokriterien (siehe 7.3). Die Werte können mittels der Module lokalfaktor.php (7.6.2) und lokalfaktor_antw.php (7.6.3) vom User eingesehen und geändert werden.

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|---------|---------|-----------|------|----------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | ID | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Krit_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Wert | float | | Nein | 0 | |

Abbildung 47: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „lokalfaktoren“

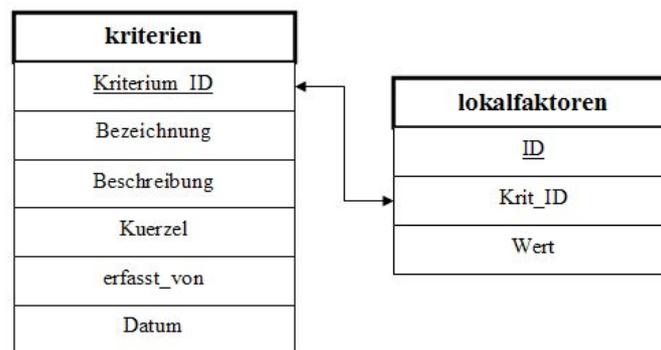


Abbildung 48: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „lokalfaktoren“

7.7.14 minwerte

Diese SQL-Tabelle besteht aus den zehn Attributen „ID“, „Bauteilgruppe“, „AP“, „EP“, „GWP“, „ODP“, „POCP“, „Ee“, „Ene“ und „Eges“ (Abbildung 49). Die „ID“ dient als automatisch erstellter Primärschlüssel der Tabelle. „Bauteilgruppe“ verweist auf den Primärschlüssel „Gegenstand_ID“ der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) (Abbildung 50). Die restlichen acht Attribute enthalten Werte für die betrachteten Ökokriterien.

Diese Tabelle dient zur Speicherung der beim Ausführen des Moduls „relativwerte.php“ (7.6.8) für die unterschiedlichen Bauteilgruppen berechneten Ökobilanzwerte der acht betrachteten Ökokriterien. Durch Division der Absolutwerte der Ökokriterien der verschiedenen Bauteile durch den in „minwerte“ gespeicherten Minimalwert der entsprechenden Bauteilgruppe ergeben sich dann in einem weiteren Schritt die Relativwerte der Ökokriterien, die in der SQL-Tabelle „relativwerte“ (7.7.17) gespeichert werden.

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|---------------|---------|-----------|------|----------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>ID</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Bauteilgruppe | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | AP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | EP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | GWP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | ODP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | POCP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Ee | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Ene | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Eges | float | | Nein | 0 | |

Abbildung 49: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „minwerte“

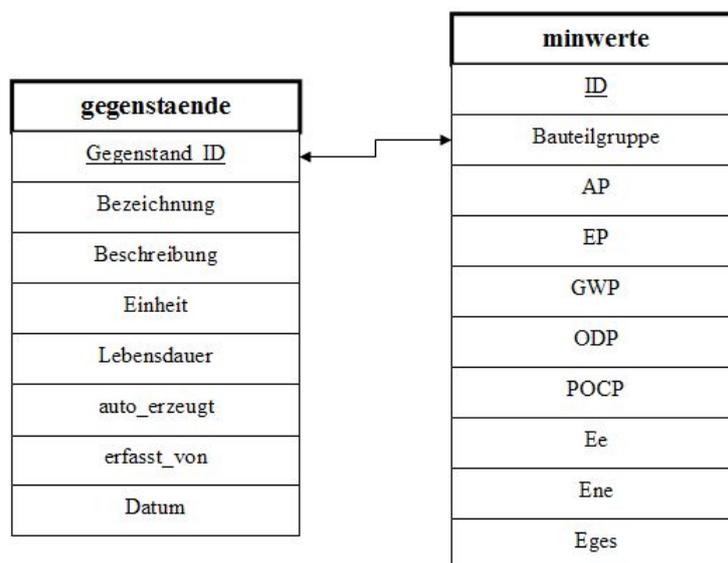


Abbildung 50: Verknüpfungmodell der SQL-Tabelle „minwerte“

7.7.15 oeko_bauteil

Diese SQL-Tabelle besteht aus den vier Attributen „ID“, „ID_Gegen“, „ID_Zuord“ und „Menge“. Primärschlüssel der Tabelle ist die automatisch erzeugte „ID“. „ID_Gegen“ bezieht sich auf die „Gegenstand_ID“ der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9). „ID_Zuord“ verweist auf die „ID“ der SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“ (7.7.23). „Menge“ gibt die Einheitsmenge des betreffenden Bauteils an (Abbildung 51).

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|-----------|---------|-----------|------|----------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>ID</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | ID_Gegen | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | ID_Zuord | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Menge | float | | Nein | 0 | |

Abbildung 51: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“

Diese Tabelle wird von den beiden Modulen „oekobilanz.php“ (7.6.4) und „oekobilanz_antw.php“ (7.6.5) nach den vom User gewählten Angaben automatisch erzeugt. Die Tabelle verweist dabei unter „ID_Gegen“ auf eine „Gegenstand_ID“ aus der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) und unter „ID_Zuord“ auf die „ID“ aus der SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“ (7.7.23). Die „Menge“ des Bauteils wird vom User während der Ausführung des Moduls „oekobilanz_antw.php“ über eine Eingabemaske festgelegt.

Die Tabelle dient zur Speicherung der vom User ausgewählten Bauteile und deren Mengen. Hierzu wird die „Gegenstand_ID“ des vom User gewählten Bauteils in der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) identifiziert und unter „ID_Gegen“ eingetragen. Die „ID“ des Datensatzes des betreffenden Bauteils in der SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“ (7.7.23) wird ermittelt und in „ID_Zuord“ eingetragen. Über das Attribut „Gegenstand_ganz“ in der SQL-Tabelle „inhaltsangaben“ (7.7.10) können zur späteren Erstellung einer Ökobilanz die in den gewählten Bauteilen enthaltenen Baustoffe ermittelt werden (Abbildung 52).

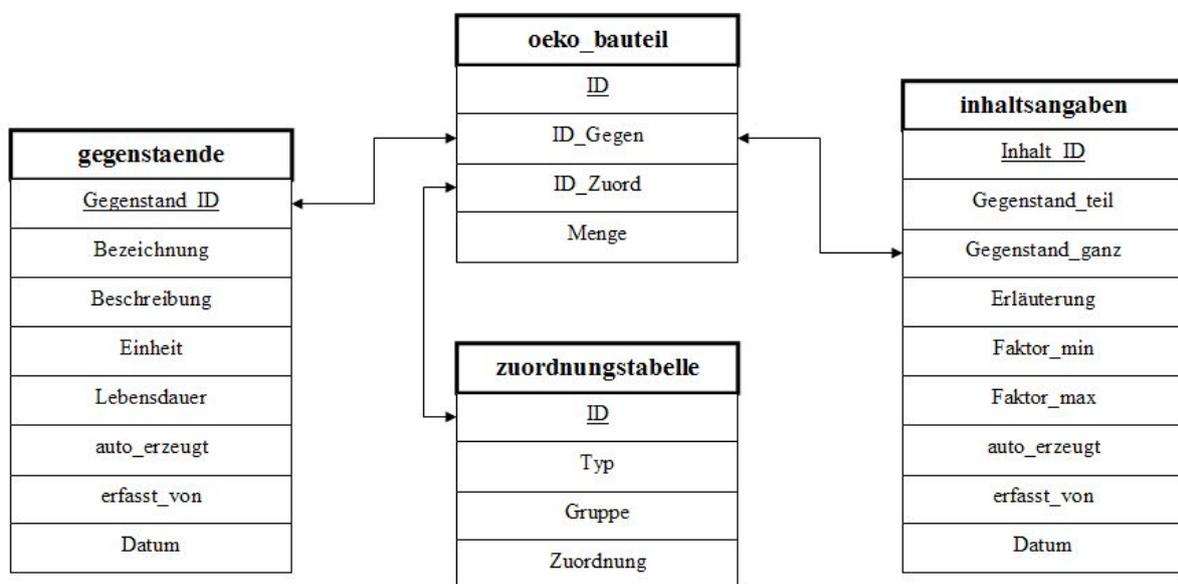


Abbildung 52: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“

7.7.16 oeko_berechnung

Diese SQL-Tabelle besteht aus 25 Attributen. Die „ID“ wird automatisch erzeugt und dient als Primärschlüssel der Tabelle. „Bauteil_oeko_ID“ verweist auf den Primärschlüssel der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15). Die „Bauteil_ID“ verweist auf den Primärschlüssel der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) und erlaubt somit eine eindeutige Identifikation des Bauteils. „Schichtanzahl“ gibt die Gesamtanzahl der Schichten des betreffenden Bauteils an. „Baustoff_ID“ verweist wiederum auf den Primärschlüssel der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) und ermöglicht eine eindeutige Identifikation des Baustoffs. „Schichtnummer“ gibt die Schichtnummer des betreffenden Baustoffs im betrachteten Bauteil an. „Lebensdauer“ enthält die erwartete Lebensdauer des Baustoffs in Jahren. „Einbauhaefigkeit“ gibt an, wie oft der jeweilige Baustoff über die gewählte Gebäudelebensdauer eingebaut wird. Die nächsten 16 Attribute enthalten die Bilanzwerte oder Bauteil-/Gebäudeökobilanzwerte zu den acht Ökokriterien. Dabei existiert für jedes Kriterium jeweils ein Wert für die beiden Prozessarten *Konstruktion* und *Entsorgung*. Die Bezeichnung dieser Attribute setzt sich zusammen aus den in der SQL-Tabelle „kriterien“ (7.7.11) im Attribut „Kuerzel“ verwendeten Abkürzungen des Ökokriteriums und einem durch einen Unterstrich von der Abkürzung getrennten Präfix *K* oder *E* für die jeweilige Prozessart. *K_AP* steht also zum Beispiel für den Wert des Gesamtversauerungspotentials bei der Prozessart Konstruktion. Das Attribut „Bauteilsumme“ dient zur Kennzeichnung der Ge-

samtwerte für ein ganzes Bauteil oder das Gesamtgebäude. Die Zeilen der Tabelle, in denen die Einzelwerte der enthaltenen Baustoffe aufsummiert werden und somit die Bauteilbilanz ergeben sind mit einem *ja* gekennzeichnet; die Zeile mit der Aufsummierung aller Bauteilbilanzen zur Gesamtgebäudebilanz mit einem *gesamt* (Abbildung 53).

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|--------------------|--------------|-----------|------|----------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | ID | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Bauteil_oeko_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Bauteil_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Schichtanzahl | int(5) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Baustoff_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Schichtnummer | int(5) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Lebensdauer | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Einbauhaueufigkeit | int(5) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_AP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_EP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_GWP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_ODP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_POCP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_Ee | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_Ene | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | K_Eges | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_AP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_EP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_GWP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_ODP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_POCP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_Ee | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_Ene | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | E_Eges | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Bauteilsumme | varchar(255) | | Nein | | |

Abbildung 53: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „oeko_berechnung“

Diese Tabelle wird bei jedem Ausführen des Moduls „oekobilanz_berechnung.php“ (7.6.6) gelöscht und dann anhand der Datensätze in der SQL-Tabelle „oeko_bauteil“ (7.7.15) wieder neu erzeugt. Die Einträge dieser Tabelle stellen dabei teilweise Dubletten dar, die auch in anderen SQL-Tabellen enthalten sind. Dies wurde jedoch bewusst in Kauf genommen, um auf diese Weise alle relevanten Daten in einer einzigen, zusammengefassten und übersichtlichen Tabelle verfügbar zu haben.

Diese Tabelle wird vom Modul „oekobilanz_berechnung.php“ (7.6.6) erzeugt, indem, wie in Abbildung 54 vereinfacht dargestellt, die betreffenden Datensätze aus anderen Tabellen ausgelesen, bearbeitet und übertragen werden.

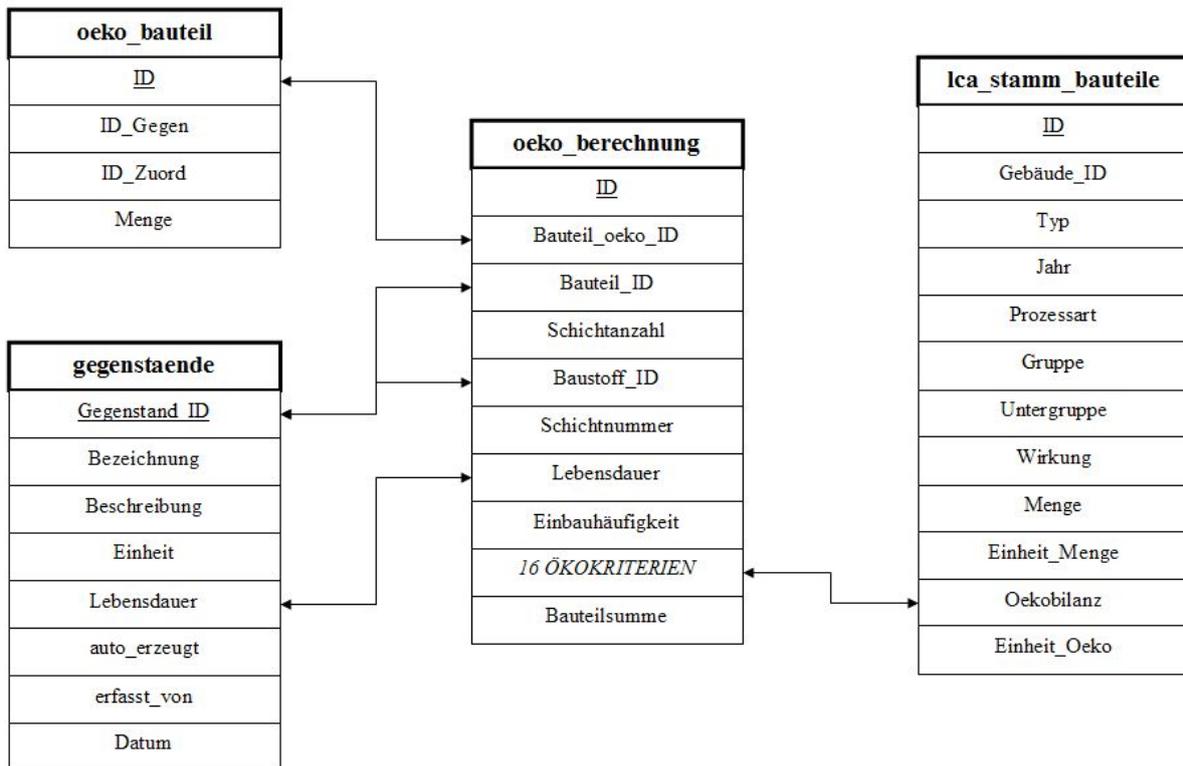


Abbildung 54: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „oeko_berechnung“ (zur besseren Übersichtlichkeit sind die 16 Attribute mit den Werten zu den Ökokriterien als ein einziges Attribut 16 ÖKOKRITERIEN dargestellt)

7.7.17 relativwerte

Diese SQL-Tabelle besteht aus 20 Attributen, wobei „ID“ den automatisch erzeugten Primärschlüssel darstellt. „Bauwerklebensdauer“ gibt die geplante Gebäudelebensdauer an. Die „Bauteilgruppe“ verweist auf den Primärschlüssel der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) und ermöglicht in Verbindung mit der SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“ (7.7.23) eine eindeutige Identifikation der Bauteilgruppe. Die „Bauteil_ID“ verweist wiederum auf den Primärschlüssel der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) und ermöglicht eine eindeutige Identifikation des Bauteils.

Die nächsten 16 Attribute enthalten die Ökobilanzwerte zu den acht Ökokriterien. Dabei existiert für jedes Kriterium jeweils ein Absolutwert und ein Relativwert. Die Bezeichnung dieser Attribute setzt sich zusammen aus den in der SQL-Tabelle „kriterien“ (7.7.11) im Attribut „Kuerzel“ verwendeten Abkürzungen des Ökokriteriums und einem durch einen Unterstrich von der Abkürzung getrennten Suffix *absolut* oder *relativ* für die entsprechenden Werte. *GWP_absolut* steht also zum Beispiel für den Absolutwert des Gesamtreibhauspotentials eines bestimmten Bauteils (Abbildung 55). Diese SQL-Tabelle wird vom Modul „relativwerte.php“ (7.6.8) für die momentan gewählte Gebäudelebensdauer (siehe 7.7.6) ergänzt. Die hier enthaltenen Werte werden für weitere Berechnungen mittels des Moduls „optimum.php“ (7.6.7) genutzt (Abbildung 56).

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|--------------------|---------|-----------|------|----------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>ID</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Bauwerklebensdauer | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Bauteilgruppe | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Bauteil_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | AP_absolut | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | AP_relativ | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | EP_absolut | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | EP_relativ | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | GWP_absolut | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | GWP_relativ | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | ODP_absolut | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | ODP_relativ | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | POCP_absolut | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | POCP_relativ | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Ee_absolut | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Ee_relativ | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Ene_absolut | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Ene_relativ | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Eges_absolut | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Eges_relativ | float | | Nein | 0 | |

Abbildung 55: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „relativwerte“

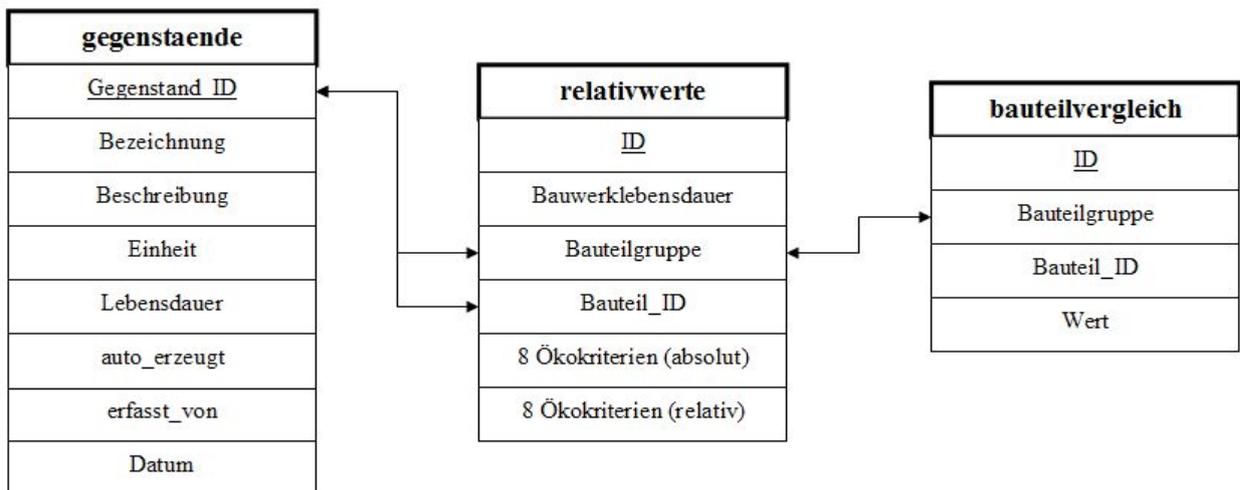


Abbildung 56: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „relativwerte“ (zur besseren Übersichtlichkeit sind die jeweils acht Attribute mit den Absolut- und Relativwerten zu den Ökokriterien als ein einziges Attribut 8 Ökokriterien (absolut/relativ) dargestellt)

7.7.18 relativwertjahre

Diese SQL-Tabelle besteht aus den drei Attributen „ID“, „Jahre“ und „Einheit“, wobei „ID“ den automatisch erzeugten Primärschlüssel der SQL-Tabelle darstellt (Abbildung 57). Da sich die Relativwerte für die Bilanzwerte bei unterschiedlichen Gebäudelebensdauern unterscheiden und die Erzeugung dieser Werte ca. 15 Minuten in Anspruch nimmt, werden die Relativwerte der Bilanzwerte für die unterschiedlichen Gebäudelebensdauern in der SQL-Tabelle „relativwerte“ (7.7.17) gespeichert. Bei erneuten Berechnungen mit schon einmal berechneten Relativwerten müssen diese dann nicht neu berechnet werden, sondern können direkt übernommen werden. Diese Tabelle besitzt keine direkten Verknüpfungen zu anderen SQL-Tabellen. Sie wird durch das Modul „relativwerte.php“ (7.6.8) ergänzt, wenn die Relativwerte einer bisher noch nicht betrachteten Gebäudelebensdauer erzeugt werden. Auf diese Weise wird festgehalten, für welche Gebäudelebensdauern schon Relativwerte erzeugt wurden.

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|-----------|--------------|-----------|------|----------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>ID</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Jahre | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Einheit | varchar(255) | | Nein | | |

Abbildung 57: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „relativwertjahre“

7.7.19 spezialisierungen

Diese SQL-Tabelle besteht aus den sieben Attributen „Spezialisierung_ID“, „Gegenstand_grob“, „Gegenstand_speziell“, „Erläuterung“, „auto_erzeugt“, „erfasst_von“ und „Datum“. Primärschlüssel der Tabelle ist die automatisch erzeugte „Spezialisierung_ID“. Die beiden Attribute „Gegenstand_grob“ und „Gegenstand_speziell“ verweisen jeweils auf eine „Gegenstand_ID“ der SQL-Tabelle „gegenstaende“. Unter „Erläuterung“ kann ein kurzer Text zur Erklärung eingetragen werden. Die Spalte „auto_erzeugt“ kennzeichnet automatisch erzeugte Datensätze, so dass diese bei einem erneuten automatischen Einlesen neuer Eingangswerte vom System von manuell eingetragenen Datensätzen unterschieden werden können. Die manuell erzeugten Datensätze bleiben auf diese Weise unangetastet, während die automatisch eingetragenen vom System zur Vermeidung von Dubletten zuerst gelöscht und dann wieder mittels der aktuellen Eingangswerte neu erzeugt werden (siehe 7.6.16). Die Einträge der Spalten „erfasst_von“ und „Datum“ bilden das Eintrags-Tag bestehend aus der ID des Users und dem Zeitpunkt des Eintrags (Abbildung 58).

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|---------------------------|--------------|-----------|------|---------------------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>Spezialisierung_ID</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Gegenstand_grob | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Gegenstand_speziell | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Erläuterung | varchar(250) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | auto_erzeugt | varchar(255) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | erfasst_von | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Datum | datetime | | Nein | 0000-00-00 00:00:00 | |

Abbildung 58: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „spezialisierungen“

Diese Tabelle wird durch das Ausführen des Moduls „zuordnungstabelle_antw.php“ (7.6.16) aktualisiert. Dies bedeutet, dass alle Einträge, die bei einem vorherigen Aufrufen des Moduls automatisch erzeugt wurden, gelöscht und dann anhand der Datensätze in der Einlesetabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) neu erzeugt werden. Die Funktionsweise der Tabelle ist dabei ähnlich der Tabelle „inhaltsangaben“ (7.7.10), mit dem Unterschied, dass hier nicht festgehalten wird, welche Baustoffe in einem Bauteil enthalten sind, sondern eine hierarchische Struktur festgelegt wird. Bei Verwendung der Einlesetabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) werden Bauteile hier mittels der SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“ (7.7.23) der übergeordneten Bauteilgruppe, „Baustoffe“ der übergeordneten Baustoffgruppe *Baustoffe (NBB)* zugeordnet (Abbildung 59). „Gegenstand_grob“ enthält dabei die ID des hierarchisch übergeordneten Objekts, „Gegenstand_speziell“ die ID des betrachteten Bauteils oder Baustoffs.

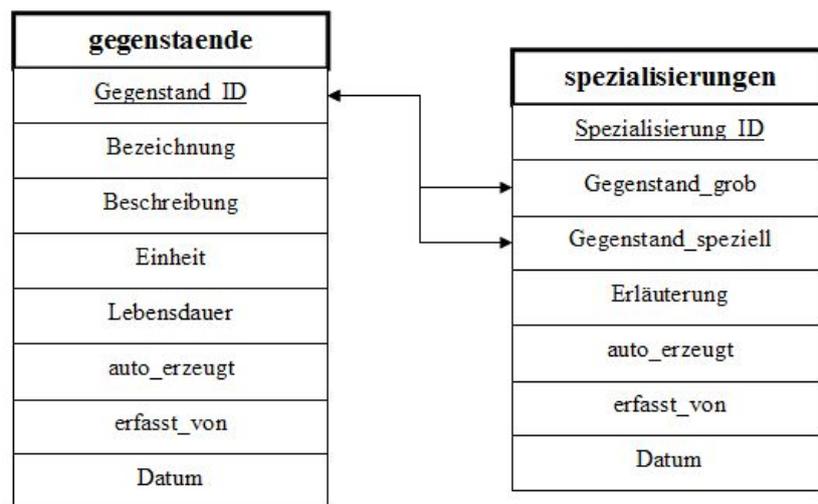


Abbildung 59: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „spezialisierungen“

7.7.20 varianten

Diese SQL-Tabelle besteht aus 15 Attributen (Abbildung 60). „ID“, dem automatisch erzeugten Primärschlüssel der Tabelle, „Name“, „Name_ID“, „Lebensdauer“, „Bauteiltyp“, „Bauteil“, „Menge“, „AP“, „EP“, „GWP“, „ODP“, „POCP“, „Ee“, „Ene“ und „Eges“. „Name“ enthält den vom User gewählten Namen der Variante. „Name_ID“ verweist auf „ID_variante“, den Primärschlüssel der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) und dient zur eindeutigen Identifizierung. „Lebensdauer“ enthält die Gebäudelebensdauer der Variante in der Einheit Jahre. „Bauteiltyp“ und „Bauteil“ verweisen auf „Gegenstand_ID“, den Primärschlüssel der SQL-Tabelle „gegenstaende“ (7.7.9) und ermöglichen eine eindeutige Identifizierung des Bauteils und der zugehörigen Bauteilgruppe. „Menge“ gibt an, welche Menge des Bauteils in der Variante verbaut werden soll. Die restlichen acht Attribute enthalten die berechneten Ökobilanzen für die acht Ökokennlinien über die gewählte Gebäudelebensdauer.

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|-------------|--------------|-----------|------|----------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>ID</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Name | varchar(255) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Name_ID | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Lebensdauer | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Bauteiltyp | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Bauteil | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Menge | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | AP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | EP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | GWP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | POCP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | ODP | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Eges | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Ee | float | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | Ene | float | | Nein | 0 | |

Abbildung 60: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „varianten“

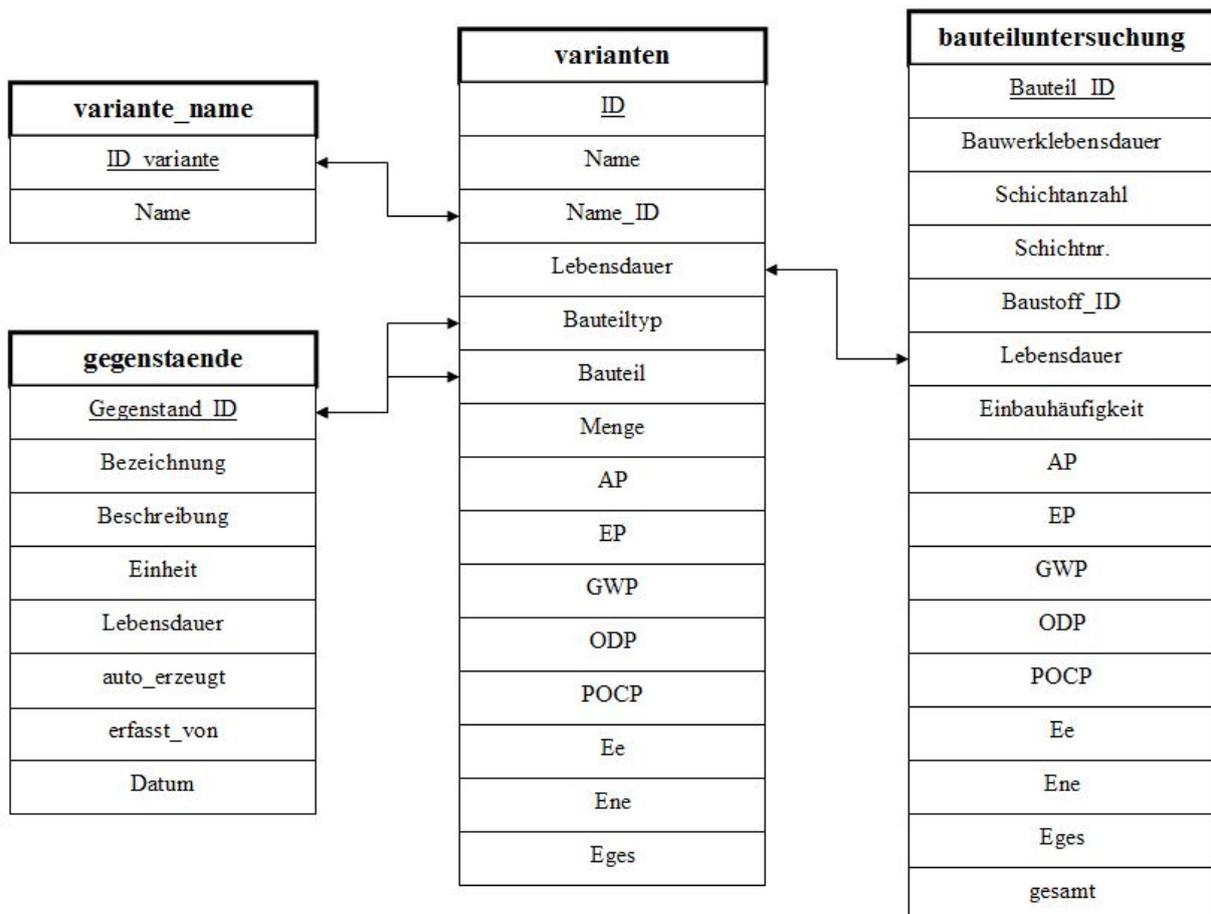


Abbildung 61: Verknüpfungmodell der SQL-Tabelle „varianten“

7.7.21 variantenvergleich

Diese SQL-Tabelle besitzt die beiden Attribute „ID“ und „ID_variante“. „ID“ dient dabei als Primärschlüssel der Tabelle. Hierfür gibt es ausschließlich die Werte 1 und 2, da diese Tabelle immer aus genau zwei Zeilen besteht. „ID_variante“ verweist auf den gleichnamigen Primärschlüssel der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) (Abbildung 62).

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|-------------|--------------|-----------|------|----------|-------|
| <input type="checkbox"/> | <u>ID</u> | int(11) | | Nein | 0 | |
| <input type="checkbox"/> | ID_variante | varchar(255) | | Nein | | |

Abbildung 62: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „variantenvergleich“

In dieser Tabelle werden die vom User mittels der Module „vergleich.php“ (7.6.13) und „vergleich_antw.php“ (7.6.14) gewählten zwei unterschiedlichen Varianten gespeichert, die direkt miteinander verglichen werden sollen. Die „ID_variante“ aus der SQL-Tabelle „variante_name“ (7.7.22) der zuerst gewählten Variante wird hierzu in die erste Zeile übernommen, die „ID_variante“ der als zweites gewählten Variante entsprechend in die zweite Zeile (Abbildung 63). Die Reihenfolge ist deshalb von Bedeutung, da bei dem Vergleich der beiden Varianten mittels des Moduls „vergleich_antw.php“ (7.6.14) die ermittelten Werte der ersten Variante als 100% definiert und mit den Werten der zweiten Variante in Relation gesetzt werden.

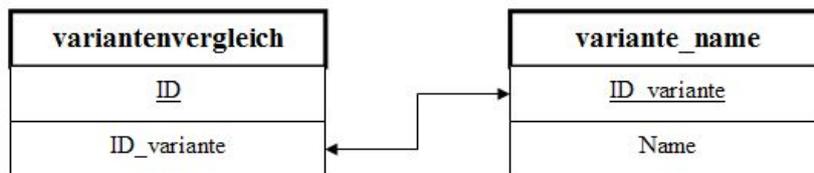


Abbildung 63: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „variantenvergleich“

7.7.22 variante_name

Diese SQL-Tabelle besteht aus den beiden Attributen „ID_variante“ und „Name“. „ID_variante“ ist der Primärschlüssel der Tabelle und wird automatisch erzeugt. „Name“ ist der vom User mittels der Module „varianten.php“ (7.6.9) und „varianten_antw.php“ (7.6.10) festgelegte Name der Variante.

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|--------------------|--------------|-----------|------|----------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>ID_variante</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Name | varchar(255) | | Nein | | |

Abbildung 64: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „varianten_name“

Diese Tabelle weist jeder erzeugten Variante eine feste ID zu, über die dann später diese Variante eindeutig identifiziert werden kann. Dies geschieht automatisch beim Ausführen des Moduls „varianten_antw.php“ (7.6.10). Alle Bauteile der Variante werden beim Eintragen in die SQL-Tabelle „varianten“ (7.7.20) mit dieser ID als zur selben Variante gehörig gekennzeichnet (Abbildung 65).

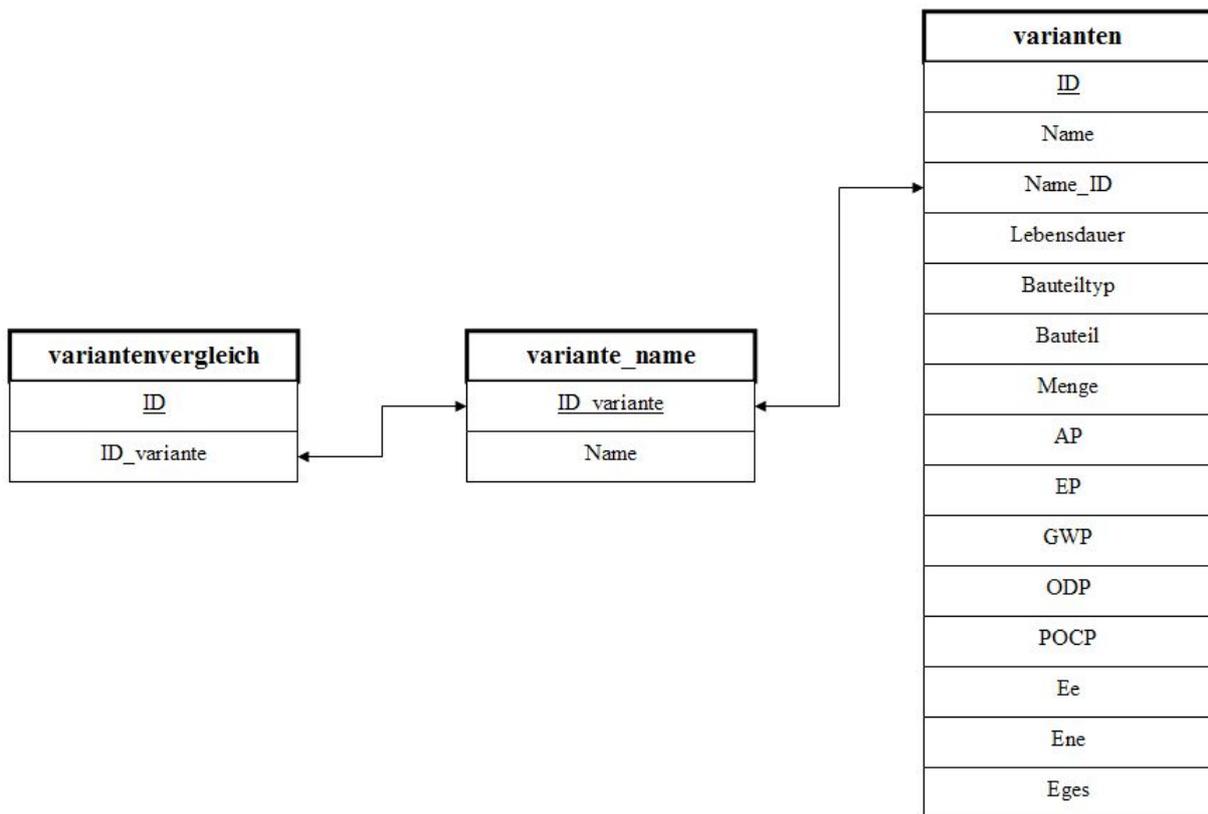


Abbildung 65: Verknüpfungmodell der SQL-Tabelle „variante_name“

7.7.23 zuordnungstabelle

Diese SQL-Tabelle besteht aus den vier Attributen „ID“, „Typ“, „Gruppe“ und „Zuordnung“. Die „ID“ ist der automatisch erzeugte Primärschlüssel. „Typ“ enthält die Bauteilgruppe. „Gruppe“ enthält die exakte Bauteilbezeichnung. „Zuordnung“ enthält die dem entsprechenden Bauteil hierarchisch übergeordnete Bauteilgruppe (Abbildung 66).

| | Feld | Typ | Attribute | Null | Standard | Extra |
|--------------------------|-----------|--------------|-----------|------|----------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | <u>ID</u> | int(11) | | Nein | | auto_increment |
| <input type="checkbox"/> | Typ | varchar(255) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Gruppe | varchar(255) | | Nein | | |
| <input type="checkbox"/> | Zuordnung | int(11) | | Nein | 0 | |

Abbildung 66: Screenshot der Struktur der SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“

Diese Tabelle wird durch das Modul „zuordnungstabelle_antw.php“ (7.6.16) erzeugt. Dies geschieht, indem alle Datensätze der SQL-Tabelle „lca_stamm_bauteile“ (7.7.12) der Reihe nach überprüft werden. Alle Bauteile, die bisher nicht in der Tabelle enthalten sind, werden ihr hinzugefügt. Auf diese Weise entsteht eine dublettenfreie Tabelle, die alle existierenden Bauteile enthält und sie sowohl einer Bauteilgruppe als auch einem hierarchisch übergeordneten Bauteiltypen zuordnet.

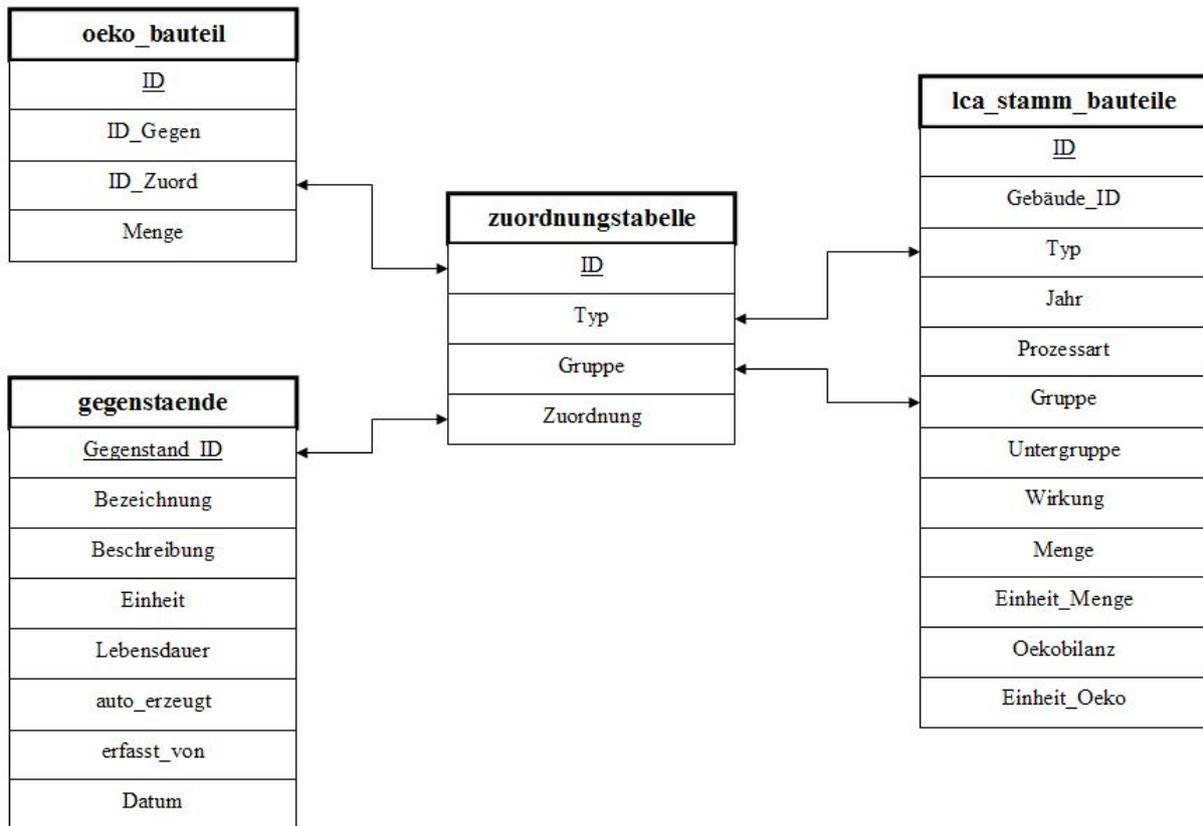


Abbildung 67: Verknüpfungsmodell der SQL-Tabelle „zuordnungstabelle“

7.8 Verfügbarkeit

Das Computerprogramm ÖkoBOA wird nach Abschluss des Promotionsverfahrens der Öffentlichkeit auf der Online Plattform NBB-Info zur Verfügung gestellt. Diese ist unter der Web-Adresse <http://www.nbb-forschung.de/nbb-info> erreichbar. Unter der Rubrik „Administration“ lassen sich dann alle Funktionen von ÖkoBOA nutzen.

8 Beispielrechnungen

Zum Nachweis der Funktionsfähigkeit des Computerprogramms ÖkoBOA wurden verschiedene Berechnungen durchgeführt. Hierzu lieferte der im Forschungsprojekt „Nachhaltig Bauen mit Beton“ als Referenzgebäude verwendete „Stadtbaustein“ die Gebäudegrundlage (Abbildung 68).

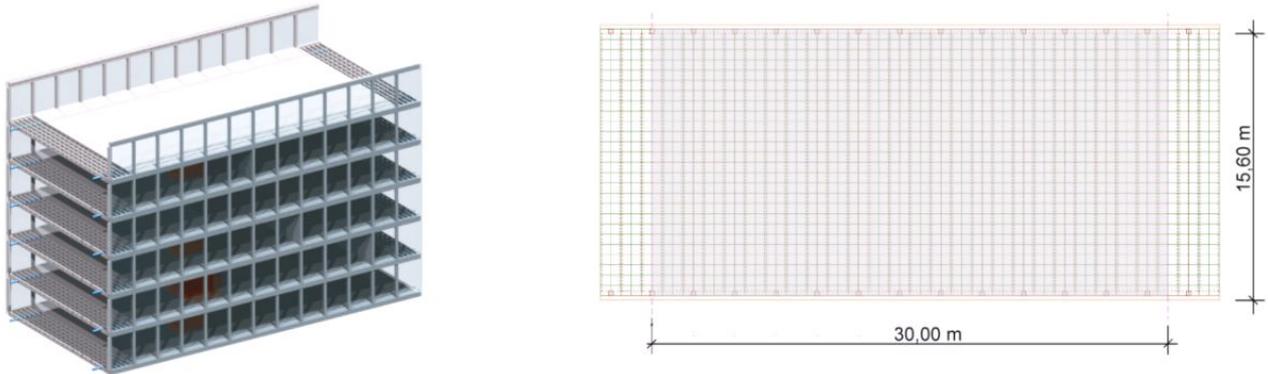


Abbildung 68: Darstellung des „Stadtbausteins“ [Wie2012]

Die Eckdaten dieses Gebäudes sind:

- Geschosse: 6 Obergeschosse, 2 Untergeschosse
- Geschosshöhe: lichtetes Raummaß von 2,75 m bis 3,00 m
H = 3,50 m (Obergeschosse)
H = 2,63 m (2. Untergeschoss) / 3,13 m (1. Untergeschoss)
- Nutzfläche: ca. 450 m² je Geschoss

Der „Stadtbaustein“ beinhaltet folgende Bauteilmengen:

- Außenwände: 720 m²
- Kelleraußenwände: 474 m²
- Innenwände: 2595 m²
- Stützen: 580 m
- Dach: 468 m²
- Decken: 2340 m²
- Unterzüge: 360 m²
- Bodenplatte: 468 m²
- Fenster: 540 m²
- Türen: 435 m²

Weitere Angaben und genauere Informationen zu dem Referenzgebäude „Stadtbaustein“ finden sich in [Wie2012].

8.1 Verschiedene Varianten/Szenarien

Mit dem im vorigen Kapitel erläuterten „Stadtbaustein“ wurden verschiedenen Gebäudevarianten (Bauteilkombinationen) und Szenarien (Gebäudelebensdauern) durchgerechnet:

- Variante I S100: Zufällige Bauteilkombination aus dem Bauteilkatalog, Gebäudelebensdauer 100 Jahre.
- Variante I S50: Zufällige Bauteilkombination aus dem Bauteilkatalog, Gebäudelebensdauer 50 Jahre.
- Variante I S20: Zufällige Bauteilkombination aus dem Bauteilkatalog, Gebäudelebensdauer 20 Jahre.
- Variante A S100: Optimierte Bauteilkombination, alle nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren einheitlich = 1, Gebäudelebensdauer 100 Jahre
- Variante A S50: Optimierte Bauteilkombination, alle nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren einheitlich = 1, Gebäudelebensdauer 50 Jahre
- Variante A S20: Optimierte Bauteilkombination, alle nutzerbezogenen Wichtungsfaktoren einheitlich = 1, Gebäudelebensdauer 20 Jahre
- Variante AP S100: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor AP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 100 Jahre
- Variante AP S50: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor AP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 50 Jahre
- Variante AP S20: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor AP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 20 Jahre
- Variante EP S100: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor EP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 100 Jahre
- Variante EP S50: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor EP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 50 Jahre
- Variante EP S20: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor EP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 20 Jahre
- Variante GWP S100: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor GWP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 100 Jahre
- Variante GWP S50: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor GWP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 50 Jahre
- Variante GWP S20: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor GWP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 20 Jahre
- Variante POCP S100: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor POCP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 100 Jahre
- Variante POCP S50: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor POCP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 50 Jahre
- Variante POCP S20: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor POCP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 20 Jahre
- Variante ODP S100: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor ODP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 100 Jahre
- Variante ODP S50: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor ODP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 50 Jahre
- Variante ODP S20: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor ODP = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 20 Jahre
- Variante E_{ges} S100: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtungsfaktor E_{ges} = 1, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 100 Jahre

- Variante E_{ges} S50: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtigkeitsfaktor $E_{ges} = 1$, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 50 Jahre
- Variante E_{ges} S20: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtigkeitsfaktor $E_{ges} = 1$, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 20 Jahre
- Variante E_e S100: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtigkeitsfaktor $E_e = 1$, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 100 Jahre
- Variante E_e S50: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtigkeitsfaktor $E_e = 1$, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 50 Jahre
- Variante E_e S20: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtigkeitsfaktor $E_e = 1$, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 20 Jahre
- Variante E_{ne} S100: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtigkeitsfaktor $E_{ne} = 1$, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 100 Jahre
- Variante E_{ne} S50: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtigkeitsfaktor $E_{ne} = 1$, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 50 Jahre
- Variante E_{ne} S20: Optimierte Bauteilkombination, nutzerbezogener Wichtigkeitsfaktor $E_{ne} = 1$, alle anderen = 0, Gebäudelebensdauer 20 Jahre

Ausgewählte Ergebnisse werden in 8.2 genauer erläutert und analysiert, die vollständigen Ergebnisse aller Berechnungen finden sich in Form von Tabellen im Anhang. Die zufällig ausgewählten Bauteile der Variante I S100/50/20 wurden mit Hilfe des unter der Web-Adresse <http://www.finanztip.de/tip/service/lottozahlengenerator-zufallszahl.htm> verfügbaren Zufallszahlengenerators ermittelt.

8.2 Ergebnisse/Sensitivitätsanalyse

Im Folgenden sind ausgesuchte Berechnungsergebnisse genauer beschrieben und analysiert. Die Prozentzahlen sind dabei auf eine Nachkommastelle gerundet.

8.2.1 Variante I S100/Variante A S100

Die folgende Auflistung zeigt die in den beiden Varianten verwendeten Bauteile:

| Bauteilgruppe | Variante I S100 | Variante A S100 |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| Außenwand | Typ IV | Typ VII |
| Kelleraußenwand | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Innenwand | Typ I | Typ I |
| Stütze | Typ Ia | Typ IIa |
| Dach | Typ VII | Typ I |
| Decke | Typ II-2 | Typ III-3 |
| Unterzug | Typ II | Typ II |
| Bodenplatte | Typ III | Typ I-CEM IIIa |
| Fenster | Typ I | Typ I |
| Tür | Typ III | Typ I |

Abbildung 69 zeigt, dass die optimierte Variante A S100 in allen Kriterien bessere Werte liefert, als die Variante I S100. Die Emissionen reduzieren sich in diesem Fall zwischen 70% (Kriterium AP) und 33,2% (Kriterium GWP). Die Energieaufwände reduzieren sich zwischen 42,6% (Kriterium E_e) und 27,5% (Kriterium E_{ges}). Im Durchschnitt lassen sich somit 42,26% pro Kriterium einsparen. Dies veranschaulicht deutlich, dass eine Optimierung der Gebäudestruktur ein hohes Einsparpotential birgt, das auch genutzt werden sollte.

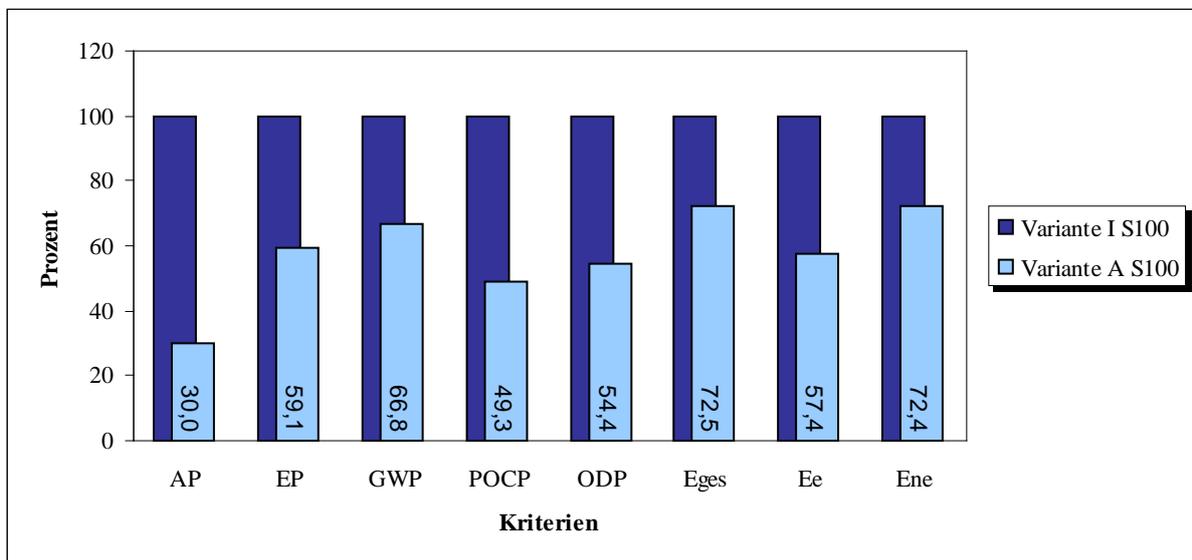


Abbildung 69: Vergleich der Varianten I S100 und A S100

Die Anteile der einzelnen Bauteile zu den Kriterien wurden mittels der Analysefunktion berechnet und sind im Folgenden in Abbildung 70 bis Abbildung 77 dargestellt.

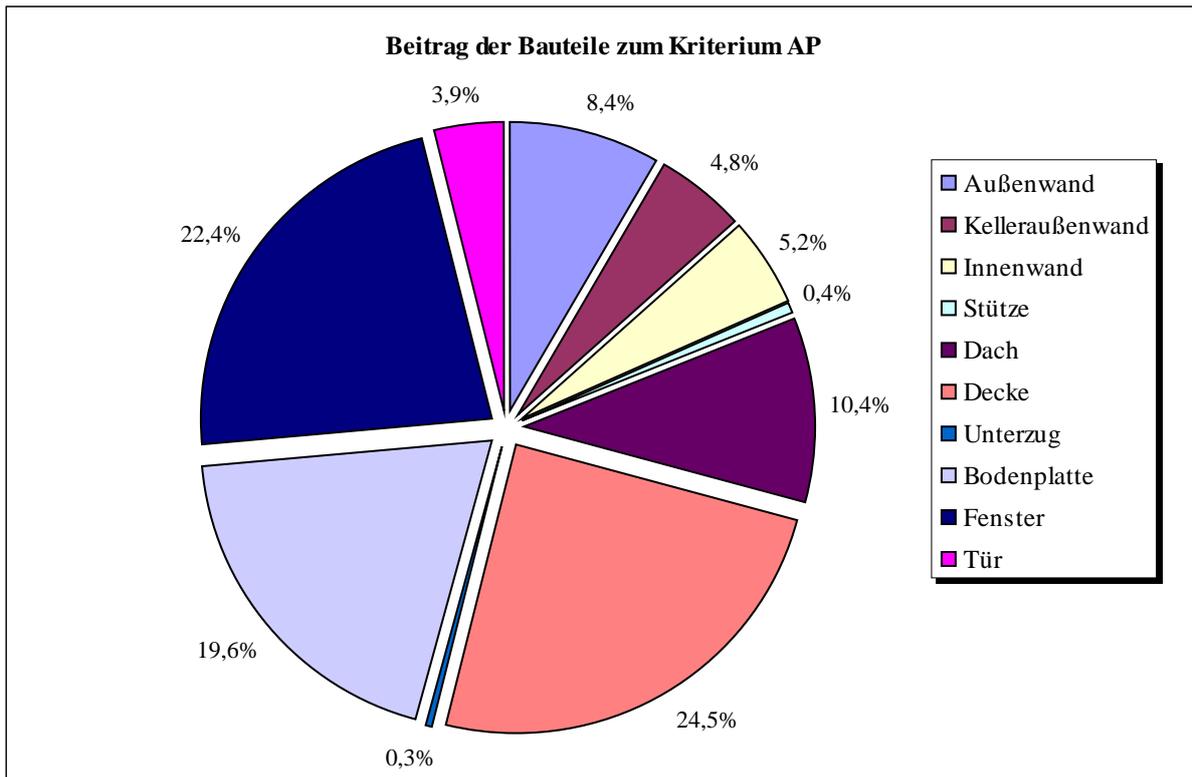


Abbildung 70: Variante A S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium AP

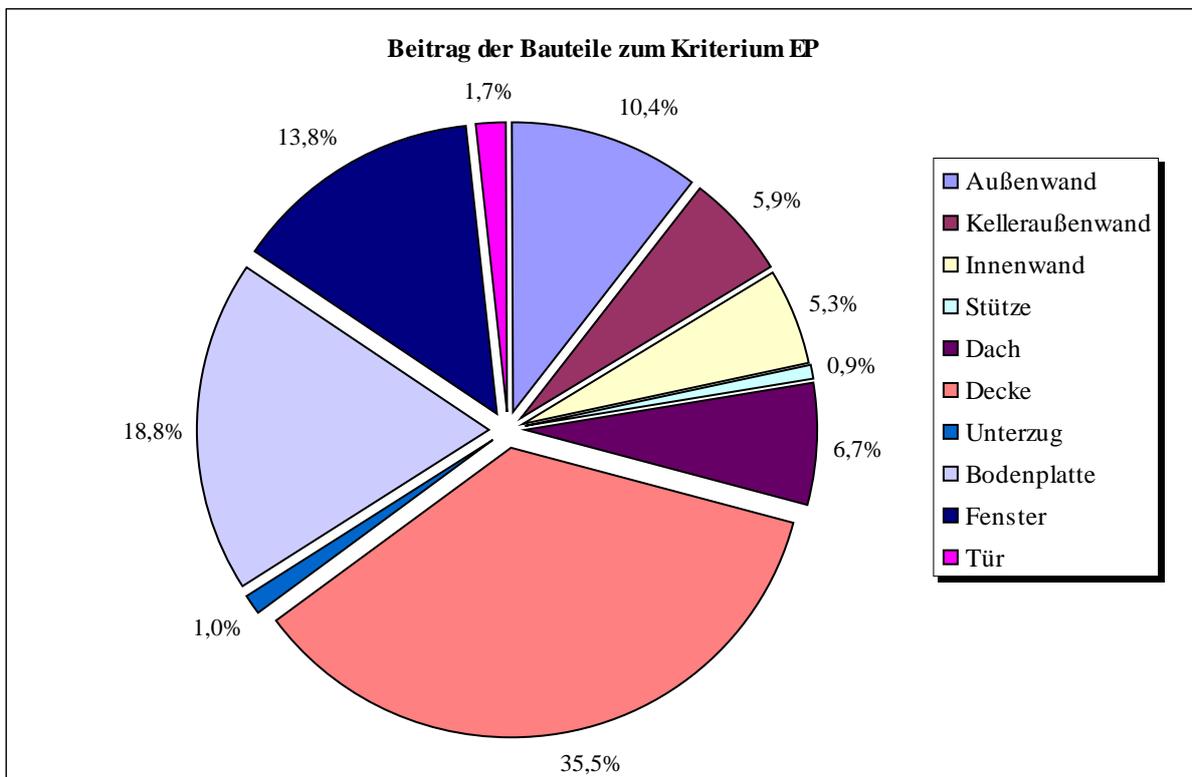


Abbildung 71: Variante A S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium EP

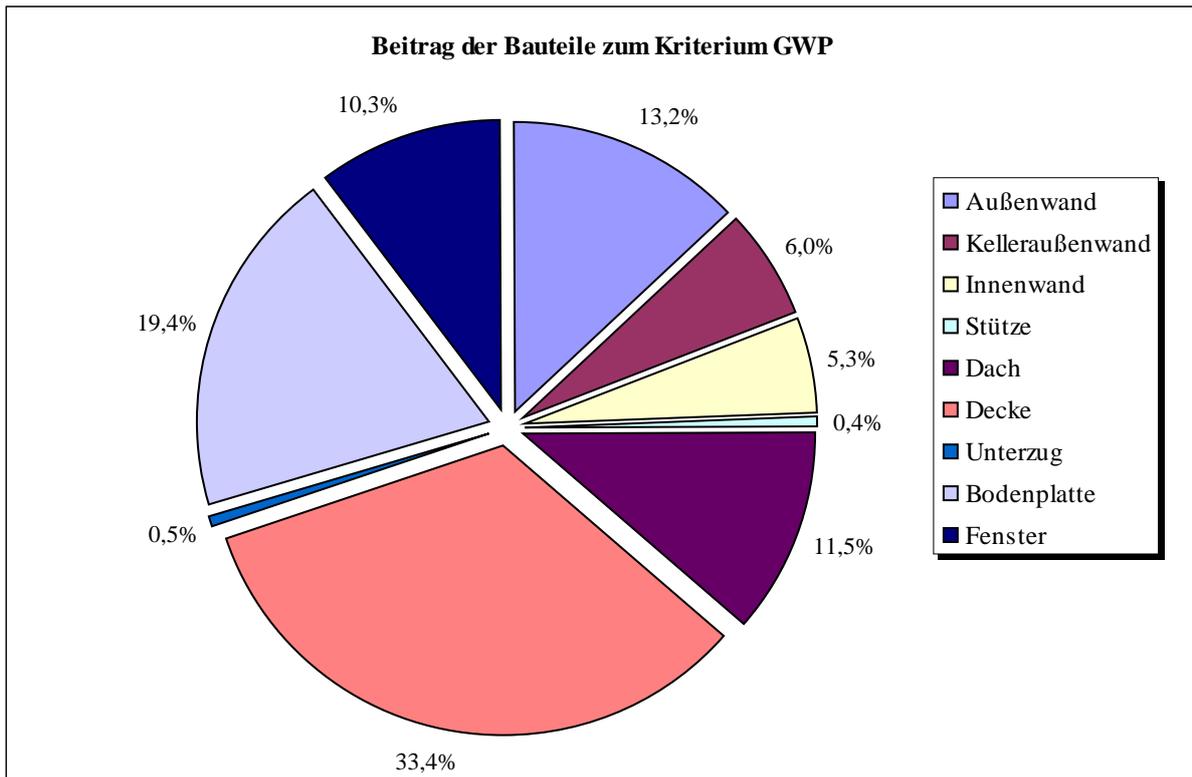


Abbildung 72: Variante A S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium GWP

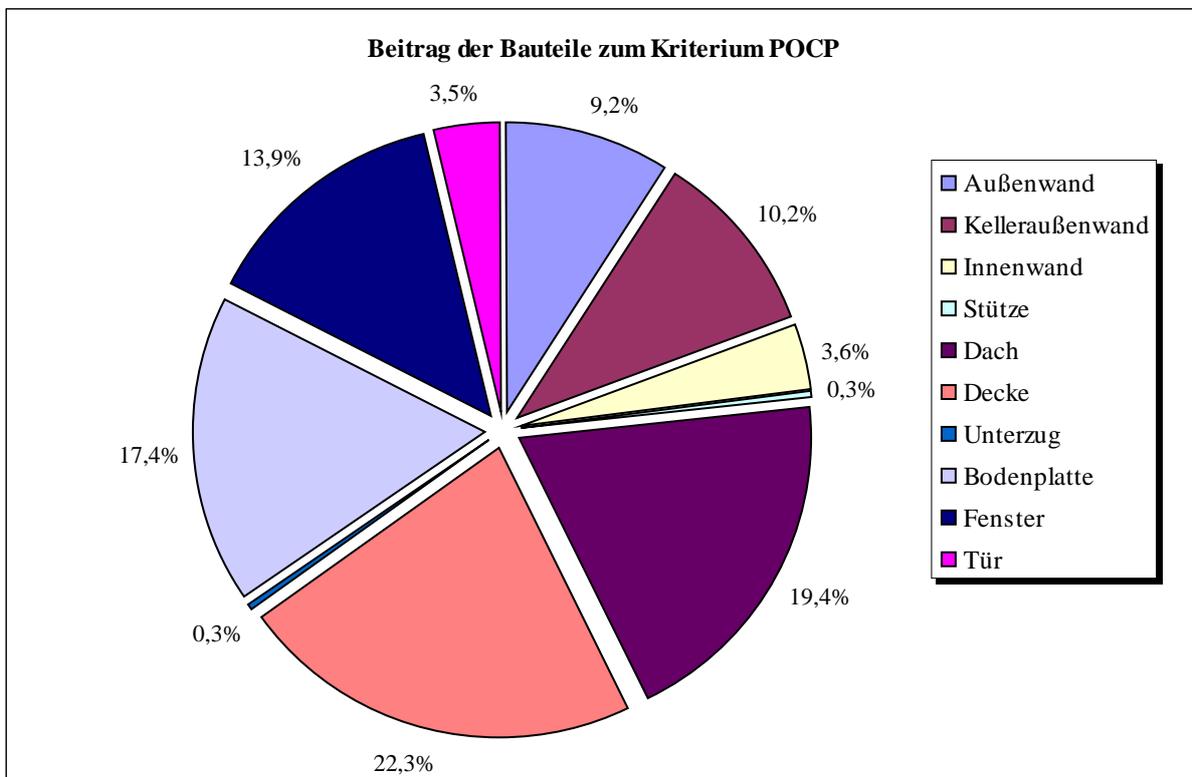


Abbildung 73: Variante A S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium POCP

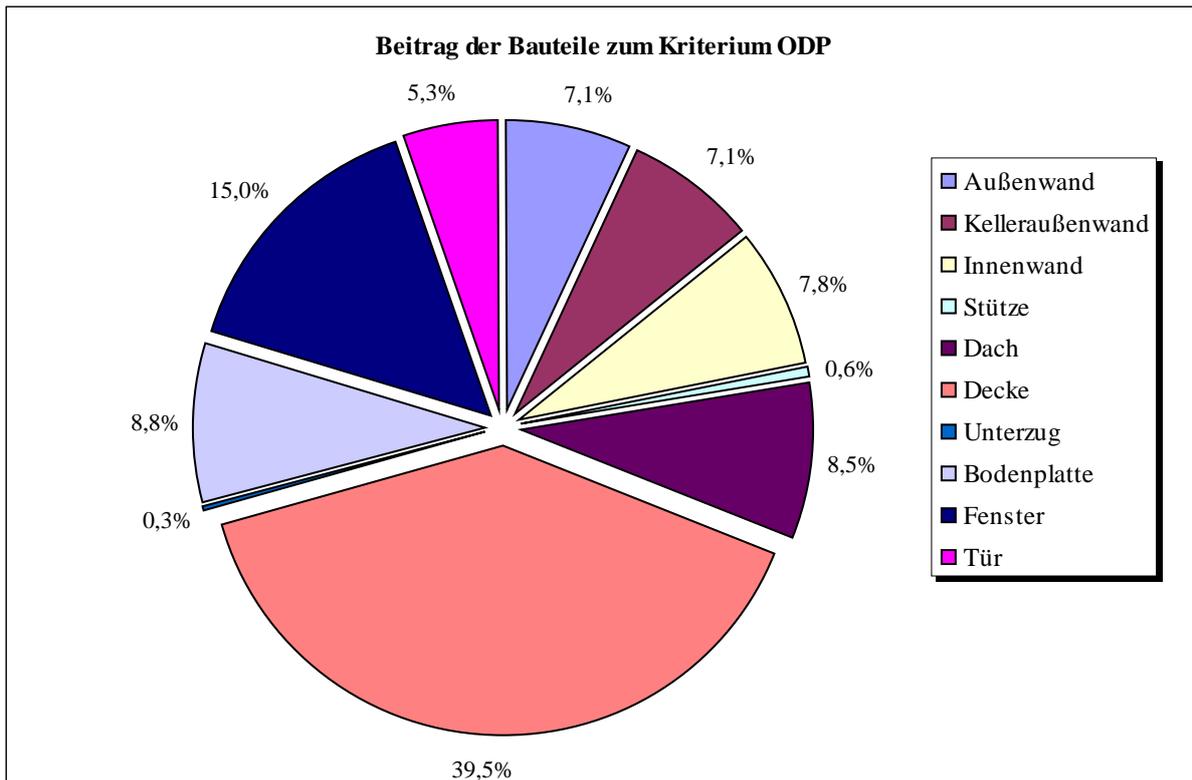


Abbildung 74: Variante A S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium ODP

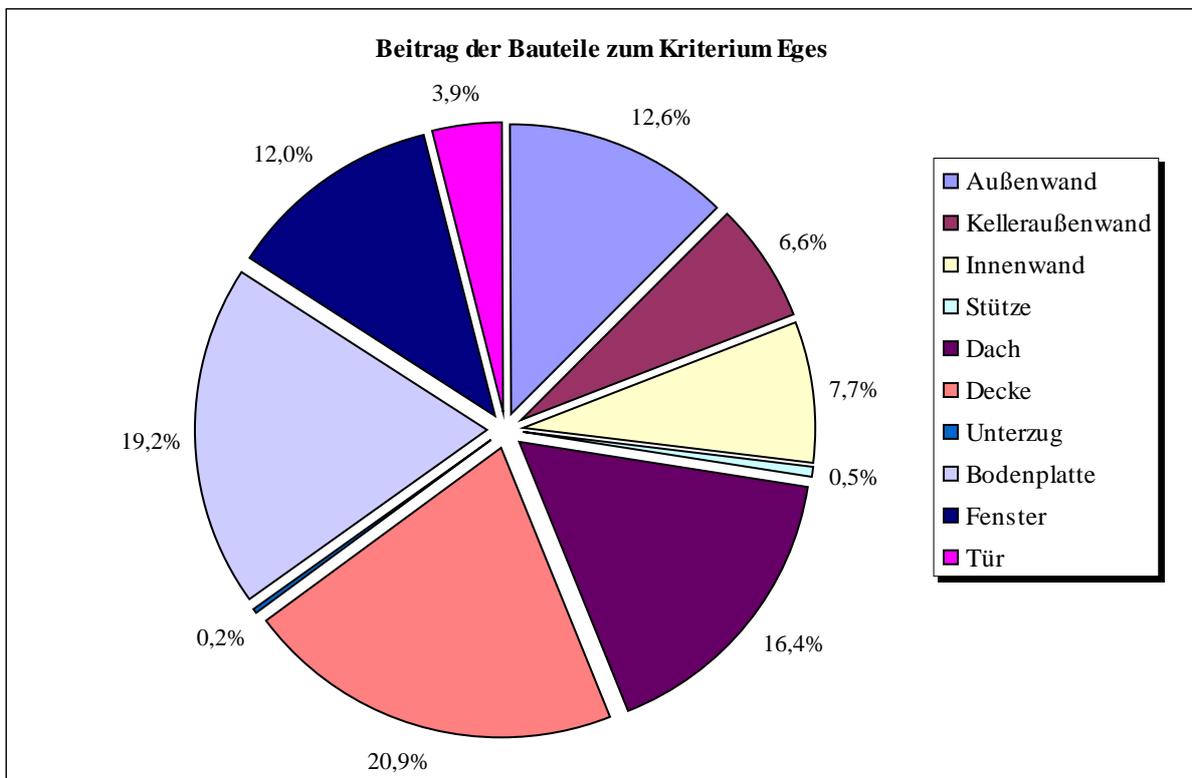


Abbildung 75: Variante A S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium E_{ges}

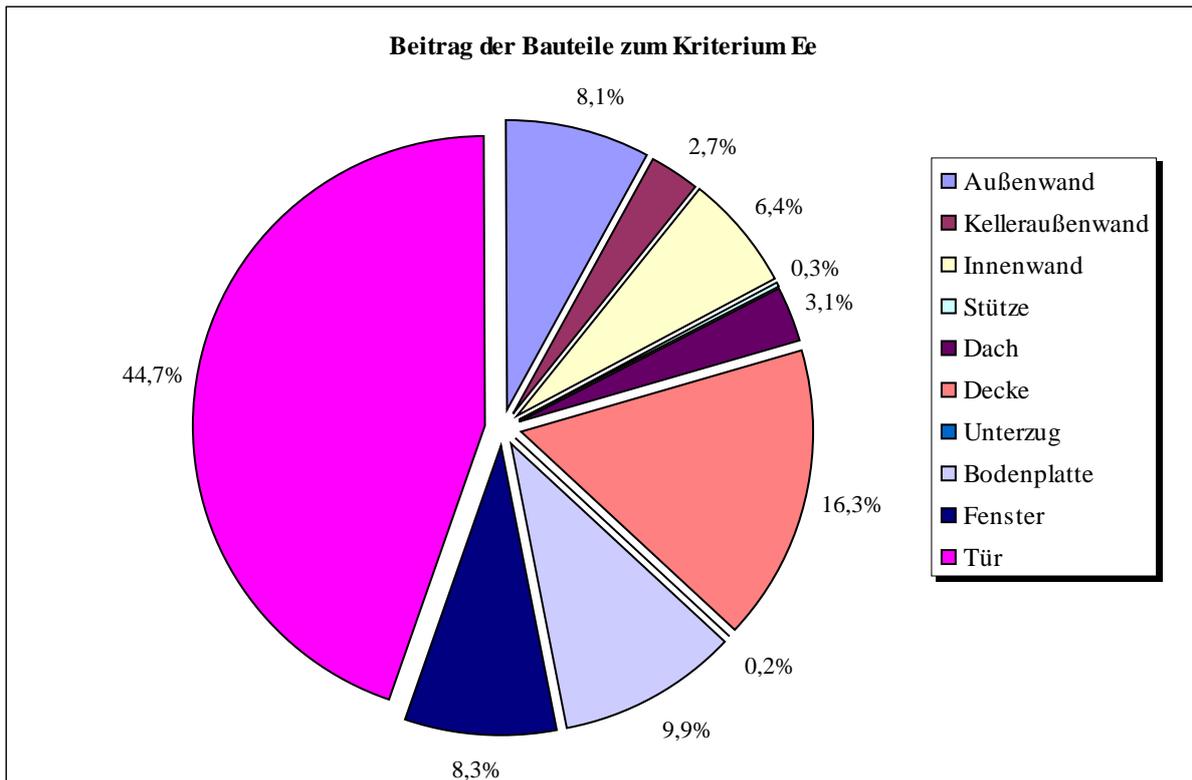


Abbildung 76: Variante A S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium E_e

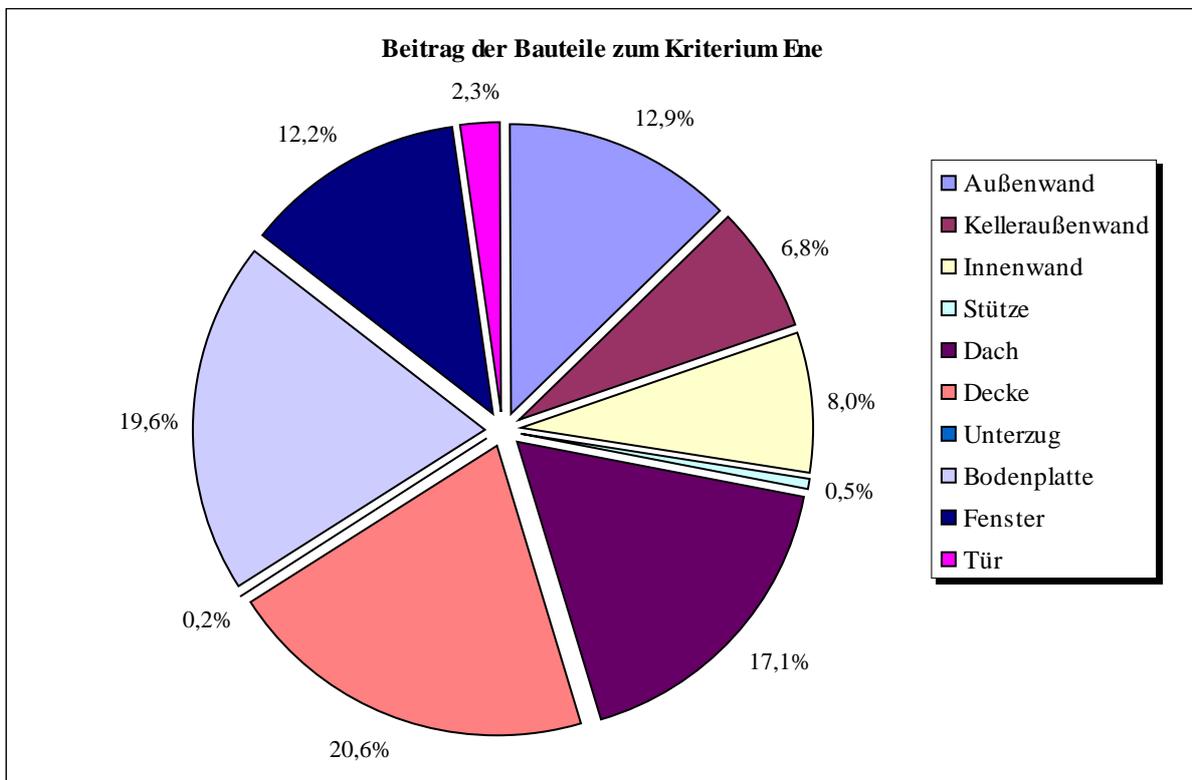


Abbildung 77: Variante A S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium E_{ne}

8.2.2 Variante A S100/Variante AP S100

Die folgende Auflistung zeigt die in den beiden Varianten verwendeten Bauteile:

| Bauteilgruppe | Variante A S100 | Variante AP S100 |
|-----------------|-----------------|------------------|
| Außenwand | Typ VII | Typ VII |
| Kelleraußenwand | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Innenwand | Typ I | Typ I |
| Stütze | Typ IIa | Typ IIa |
| Dach | Typ I | Typ I |
| Decke | Typ III-3 | Typ III-3 |
| Unterzug | Typ II | Typ II |
| Bodenplatte | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Fenster | Typ I | Typ I |
| Tür | Typ I | Typ III |

Bis auf den Typ der Türen sind beide Varianten identisch. Abbildung 78 zeigt den Vergleich der Varianten A S100 und AP S100. Es wird deutlich, dass sich das AP der Variante A S100 zwar noch verbessern lässt, jedoch nur um 0,3%. Dagegen steigt der Bedarf an E_e um 14,9% an. Auch EP und GWP zeigen geringe Verschlechterungen gegenüber der Variante A S100. ODP, E_{ges} und E_{ne} verringern sich jedoch zwischen 1,7% und 2,8%. Im Durchschnitt führt die geringe Reduktion des AP zu einer Erhöhung aller Kriterien um 1,2%.

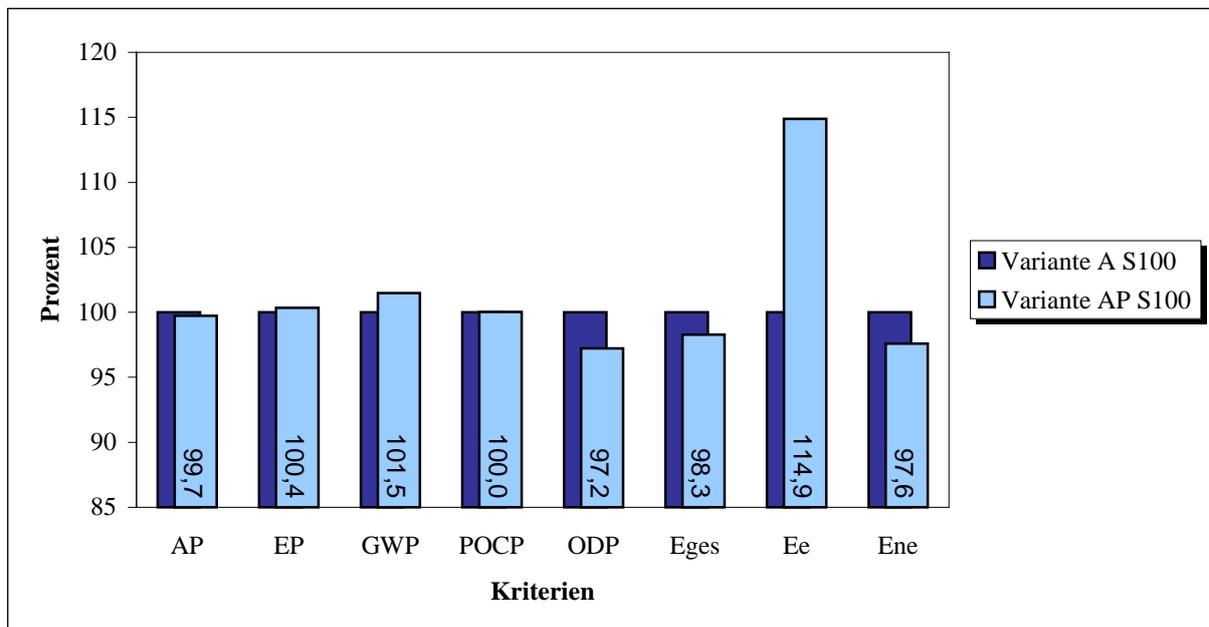


Abbildung 78: Vergleich der Varianten A S100 und AP S100

Abbildung 79 zeigt den Beitrag der einzelnen Bauteile der Variante AP S100 zum Kriterium AP. Mit 24,6% trägt die Decke den größten Anteil bei.

Die Analysefunktion zeigt dabei, dass die verwendeten „Fenster Typ I“ den Baustoff mit dem größten Anteil (22,5%) am AP der Gebäudestruktur darstellen. Die „Spannbetonstegplatte C50/60, 45 cm“ der Deckenkonstruktion liefert den zweitgrößten Anteil (15,4%) am AP der Gebäudestruktur, gefolgt von dem Oberflächenschutzsystem „OS11a“ der Bodenplatte mit 14,8%. Eine Verbesserung dieser Baustoffe hinsichtlich des AP hätte somit den maximalen Einspareffekt, wenn eine reine Optimierung hinsichtlich des AP gewünscht wird.

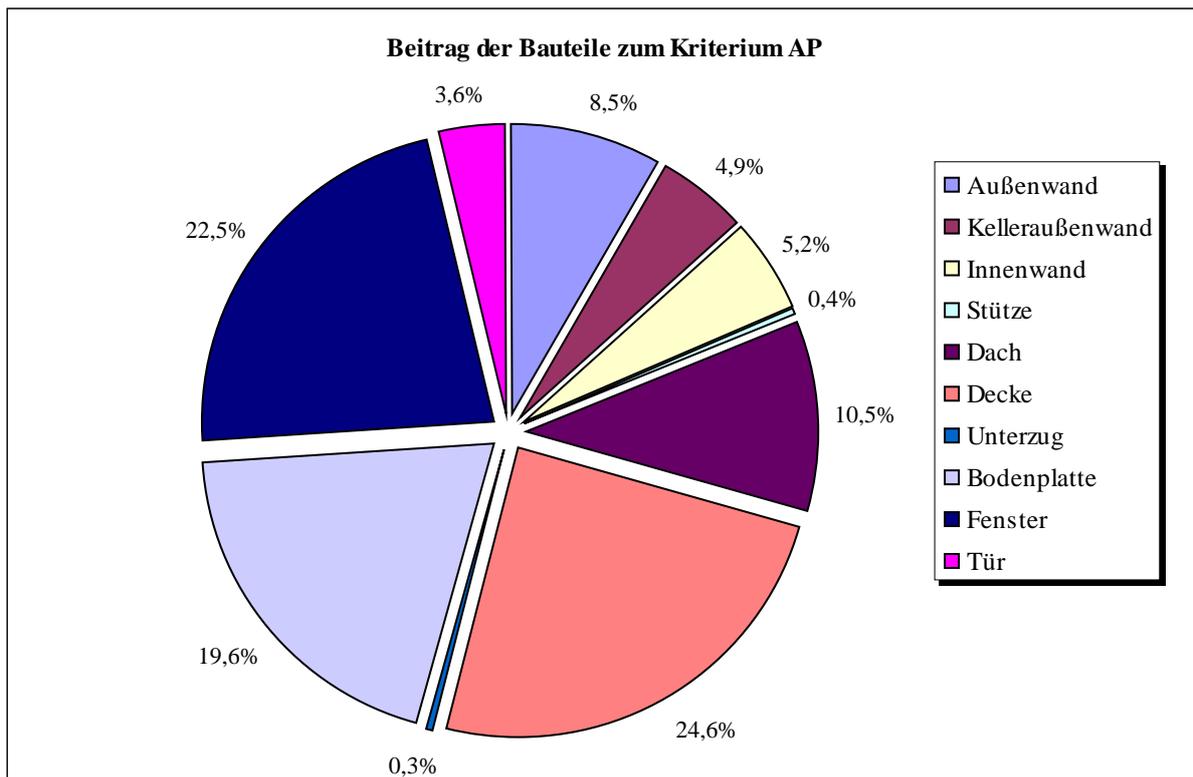


Abbildung 79: Variante AP S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium AP

8.2.3 Variante A S100/Variante EP S100

Die folgende Auflistung zeigt die in den beiden Varianten verwendeten Bauteile:

| Bauteilgruppe | Variante A S100 | Variante EP S100 |
|-----------------|-----------------|------------------|
| Außenwand | Typ VII | Typ I |
| Kelleraußenwand | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Innenwand | Typ I | Typ I |
| Stütze | Typ IIa | Typ IIa |
| Dach | Typ I | Typ I |
| Decke | Typ III-3 | Typ II-3 |
| Unterzug | Typ II | Typ II |
| Bodenplatte | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Fenster | Typ I | Typ I |
| Tür | Typ I | Typ I |

Abbildung 80 zeigt den Vergleich der Varianten A S100 und EP S100. Das EP der Variante A S100 lässt sich, wie dargestellt, noch um 3% verbessern. Dagegen steigt der Bedarf an E_e um 37,4% an. Auch alle weiteren Kriterien zeigen geringe Verschlechterungen zwischen 2,7% und 6,1% gegenüber der Variante A S100. Im Durchschnitt führt die geringe Reduktion des EP zu einer Erhöhung aller Kriterien um ca. 9,7%.

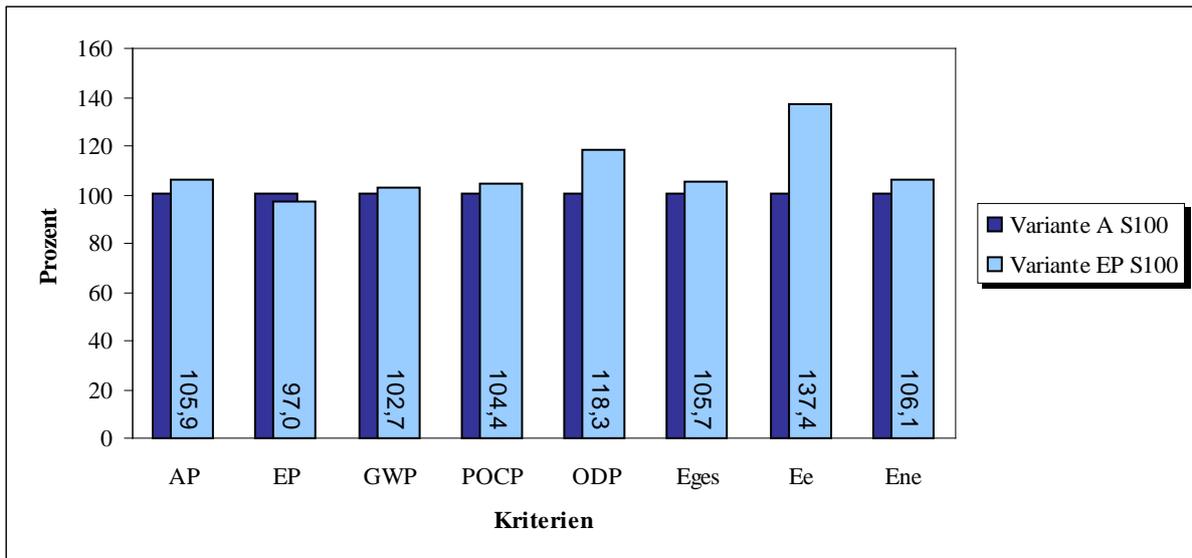


Abbildung 80: Vergleich der Varianten A S100 und EP S100

Abbildung 81 zeigt den Beitrag der einzelnen Bauteile der Variante EP S100 zum Kriterium EP. Mit 34,6% trägt die Decke den größten Anteil bei.

Die Analysefunktion zeigt dabei, dass die in der Deckenkonstruktion verwendete „Spannbetonstegplatte C50/60, 45 cm“ der Baustoff mit dem größten Anteil (22,2%) am EP der Gebäudestruktur ist. Mit 14,2% und 11,2% tragen die „Fenster Typ I“ und das Oberflächenschutzsystem „OS11a“ der Bodenplatte die zweit- und drittgrößten Anteile bei. Eine Verbesserung dieser Baustoffe hinsichtlich des EP hätte somit den maximalen Einspareffekt, wenn eine reine Optimierung hinsichtlich des EP gewünscht wird.

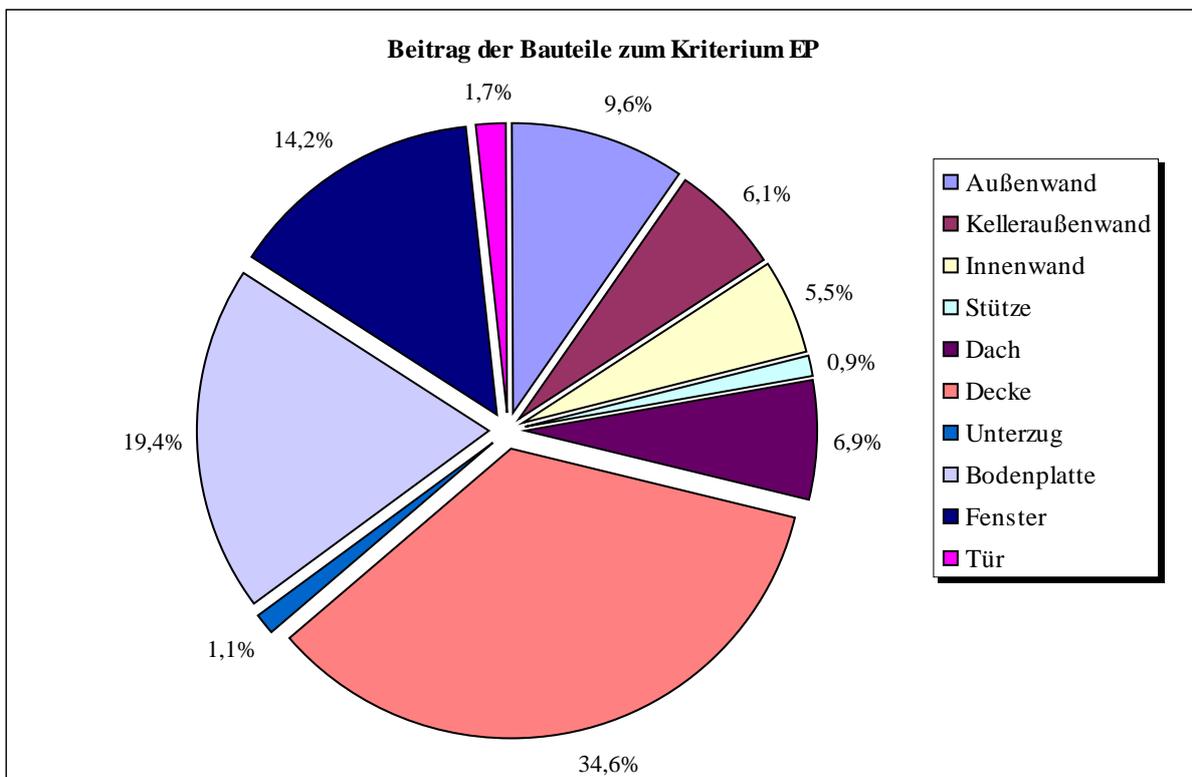


Abbildung 81: Variante EP S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium EP

8.2.4 Variante A S100/Variante GWP S100

Die folgende Auflistung zeigt die in den beiden Varianten verwendeten Bauteile:

| Bauteilgruppe | Variante A S100 | Variante GWP S100 |
|-----------------|-----------------|-------------------|
| Außenwand | Typ VII | Typ I |
| Kelleraußenwand | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Innenwand | Typ I | Typ I |
| Stütze | Typ IIa | Typ IIa |
| Dach | Typ I | Typ I |
| Decke | Typ III-3 | Typ III-4 |
| Unterzug | Typ II | Typ II |
| Bodenplatte | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Fenster | Typ I | Typ I |
| Tür | Typ I | Typ I |

Abbildung 82 zeigt den Vergleich der Varianten A S100 und GWP S100. Das GWP der Variante A S100 lässt sich, wie dargestellt, noch um 5,2% verbessern. Dagegen steigt der Bedarf an E_e um 230,6% an. Auch AP, EP, POCP und ODP zeigen Verschlechterungen zwischen 0,8% und 15,9% zur Variante A. E_{ges} und E_{ne} weisen jedoch Reduktionen um 4% und 4,1% auf. Im Durchschnitt führt die geringe Reduktion des GWP zu einer Erhöhung aller Kriterien um 31,8%.

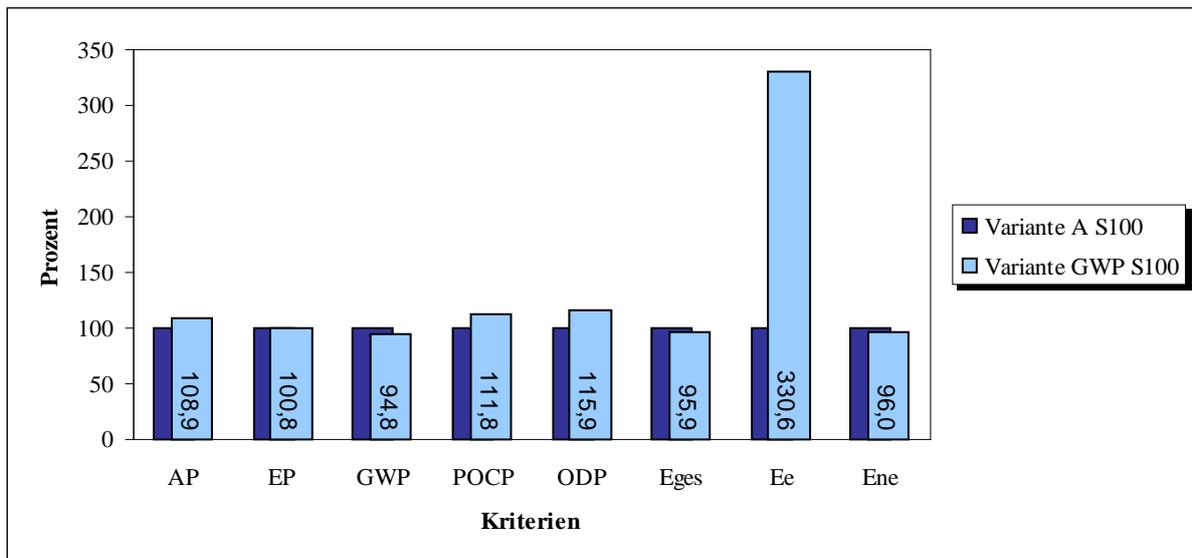


Abbildung 82: Vergleich der Varianten A S100 und GWP S100

Abbildung 83 zeigt den Beitrag der einzelnen Bauteile der Variante GWP S100 zum Kriterium GWP. Da die Türen „Typ I“ einen negativen Beitrag liefern, sind sie nicht im Diagramm aufgeführt. Mit 31,8% trägt die Decke den größten Anteil bei.

Die Analysefunktion zeigt dabei, dass die in der Deckenkonstruktion verwendete „Spannbetonstegplatte C50/60, 45 cm“ der Baustoff mit dem größten Anteil (22,4%) am GWP der Gebäudestruktur ist. Mit 13,8% und 10,9% tragen das Oberflächenschutzsystem „OS11a“ der Bodenplatte und die „Fenster Typ I“ die zweit- und drittgrößten Anteile bei. Eine Verbesserung dieser Baustoffe hinsichtlich des GWP hätte somit den maximalen Einspareffekt, wenn eine reine Optimierung hinsichtlich des GWP gewünscht wird.

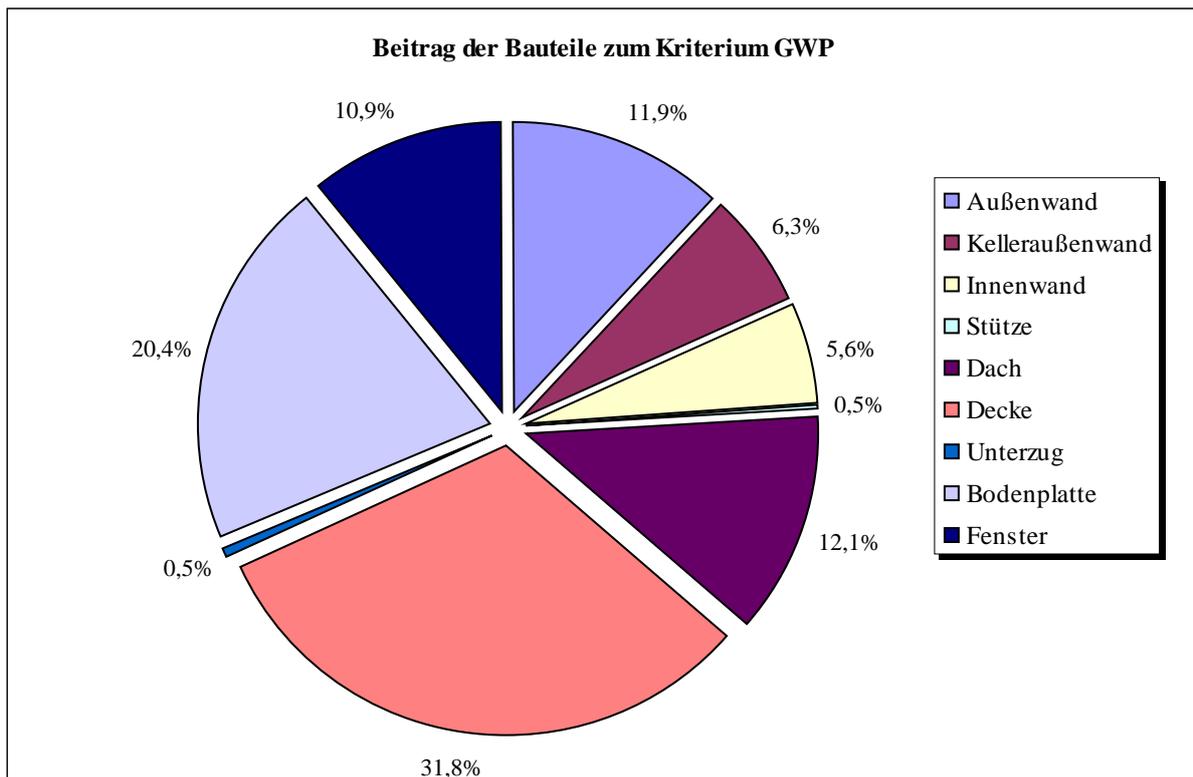


Abbildung 83: Variante GWP S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium GWP

8.2.5 Variante A S100/Variante POCP S100

Die folgende Auflistung zeigt die in den beiden Varianten verwendeten Bauteile:

| Bauteilgruppe | Variante A S100 | Variante POCP S100 |
|-----------------|-----------------|--------------------|
| Außenwand | Typ VII | Typ VII |
| Kelleraußenwand | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Innenwand | Typ I | Typ I |
| Stütze | Typ IIa | Typ IIa |
| Dach | Typ I | Typ I |
| Decke | Typ III-3 | Typ III-3 |
| Unterzug | Typ II | Typ II |
| Bodenplatte | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Fenster | Typ I | Typ I |
| Tür | Typ I | Typ I |

Abbildung 84 zeigt den Vergleich der Varianten A S100 und POCP S100. Die beiden Varianten enthalten die gleichen Bauteile. Somit lässt sich das POCP der Variante A S100 nicht mehr verbessern.

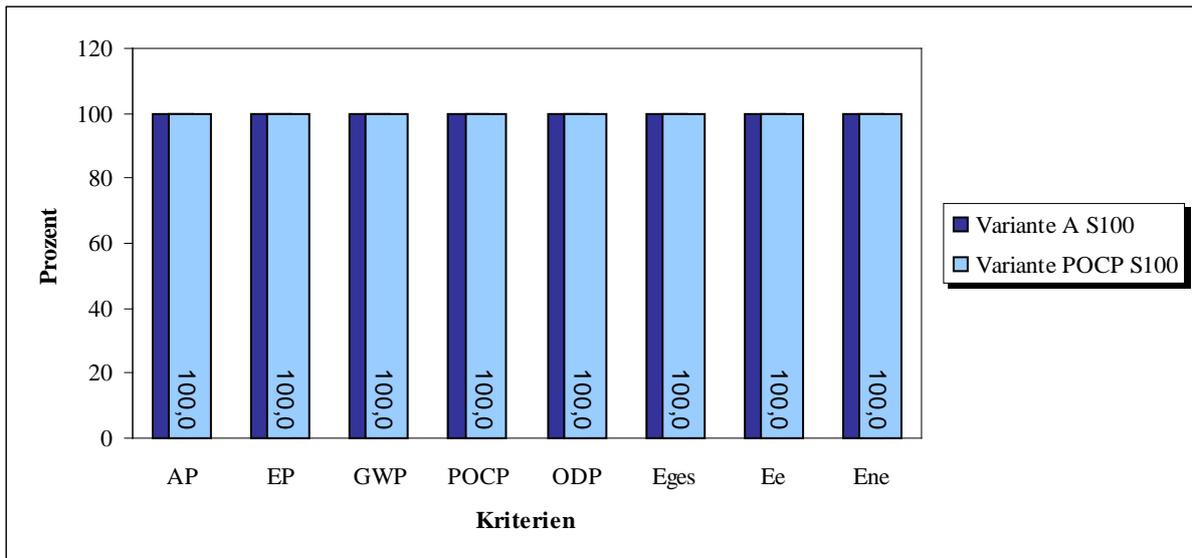


Abbildung 84: Vergleich der Varianten A S100 und POCP S100

Abbildung 85 zeigt den Beitrag der einzelnen Bauteile der Variante POCP S100 zum Kriterium POCP. Mit 22,3% trägt die Decke den größten Anteil bei.

Die Analysefunktion zeigt dabei, dass die in der Deckenkonstruktion verwendete „Spannbetonstegplatte C50/60, 47 cm“ der Baustoff mit dem größten Anteil (14,4%) am POCP der Gebäudestruktur ist. Mit 13,9% und 13,0% tragen die „Fenster Typ I“ und das Oberflächenschutzsystem „OS11a“ der Bodenplatte die zweit- und drittgrößten Anteile bei. Eine Verbesserung dieser Baustoffe hinsichtlich des POCP hätte somit den maximalen Einspareffekt, wenn eine reine Optimierung hinsichtlich des POCP gewünscht wird.

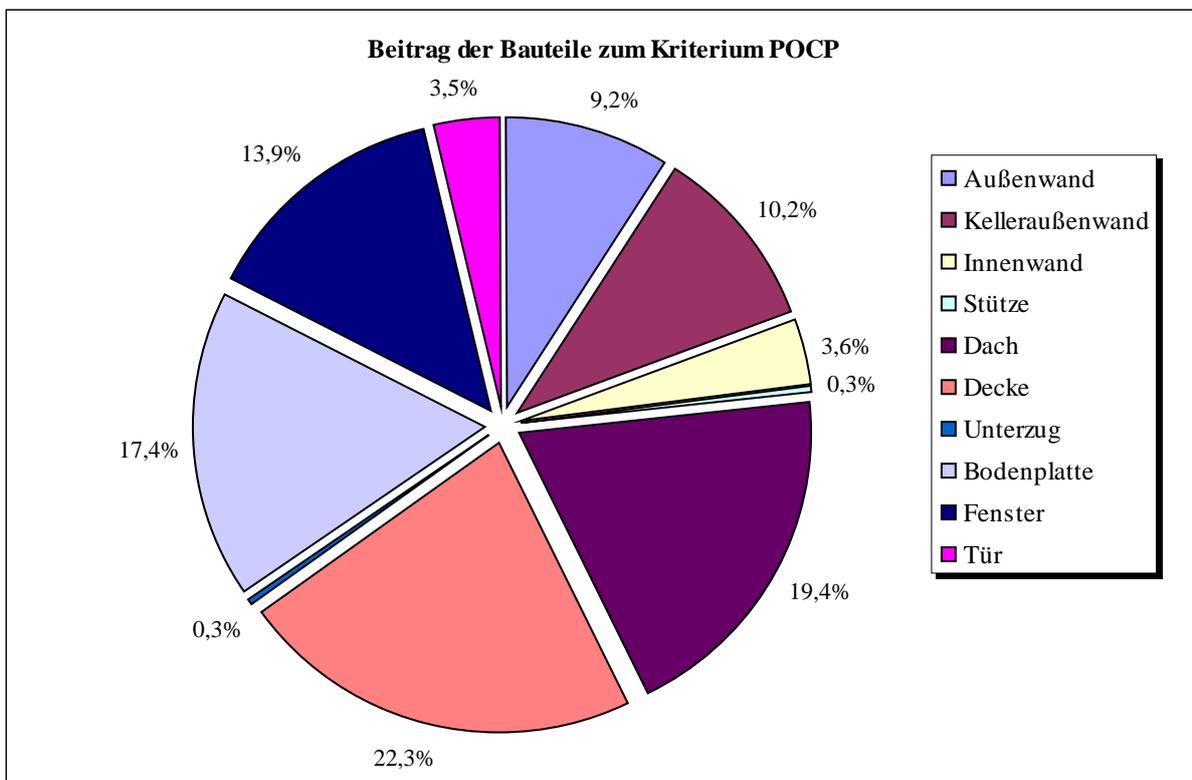


Abbildung 85: Variante POCP S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium POCP

8.2.6 Variante A S100/Variante ODP S100

Die folgende Auflistung zeigt die in den beiden Varianten verwendeten Bauteile:

| Bauteilgruppe | Variante A S100 | Variante ODP S100 |
|-----------------|-----------------|-------------------|
| Außenwand | Typ VII | Typ VII |
| Kelleraußenwand | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Innenwand | Typ I | Typ III |
| Stütze | Typ IIa | Typ IIa |
| Dach | Typ I | Typ I |
| Decke | Typ III-3 | Typ VII-bw |
| Unterzug | Typ II | Typ II |
| Bodenplatte | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Fenster | Typ I | Typ I |
| Tür | Typ I | Typ III |

Abbildung 86 zeigt den Vergleich der Varianten A S100 und ODP S100. Das ODP der Variante A S100 lässt sich, wie dargestellt, noch um 20,7% verbessern. Dagegen zeigen alle anderen Kriterien Verschlechterungen zwischen 34,6% (E_c) und 68,4% (E_{ne}). Im Durchschnitt führt die Reduktion des ODP zu einer Erhöhung aller Kriterien um 46,9%.

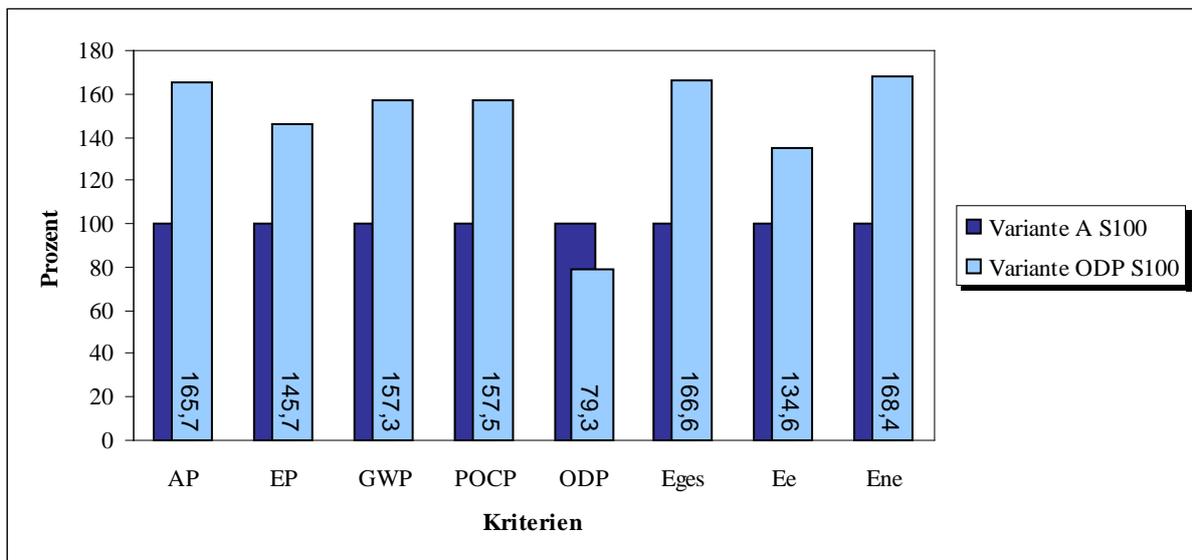


Abbildung 86: Vergleich der Varianten A S100 und ODP S100

Abbildung 87 zeigt den Beitrag der einzelnen Bauteile der Variante ODP S100 zum Kriterium ODP. Mit 27,4% trägt die Decke den größten Anteil bei.

Die Analysefunktion zeigt dabei, dass die in der Deckenkonstruktion verwendete „Spannbetonstegplatte C35/45, 25 cm“ der Baustoff mit dem größten Anteil (26,1%) am ODP der Gebäudestruktur ist. Mit 18,9% und 11,1% tragen die „Fenster Typ I“ und die „Stahlbetonbodenplatte C35/45 40 cm CEM IIIa (UG-fl)“ der Bodenplatte die zweit- und drittgrößten Anteile bei. Eine Verbesserung dieser Baustoffe hinsichtlich des ODP hätte somit den maximalen Einspareffekt, wenn eine reine Optimierung hinsichtlich des ODP gewünscht wird.

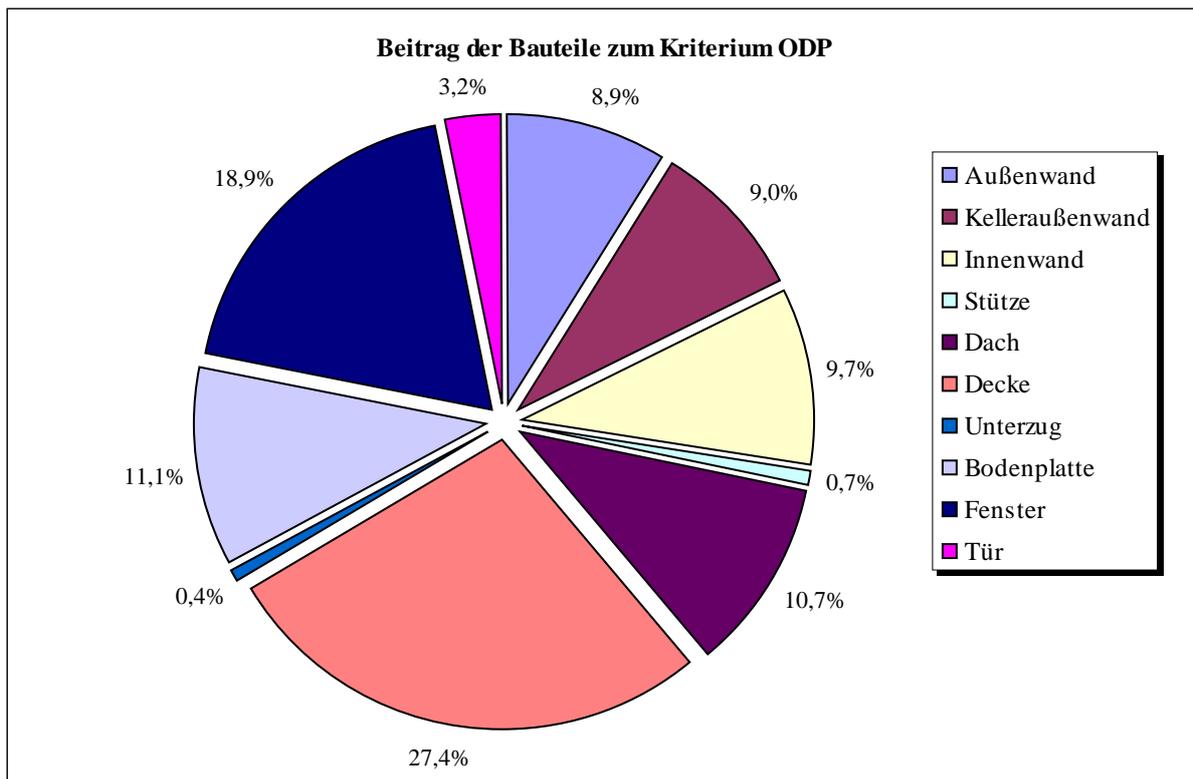


Abbildung 87: Variante ODP S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium ODP

8.2.7 Variante A S100/Variante E_{ges} S100

Die folgende Auflistung zeigt die in den beiden Varianten verwendeten Bauteile:

| Bauteilgruppe | Variante A S100 | Variante E _{ges} S100 |
|-----------------|-----------------|--------------------------------|
| Außenwand | Typ VII | Typ VI |
| Kelleraußenwand | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Innenwand | Typ I | Typ III |
| Stütze | Typ IIa | Typ IIa |
| Dach | Typ I | Typ I |
| Decke | Typ III-3 | Typ III-3 |
| Unterzug | Typ II | Typ II |
| Bodenplatte | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Fenster | Typ I | Typ I |
| Tür | Typ I | Typ III |

Abbildung 88 zeigt den Vergleich der Varianten A S100 und E_{ges} S100. Das E_{ges} der Variante A S100 lässt sich, wie dargestellt, noch um 6,6% verbessern. Dagegen zeigen alle anderen Kriterien mit Ausnahme des E_{ne} Verschlechterungen zwischen 1,9% (POCP) und 10,7% (E_e). E_{ne} sinkt dabei um 7,6%. Im Durchschnitt führt die Reduktion des E_{ges} zu einer Erhöhung aller Kriterien um 2,1%.

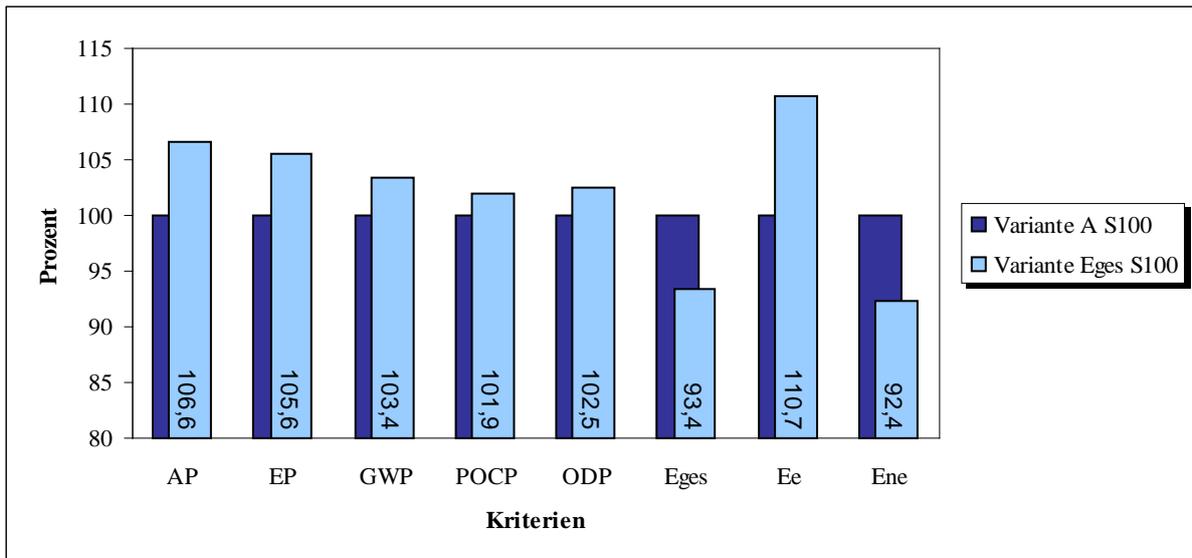


Abbildung 88: Vergleich der Varianten A S100 und E_{ges} S100

Abbildung 89 zeigt den Beitrag der einzelnen Bauteile der Variante E_{ges} S100 zum Kriterium E_{ges}. Mit 22,4% trägt die Decke den größten Anteil bei.

Die Analysefunktion zeigt dabei, dass das in der Bodenplatte verwendete Oberflächenschutzsystem „OS11a“ der Baustoff mit dem größten Anteil (16,9%) am E_{ges} der Gebäudestruktur ist. Mit 12,8% und 12,1% tragen die „Fenster Typ I“ und die in der Deckenkonstruktion verwendete „Spannbetonsteplatte C50/60, 45 cm“ die zweit- und drittgrößten Anteile bei. Eine Verbesserung dieser Baustoffe hinsichtlich des E_{ges} hätte somit den maximalen Einspareffekt, wenn eine reine Optimierung hinsichtlich des E_{ges} gewünscht wird.

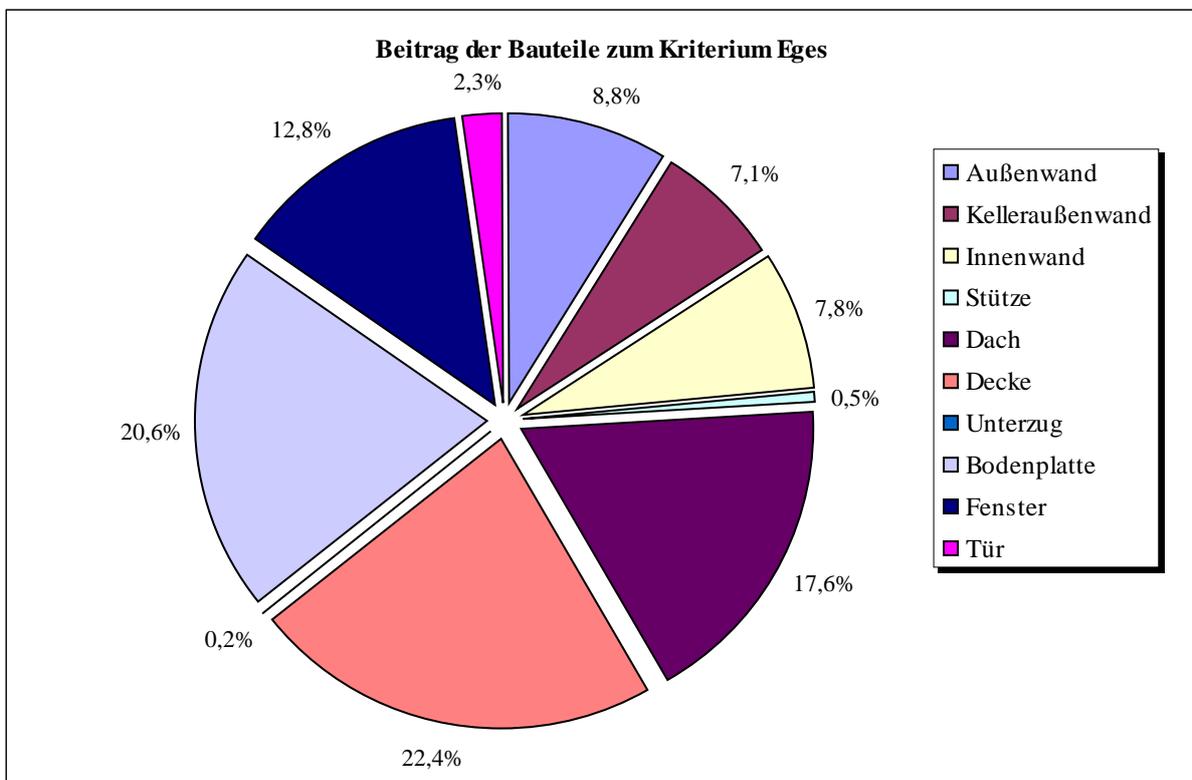


Abbildung 89: Variante E_{ges} S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium E_{ges}

8.2.8 Variante A S100/Variante E_e S100

Die folgende Auflistung zeigt die in den beiden Varianten verwendeten Bauteile:

| Bauteilgruppe | Variante A S100 | Variante E _e S100 |
|-----------------|-----------------|------------------------------|
| Außenwand | Typ VII | Typ VI |
| Kelleraußenwand | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Innenwand | Typ I | Typ STB1 |
| Stütze | Typ IIa | Typ IIa |
| Dach | Typ I | Typ I |
| Decke | Typ III-3 | Typ III-3 |
| Unterzug | Typ II | Typ II |
| Bodenplatte | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Fenster | Typ I | Typ I |
| Tür | Typ I | Typ II |

Abbildung 90 zeigt den Vergleich der Varianten A S100 und E_e S100. Das E_e der Variante A S100 lässt sich, wie dargestellt, noch um 45,3% verbessern. Dagegen zeigen alle anderen Kriterien Verschlechterungen zwischen 1,0% (E_{ges}) und 31,7% (EP). Im Durchschnitt führt die Reduktion des E_{ges} zu einer Erhöhung aller Kriterien um 7,3%.

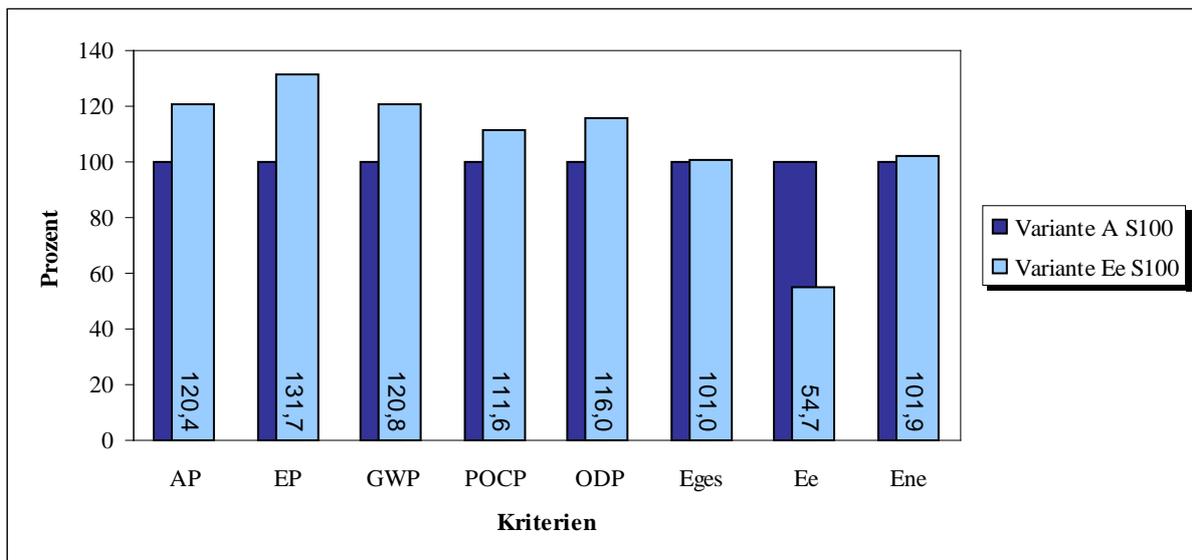


Abbildung 90: Vergleich der Varianten A S100 und E_e S100

Abbildung 91 zeigt den Beitrag der einzelnen Bauteile der Variante E_e S100 zum Kriterium E_e. Mit 29,8% trägt die Decke den größten Anteil bei.

Die Analysefunktion zeigt dabei, dass die in der Deckenkonstruktion verwendete „Spannbetonstegplatte C50/60, 45 cm“ der Baustoff mit dem größten Anteil (26,9%) am E_e der Gebäudestruktur ist. Mit 15,1% und 9,9% tragen die „Fenster Typ I“ und das Oberflächenschutzsystem „OS11a“ der Bodenplatte die zweit- und drittgrößten Anteile bei. Eine Verbesserung dieser Baustoffe hinsichtlich des E_e hätte somit den maximalen Einspareffekt, wenn eine reine Optimierung hinsichtlich des E_e gewünscht wird.

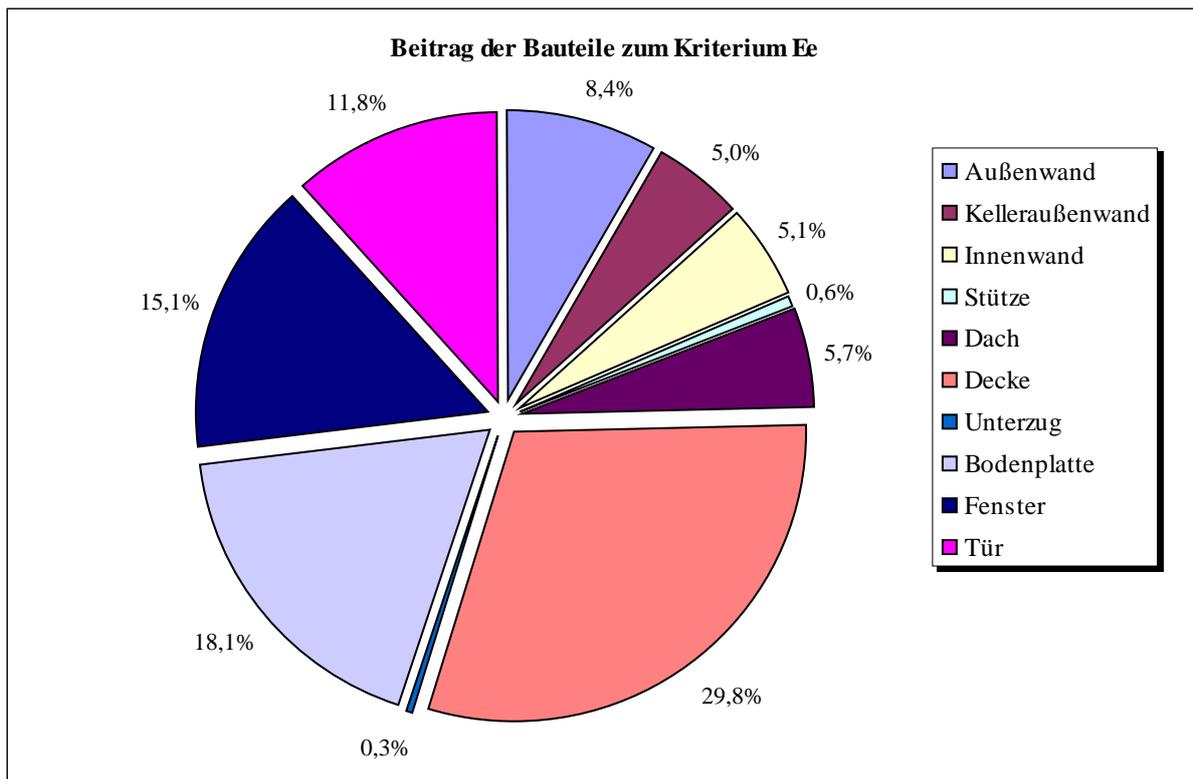


Abbildung 91: Variante E_e S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium E_e

8.2.9 Variante A S100/Variante E_{ne} S100

Die folgende Auflistung zeigt die in den beiden Varianten verwendeten Bauteile:

| Bauteilgruppe | Variante A S100 | Variante E _{ne} S100 |
|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| Außenwand | Typ VII | Typ VI |
| Kelleraußenwand | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Innenwand | Typ I | Typ III |
| Stütze | Typ IIa | Typ IIa |
| Dach | Typ I | Typ I |
| Decke | Typ III-3 | Typ III-3 |
| Unterzug | Typ II | Typ II |
| Bodenplatte | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Fenster | Typ I | Typ I |
| Tür | Typ I | Typ III |

Abbildung 92 zeigt den Vergleich der Varianten A S100 und E_{ne} S100. Das E_{ne} der Variante A S100 lässt sich, wie dargestellt, noch um 7,6% verbessern. Dagegen zeigen alle anderen Kriterien mit Ausnahme des E_{ne} Verschlechterungen zwischen 1,9% (POCP) und 10,7% (E_e). E_{ne} sinkt dabei um 7,6%. Im Durchschnitt führt die Reduktion des E_{ges} zu einer Erhöhung aller Kriterien um 2,1%.

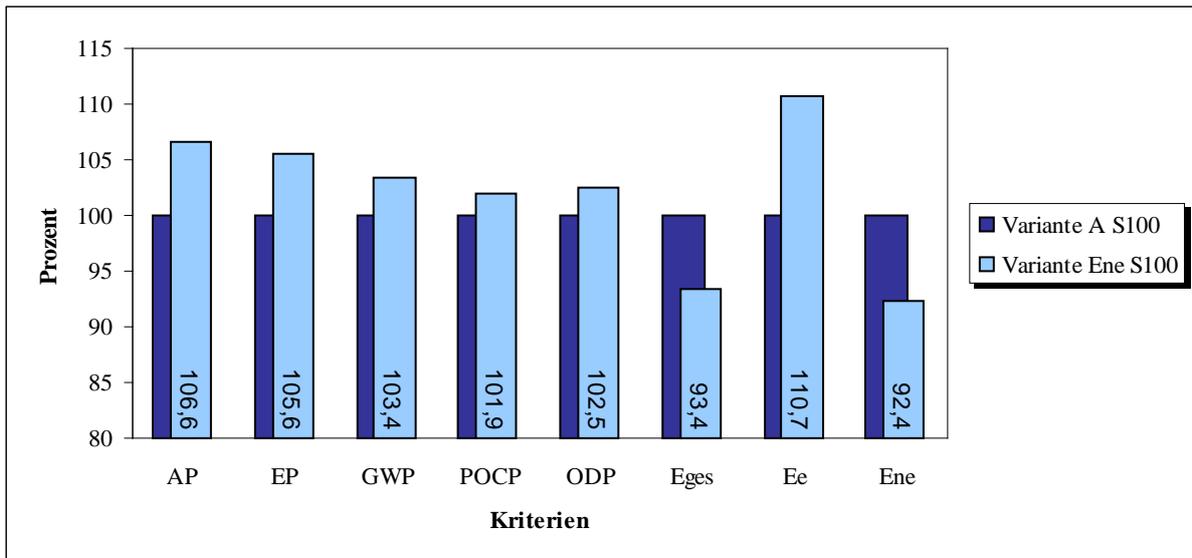


Abbildung 92: Vergleich der Varianten A S100 und E_{ne} S100

Abbildung 93 zeigt den Beitrag der einzelnen Bauteile der Variante E_{ne} S100 zum Kriterium E_{ne}. Mit 22,2% trägt die Decke den größten Anteil bei. Da die Türen „Typ III“ einen negativen Beitrag liefern, sind sie nicht im Diagramm aufgeführt. Die Analysefunktion zeigt dabei, dass das Oberflächenschutzsystem „OS11a“ der Bodenplatte den Baustoff mit dem größten Anteil (17,6%) am E_{ne} der Gebäudestruktur darstellt. Die „Fenster Typ I“ und die „Spannbetonsteplatte C50/60, 45 cm“ der Deckenkonstruktion tragen mit 13,2% und 11,6% den zweit- und drittgrößten Anteil. Eine Verbesserung dieser Baustoffe hinsichtlich des E_{ne} hätte somit den maximalen Einspareffekt, wenn eine reine Optimierung hinsichtlich des E_{ne} gewünscht wird.

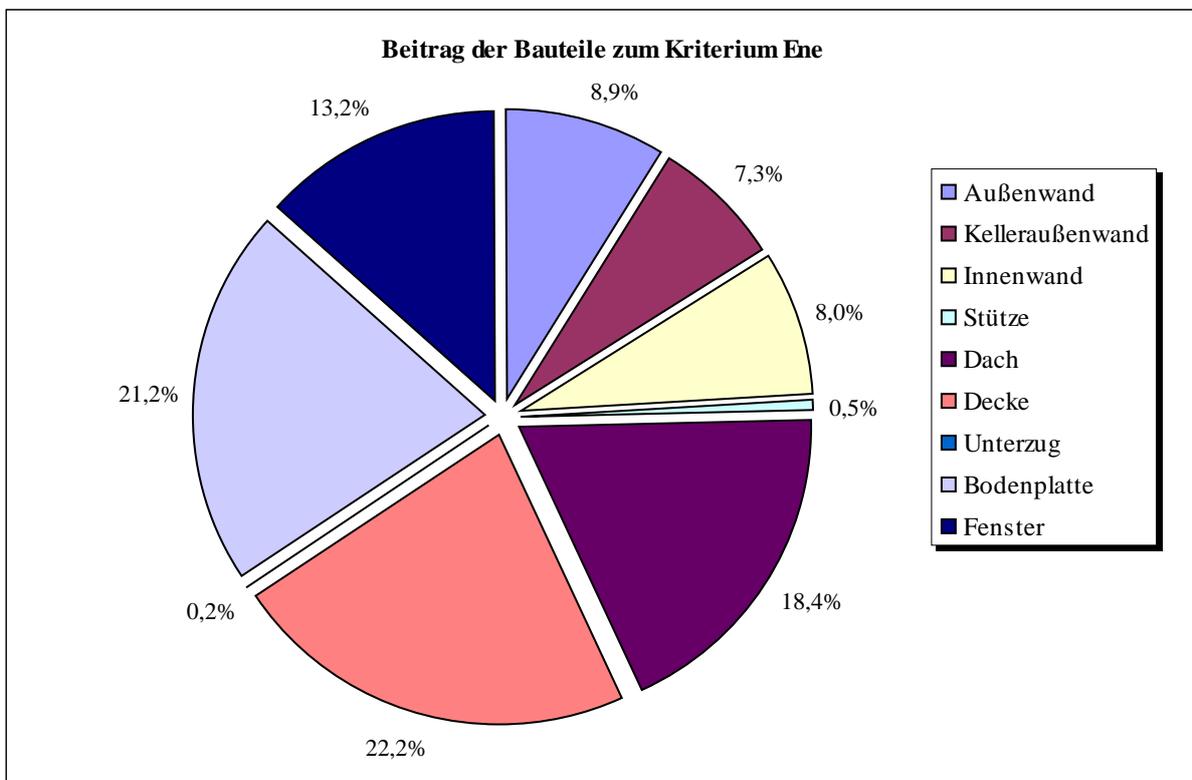


Abbildung 93: Variante E_{ne} S100, Beitrag der einzelnen Bauteile zum Kriterium E_{ne}

8.2.10 Variante A S100/Variante A S50

Die folgende Auflistung zeigt die in den beiden Varianten verwendeten Bauteile:

| Bauteilgruppe | Variante A S100 | Variante A S50 |
|-----------------|-----------------|----------------|
| Außenwand | Typ VII | Typ VII |
| Kelleraußenwand | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Innenwand | Typ I | Typ I |
| Stütze | Typ IIa | Typ IIa |
| Dach | Typ I | Typ I |
| Decke | Typ III-3 | Typ III-3 |
| Unterzug | Typ II | Typ II |
| Bodenplatte | Typ I-CEM IIIa | Typ I-CEM IIIa |
| Fenster | Typ I | Typ I |
| Tür | Typ I | Typ I |

Es soll hier verdeutlicht werden, dass eine Reduktion der Gebäudelebensdauer um 50% nicht mit einer Reduktion der Werte der Ökokriterien um 50% gleichgesetzt werden darf. Dies resultiert aus den festen Instandsetzungszyklen der einzelnen Baustoffe. Ist die Baustofflebensdauer erreicht, so wird dieser erneuert, auch wenn er nach seiner Erneuerung nicht mehr seine volle Lebensdauer erreicht (siehe 7.1.8).

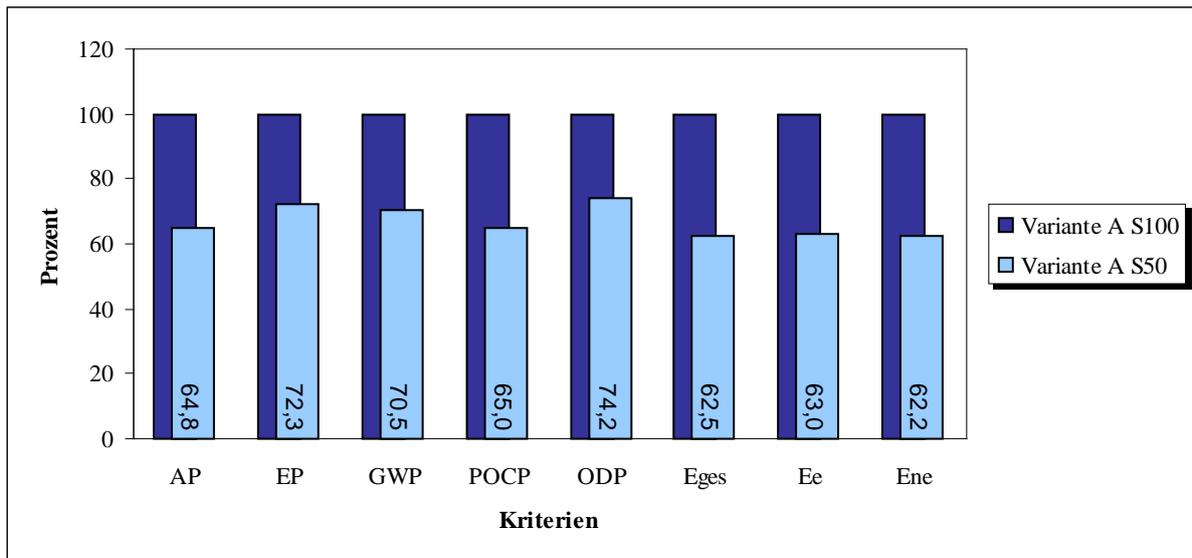


Abbildung 94: Vergleich der Varianten A S100 und A S50

9 Zusammenfassung und Ausblick

Die Begriffe „Nachhaltigkeit“ und „Ökologie“ haben mittlerweile in vielen Bereichen des täglichen Lebens Einzug gehalten und auch vor dem Bauwesen nicht Halt gemacht. Die Ökobilanzierung stellt heute das gängige Instrument dar, um Untersuchungen zur Nachhaltigkeit eines Produkts durchzuführen. Hierzu existieren verschiedene Computerprogramme, mit denen sich mittels einer ganzheitlichen Bilanzierung Ökobilanzen erstellen lassen. Die Vielzahl der eingehenden Daten und die verschiedenen betrachteten Kriterien erzeugen dabei jedoch eine hohe Komplexität. Wird beispielsweise während der Planungsphase eines Gebäudes festgestellt, dass für ein bestimmtes Kriterium Verbesserungsbedarf besteht, so ist es meist nur unter hohem Zeitaufwand möglich, Optimierungspotentiale in der Baustoffzusammenstellung zu erkennen, da die Wahl eines anderen Baustoffs mit besseren Werten in dem einen Kriterium im Gegenzug oftmals zu schlechteren Werten in anderen Kriterien führt. Ziel dieser Arbeit war deshalb die Entwicklung eines Optimierungsalgorithmus, der eine optimierte Bauteilzusammenstellung für ein zu erstellendes Gebäude liefert. Dieser Algorithmus sollte in ein Computerprogramm implementiert werden und aus einem Bauteilkatalog automatisch nach den Vorgaben des Users die bestmögliche Bauteilzusammenstellung liefern. Zusätzlich sollte es mittels einer Analysefunktion möglich sein, auf einen Blick zu erkennen, welche in einem Gebäude verbauten Bauteile oder Baustoffe für die verschiedenen betrachteten Kriterien den größten Anteil zu der Ökobilanz der Gebäudestruktur beitragen.

In Kapitel 5 werden die gängigen Zertifizierungsverfahren und die betrachteten Ökokriterien kurz vorgestellt. Diese unterschiedlichen Ökokriterien sind nicht direkt miteinander vergleichbar und können deshalb nicht einfach zu einer Gesamtsumme aufaddiert werden. Zwar existieren verschiedene Ansätze zur Aggregation der verschiedenen Ökokriterien, ein rein objektiver Ansatz ist jedoch bis heute noch nicht entwickelt worden. Diese Ansätze und deren Probleme werden in Kapitel 6 näher erläutert.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist das Computerprogramm „ÖkoBOA“. Die Funktionsweise dieses Programms wird in Kapitel 7 vorgestellt. Hierzu werden zuerst die zum Verständnis notwendigen Begriffe definiert und erläutert. Die 16 Programmodule, die HTML-, PHP- und SQL-Code enthalten, werden vorgestellt und ihre Arbeitsweise erklärt. Auch die dem Programm zugrunde liegende relationale Datenbank wird vorgestellt und alle enthaltenen 23 SQL-Tabellen mit ihren Attributen und Verknüpfungen erläutert.

Kapitel 8 liefert verschiedene Beispielrechnungen, die an einem Referenzgebäude durchgeführt wurden. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass der Optimierungsalgorithmus funktioniert und gute Ergebnisse liefert. So weist eine optimierte „Variante A S100“ (gleiche Gewichtung aller Ökokriterien) in allen Kriterien bessere Werte auf, als eine zufällig zusammengestellte „Variante I S100“. Die Emissionen reduzieren sich in diesem Fall zwischen 70% (Versauerungspotential) und 33,2% (Treibhauspotential). Die Energieaufwände reduzieren sich zwischen 42,6% (erneuerbare Primärenergie) und 27,5% (Primärenergie gesamt). Im Durchschnitt stellt dies eine Verringerung von 42,26% pro Kriterium dar. Es konnte auch gezeigt werden, dass eine reine Optimierung hinsichtlich eines einzelnen Kriteriums nicht unbedingt sinnvoll ist, wie durch einen Vergleich der Varianten „Variante A S100“ (gleiche Gewichtung aller Ökokriterien) und „Variante GWP S100“ (reine Optimierung hinsichtlich des Treibhauspotentials) deutlich gezeigt wird: Hier führt eine Verringerung des Treibhauspotentials um 5,2% zu einem Anstieg des Bedarfs an erneuerbarer Primärenergie um 230,6%.

Mittels der Analysefunktion konnten außerdem die einzelnen Anteile der verschiedenen Bauteile und darin enthaltener Baustoffe an der Gebäudeökobilanz ermittelt werden. Hierdurch ließen sich schnell die Bauteile und Baustoffe identifizieren, die das größte Einsparpotential bieten.

ÖkoBOA dient zur Erstellung von Ökobilanzen einer Bauteil- oder Gebäudestruktur in der Entwurfs- oder Planungsphase eines Gebäudes. Durch die implementierten Analyse- und Optimierungsfunktionen lassen sich somit schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt Aussagen über den Einfluss der Baustoff- und Bauteilwahl treffen. Die Ergebnisse des Programms können dann in den weiteren Planungsprozess einfließen und den Planer bei seinen Entscheidungen über die Baustoff-/Bauteilwahl unterstützen. Nach der Festlegung auf die zu verwendenden Baustoffe/Bauteile kann dann mittels der existierenden Systeme eine ganzheitliche Bilanzierung des Gebäudes vorgenommen werden.

Momentan arbeitet ÖkoBOA mit einem im Rahmen des DAfStB/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“ (NBB) erstellten Bauteilkatalog. Für eine sinnvolle Nutzung des Programms sollte dieser Bauteilkatalog vervollständigt und erweitert werden. Eine Vervollständigung durch die Aufnahme zusätzlicher Bauteile und Baustoffe kann die Effektivität der Optimierungsfunktion steigern und die Ergebnisse verbessern. Der Bauteilkatalog sollte zudem auch regelmäßig mit neuen Baustoffen und durch optimierte Produktionsverfahren verbesserte Ökodatensätze von bereits enthaltenen Baustoffen aktualisiert werden.

Die im Bauteilkatalog enthaltenen zehn funktionellen Einheiten sollten zudem weiter differenziert werden. Sinnvoll wäre hier beispielweise die Einführung von Treppenhäusern, Aufzugschächten, Nasszellen und aussteifenden Innenwänden. Weiterhin kann auch eine Differenzierung nach Festigkeitsklassen oder Tragfähigkeit für tragende Bauteile eingeführt werden, um statische Anforderungen an bestimmte Bauteile vom Programm in die Berechnungen einbeziehen zu können.

Unter Berücksichtigung dieser Weiterentwicklungen kann ÖkoBOA in Zukunft zu einem effektiven Werkzeug im Rahmen der Ökobilanzierung werden, das dabei hilft, die globale Umweltverschmutzung zu senken.

Anhang

Literatur

- [All1995] Alles, E. et al.: Saurer Regen – Probleme für Wasser, Boden und Organismen. Landsberg (1995)
- [Alt2009] Althaus, D.: Nachhaltigkeit – Denken, Planen, Konstruieren, Bauen, Betreiben. Bauwerk Verlag (2009)
- [And2007] Andronova, N., Schlesinger, M. E., Dessai, S., Hulme, M., Li, B.: The concept of climate sensitivity: history and development (2007). In [Schl2007] S. 5-17
- [Bas2011] Bastert, H.: Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden. Mauerwerk 15 (2011), Heft 1, S. 8-12
- [Bau2009] Baumann-Lotz, C., Schneider, C.: Über eine Zertifizierung muss schon die Planung entscheiden. Deutsches Ingenieurblatt 10/2009, Fachverlag Schiel & Schön GmbH (2009), S 18-24
- [Bes2009] Beschluss des Staatssekretärsausschusses für nachhaltige Entwicklung vom 4. Mai 2009
- [Bos1998] Bosch, K.: Statistik für Nichtstatistiker. Zufall oder Wahrscheinlichkeit. Oldenbourg (1998)
- [Bra2011] Brameshuber, W., Vollpracht, A., Hannawald, J., Nebel, H.: Effiziente Sicherstellung der Umweltverträglichkeit von Beton – Teilprojekt E (2011). In [Deu2011] S. 154-225
- [Brö2002] Brönnimann, S.: Ozon in der Atmosphäre. Bern (2002)
- [Büh1981] Bühl, W. L.: Ökologische Knappheit – Gesellschaftliche und technologische Bedingungen ihrer Bewältigung. Vandenhoeck und Ruprecht, Göttingen (1981)
- [Bun1993] Deutscher Bundestag, 12. Wahlperiode: Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt – Wege zum nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen“ (1993)
- [Bun1998] Deutscher Bundestag, 13. Wahlperiode: Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“ (1998)
- [Bun2002] Deutscher Bundestag, 14. Wahlperiode: Schlussbericht der Enquete-Kommission „Globalisierung der Weltwirtschaft – Herausforderungen und Antworten“ (2002)
- [Bun2011] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS): Leitfaden Nachhaltiges Bauen (2011)
- [BUW1990] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL): Methodik für Ökobilanzen auf der Basis der Arbeitsgruppe Öko-Bilanz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 133, Bern (1990)
- [Car1713] Carlowitz, H. C.: Sylvicultura oeconomica. Anweisung zur wilden Baumzucht. Leipzig (1713)
- [Cla2001] Claus, V., Schwill, A.: Informatik – Ein Fachlexikon für Studium und Praxis. Dudenverlag (2011)
- [Cla1975] Claussen, T.: Die Reaktion der Pflanzen auf Wirkungen des photochemischen Smogs. Acta Phytomedica, Heft 3, Verlag Paul Parey (1975)
- [Deu2007] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Schlussberichte zur ersten Phase des DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“, DAfStb Heft 572, Beuth (2007)

- [Deu2011] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“. DafStb Heft 584, Beuth (2011)
- [Dre1996] Drewes, U. et al.: Einwirkungen saurer Niederschläge und Abflüsse auf den Materialzustand von Stauwänden und Untergrund. DVWK Mitteilungen, Bonn (1996)
- [DIW2010] Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung: H₂O – Wasser: Ökonomie und Management einer Schlüsselressource. Berlin (2010)
- [Ebe1995] Ebersperger, R.: Beispiele für Zurechnungsverfahren des Energieaufwands bei Entsorgung und Recycling von Produkten (1995). In [VDI1995] S. 11-31
- [Eye2000] Eyerer, P., Reinhardt, H.-W. et al.: Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden: Wege zu einer ganzheitlichen Bilanzierung, Birkhäuser (2000)
- [Feg1995] Feger, K.-H.: Natürliche und anthropogene Komponenten des Säurehaushalts von Waldböden – Beteiligte Prozesse und Konsequenzen für die Hydrosphäre (1995). In [All1995] S. 55-79
- [Fra2006] Franke, J.: Dynamische Webseiten mit PHP5.1/MySQL5. für Schnelleinsteiger. Franzis Verlag, Poing (2006)
- [Fri2008] Frischknecht, R., Steiner, R., Jungblut, N.: Ökobilanzen: Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006 – Methode für die Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen. Öbu SR 28/2008, Zürich (2008)
- [Gla1995] Glatzel, W.-D., Kaschenz, H.: Der kumulierte Energieaufwand als der Kennwert in Ökobilanzen – Bedeutung und Grenzen (1995). In [VDI1995] S. 69-78
- [Hae1866] Haeckel, E.: Generelle Morphologie der Organismen. Allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformierte Descendenz-Theorie. Berlin (1866)
- [Hag2005] Hagedorn, H.: Klimawandel im 20. und 21. Jahrhundert: Welche Rolle spielen Kohlendioxid, Wasser und Treibhausgase wirklich? Bayerische Akademie der Wissenschaften (2005)
- [Här2001] Härder, T., Rahm, E.: Datenbanksysteme – Konzepte und Techniken der Implementierung. Springer, Berlin (2001)
- [Hau2011] Hauer, B., Pierkes, R., Schäfer, S., Seidel, M., Herbst, T., Rübner, K., Meng, B.: Potentiale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau – Teilprojekt B (2011). In [Deu2011] S 8-151
- [Häu1995] Häuslein, A., Möller, A.: Möglichkeiten und Grenzen zur Berechnung des Kumulierten Energieaufwandes (1995). In [VDI1995] S. 51-67
- [Heg2010] Hegner, H.-D., Kerz, N.: Nachhaltiges Bauen in Deutschland – Bewertungssysteme des Bundes für Büro- und Verwaltungsbauten. Mauerwerk 14 (2010), Heft 4, S. 195-207
- [Heg2011] Hegger, J., Dressen, T., Will, N., Schneider, H. N., Fensterer, C., Hanenberg, N., Brunk, M. F., Bleyer, T., Zilch, K., Mühlbauer, C., Niedermeier, R., Müller, A., Haas, A., Heusler, I., Sinnesbichler, H.: Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ - Ressourcen- und energieeffiziente, adaptive Gebäudekonzepte im Geschossbau – Teilprojekt C. DafStb Heft 585, Beuth (2011)
- [Hup2000] Huppertz, A.: Entwicklung eines Kennzahlensystems zur Bestimmung des „Kumulierten Energieaufwands“ für die Herstellung von Gussteilen. Dissertation, Freiburg (2000)
- [Jon2009] Jondral, F., Wiesler, A.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und stochastische Prozesse. Grundlagen für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Teubner (2009)

- [Kem2007] Kemfert, C.: Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden. Wochenbericht DIW Berlin, Nr. 11/2007 S. 165-170 (2007)
- [Ket2009] Kettl, K.-H.: Ökologische Bewertung von integrierten Technologiesystemen (insbesondere Industrieparks) durch den Sustainable Process Index. Masterarbeit, Graz (2009)
- [Kla1992] Klapper, H.: Eutrophierung und Gewässerschutz. Jena (1992)
- [Koa2009] Wachstum – Bildung – Zusammenhalt. Koalitionsvertrag 17. Legislaturperiode zwischen CDU, CSU und FDP (2009)
- [Küm2000] Kümmel, J.: Ökobilanzierung von Baustoffen am Beispiel des Recyclings von Konstruktionsleichtbeton. Dissertation Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Uni Stuttgart (2000)
- [Lat2006] Latif, M.: Klima. Frankfurt am Main (2006)
- [Lün1999] Lünser, H.: Ökobilanzen im Brückenbau – Eine umweltbezogene, ganzheitliche Bewertung. Birkhäuser Verlag (1999)
- [Mis1972] Mises, R.: Wahrscheinlichkeit Statistik und Wahrheit. Springer (1972)
- [Nbb2010a] <http://www.nbb-forschung.de/nbb-info/index.php?modul=thesaurus> (2010)
- [Nbb2010b] <http://www.nbb-forschung.de/nbb-info/Dokumente/004/GaBi4 - Doku Anthropogener Treibhauseffekt.htm> (2010)
- [Nbb2010c] <http://www.nbb-forschung.de/nbb-info/Dokumente/003/GaBi4 - Doku Eutrophierung.htm> (2010)
- [Nbb2010d] <http://www.nbb-forschung.de/nbb-info/Dokumente/006/GaBi4 - Doku Katalytischer Ozonabbau in der Stratosphäre.htm> (2010)
- [Nbb2010e] <http://www.nbb-forschung.de/nbb-info/Dokumente/002/GaBi4 - Doku Versauerung.htm> (2010)
- [NBB2010f] <http://www.nbb-forschung.de/nbb-info/Dokumente/005/GaBi4 - Doku Sommer Smog.htm> (2010)
- [Nen2004] Nentwig, W., Bacher, S., Beierkuhnlein, C., Brandl, R., Grabherr, G.: Ökologie. Spektrum Akademischer Verlag (2004)
- [Pet2010] Petzoldt, K.: Zur Klimatologie von Stickoxiden, Ozon und Kohlenmonoxid in der Troposphäre: eine Analyse des MOZAIC-Datensatzes. RWTH Aachen, Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre, Dissertation (2010)
- [Rad2011] Radkau, J.: Die Ära der Ökologie – Eine Weltgeschichte. Verlag C.H. Beck (2011)
- [Rei2001] Reinhardt, H.-W., Brameshuber, W., Graubner, C.-A., Grübl, P., Hauer, B., Hüske, K., Kümmel, J., Litzner, H.-U., Lünser, H., Russwurm, D.: Sachstandbericht Nachhaltig Bauen mit Beton, DAfStb Heft 521, Berlin (2001)
- [Rei2011] Reinhardt, H.-W., Schwarte, J., Piehl, C.: Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ - Informationssystem „NBB-Info“ – Teilprojekt F. DAfStb Heft 587, Beuth (2011)
- [San2001] Sandermann, H.: Ozon, Entstehung, Wirkung, Risiken. Verlag Beck (2001)
- [Scha1995] Schaefer, H.: Zielvorstellung und Grundlegende Prinzipien der KEA-Richtlinie (1995). In [VDI1995] S. 1-9
- [Schi2011] Schießl, P., Gehlen, C., Zintel, M., Rank, E., Borrmann, A., Lukas, K., Budelmann, H., Empelmann, M., Heumann, G., Starck, T. W., Kessler, S.: Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ - Lebenszyklusmanagementsystem zur Nachhaltigkeitsbeurteilung - Teilprojekt D. DAfStb Heft 586, Beuth (2011)
- [Schl2007] Schlesinger, M., Kheshgi, H. S., Smith, J., Chesnaye, F. C., Reilly, J. M., Wilson, T., Kolstad, C.: Human-induced climate change. An interdisciplinary Assessment. Cambridge (2007)

- [Schm1994] Schmidt-Bleek, F.: Wieviel Umwelt braucht der Mensch – MIPS – Das Maß für ökologisches Wirtschaften. Birkhäuser (1994)
- [Schm1998] Schmidt-Bleek, F., Bringezu, S., Hinterberger, F., Liedtke, C., Spangenberg, J., Stiller, H., Welfens, M. J.: MAIA – Einführung in die Material-Intensitäts-Analyse nach dem MIPS-Konzept. Birkhäuser (1998)
- [Schö2005] Schönwiese, C.-D.: Globale und regionale Klimaänderungen im Industriezeitalter – Beobachtungsindizes und Ursachen (2005). In [Hag2005] S. 17-32
- [Schw1997] Schweikle, V.: Bodenversauerung – Ursachen, Auswirkungen, Maßnahmen Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1997)
- [Sie2010] Siehlow, M.: Innovationen in der Abwasserwirtschaft – Perspektiven für Entwicklungs- und Industrieländer (2010). In [DIW2010] S. 21-28
- [VDI1995] Kumulierter Energieaufwand. VDI Berichte 1218, VDI-Gesellschaft Energietechnik, Tagung Veitshöchheim (1995)
- [Vog2004] Vogt, C.: Informatik – Eine Einführung in Theorie und Praxis. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin (2004)
- [Wan2005] Wanner, H. et al.: 500 Jahre Klimavariabilität im europäischen Alpenraum – raumzeitliche Strukturen und dynamische Interpretationen (2005). In [Hag2005] S. 33-54
- [Wie2012] Wiens, U., Gehlen, C., Graubner, C.-A., Hegger, J., Reinhardt, H.-W., Schießl, P., et al.: Der Stadtbaustein im DAfStB/BMBF Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ – Dossier zu Nachhaltigkeitsuntersuchungen (2012). In DAfStB Schriftenreihe Heft 588

Normen

| | |
|------------------|--|
| DIN EN ISO 14001 | Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitungen zur Anwendung (2009) |
| DIN EN ISO 14040 | Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (2006) |
| DIN EN ISO 14044 | Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (2006) |
| DIN 31051 | Grundlagen der Instandhaltung (2003) |
| VDI 4600 | Kumulierter Energieaufwand (KEA) – Begriffe, Berechnungsmethoden (2012) |

Tabellen

Die folgenden Tabellen enthalten alle mittels des Computerprogramms ÖkoBOA berechneten Ergebnisse. Die Einheit von AP ist [kg SO₂-Äquivalent], von EP [kg PO₄³⁻-Äquivalent], von GWP [kg CO₂-Äquivalent], von POCP [kg C₂H₄-Äquivalent] und ODP [kg R₁₁-Äquivalent]. Die Einheit von E_{ges}, E_{ne} und E_c ist [MJ].

Variante I

Variante I S100

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|---------------------|----------|---------|---------|----------|-------------|----------|---------|----------|
| AW | AW Typ IV | 3188,94 | 286,18 | 297671 | 180,755 | 0,0159493 | 3,49E+06 | 182018 | 3,43E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 138,222 | 41,8883 | 66371,4 | 31,6294 | 0,00267089 | 1,03E+06 | 16057 | 1,01E+06 |
| IW | IW Typ I | 146,812 | 37,3649 | 59104,7 | 11,002 | 0,00290536 | 1,21E+06 | 37797,8 | 1,19E+06 |
| St | Stütze Typ Ia | 23,305 | 13,8013 | 11313,2 | 1,97185 | 0,000449179 | 137492 | 3950,83 | 127874 |
| Da | DAC Typ VII | 1639,26 | 179,545 | 279347 | 93,143 | 0,00736228 | 3,62E+06 | 62341 | 3,51E+06 |
| De | Decke Typ II-2 | 3016,48 | 380,903 | 574465 | 196,243 | 0,028913 | 6,72E+06 | 265366 | 6,50E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,4175 | 5048,73 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,5 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ III | 588,952 | 136,919 | 236232 | 57,083 | 0,00375024 | 3,10E+06 | 60918,5 | 3,01E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 638,612 | 97,4579 | 114796 | 42,916 | 0,00559789 | 1,88E+06 | 49071,8 | 1,82E+06 |
| Tü | Tür Typ III | 103,496 | 14,2666 | 15523,2 | 10,9134 | 0,000945864 | 336445 | 353187 | -21017 |
| | gesamt | 9493,727 | 1195,74 | 1659872 | 626,5346 | 0,06866754 | 2,15E+07 | 1031784 | 2,06E+07 |

Variante I S50

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|---------------------|----------|---------|---------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ IV | 1635,97 | 163,056 | 171419 | 94,3446 | 0,00847685 | 1,86E+06 | 93677,6 | 1,82E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 109,638 | 38,4744 | 53302,3 | 21,5009 | 0,0020668 | 710167 | 12971,2 | 685025 |
| IW | IW Typ I | 80,0184 | 20,5861 | 32321,6 | 6,0109 | 0,00159262 | 671836 | 20011,3 | 662788 |
| St | Stütze Typ Ia | 21,3476 | 13,3588 | 10609,3 | 1,87085 | 0,000391202 | 107222 | 3444,78 | 97662,8 |
| Da | DAC Typ VII | 845,059 | 92,7443 | 150024 | 52,1268 | 0,00391893 | 2,05E+06 | 32469,9 | 2,00E+06 |
| De | Decke Typ II-2 | 1730,8 | 267,537 | 406163 | 120,623 | 0,0199795 | 4,27E+06 | 176733 | 4,08E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,4175 | 5048,73 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,5 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ III | 378,661 | 98,5639 | 163247 | 37,0009 | 0,00375994 | 1,86E+06 | 44885,2 | 1,79E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 319,306 | 48,7289 | 57397,7 | 21,4579 | 0,00279894 | 937922 | 24535,9 | 910893 |
| Tü | Tür Typ III | 51,748 | 7,1333 | 7761,6 | 5,45667 | 0,000472934 | 168223 | 176593 | -10509 |
| | gesamt | 5182,196 | 757,6 | 1057294 | 361,2705 | 0,043581253 | 1,27E+07 | 586397,5 | 1,21E+07 |

Variante I S20

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|---------------------|---------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ IV | 861,98 | 102,507 | 110115 | 51,3646 | 0,00477886 | 1,06E+06 | 49929,8 | 1,03E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 81,0543 | 35,0604 | 40233 | 11,3724 | 0,00146272 | 386248 | 9885,35 | 361589 |
| IW | IW Typ I | 65,1694 | 17,2287 | 26980,8 | 5,24471 | 0,00115278 | 442191 | 16172 | 433588 |
| St | Stütze Typ Ia | 19,3904 | 12,9163 | 9905,27 | 1,76986 | 0,000333224 | 76952,5 | 2938,72 | 67451,7 |
| Da | DAC Typ VII | 397,62 | 43,5924 | 64920,4 | 20,5655 | 0,00172708 | 786669 | 14963,1 | 758630 |
| De | Decke Typ II-2 | 1724,11 | 266,023 | 403755 | 120,277 | 0,0197812 | 4,17E+06 | 175002 | 3,98E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,4175 | 5048,73 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,5 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ III | 252,487 | 75,5509 | 119455 | 24,9516 | 0,00376575 | 1,13E+06 | 35265,2 | 1,07E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 159,653 | 24,3645 | 28698,9 | 10,729 | 0,00139947 | 468962 | 12268 | 455447 |
| Tü | Tür Typ III | 51,748 | 7,1333 | 7761,6 | 5,45667 | 0,000472934 | 168223 | 176593 | -10509 |
| | gesamt | 3622,86 | 591,794 | 816873,7 | 252,6093 | 0,034997555 | 8,71E+06 | 494092,8 | 8,17E+06 |

Variante AP

Variante AP S100

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|---------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VII | 240,229 | 73,8533 | 146192 | 28,5525 | 0,00263889 | 1,97E+06 | 47703 | 1,92E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 138,222 | 41,8884 | 66371,4 | 31,6294 | 0,00267089 | 1,03E+06 | 16057 | 1,01E+06 |
| IW | IW Typ I | 146,812 | 37,3649 | 59104,8 | 11,002 | 0,00290536 | 1,21E+06 | 37797,7 | 1,19E+06 |
| St | Stütze Typ IIa | 10,5827 | 6,27502 | 4914,12 | 0,835478 | 0,000215995 | 76680,6 | 1960,75 | 72482 |
| Da | DAC Typ I | 297,79 | 47,3733 | 127315 | 59,7973 | 0,00317998 | 2,56E+06 | 18483,7 | 2,54E+06 |
| De | Decke Typ III-3 | 699,508 | 250,799 | 370548 | 68,7333 | 0,0147753 | 3,27E+06 | 96593,1 | 3,07E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 557,73 | 132,698 | 215039 | 53,5883 | 0,00329618 | 3,01E+06 | 58735,9 | 2,92E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 638,609 | 97,4576 | 114795 | 42,9159 | 0,00559791 | 1,88E+06 | 49071,9 | 1,82E+06 |
| Tü | Tür Typ III | 103,496 | 14,2666 | 15523,2 | 10,9133 | 0,000945868 | 336444 | 353187 | -21017,5 |
| | gesamt | 2842,627 | 709,394 | 1124851 | 308,8454 | 0,03634991 | 1,54E+07 | 680665,7 | 1,45E+07 |

Variante AP S50

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VII | 145,398 | 51,6542 | 96397,9 | 16,5917 | 0,0015363 | 1,15E+06 | 32324,8 | 1,11E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 109,638 | 38,4744 | 53302,2 | 21,5009 | 0,00206681 | 710166 | 12971,2 | 685025 |
| IW | IW Typ I | 80,0186 | 20,5861 | 32321,5 | 6,0109 | 0,00159262 | 671835 | 20011,2 | 662789 |
| St | Stütze Typ IIa | 9,22119 | 5,96721 | 4424,4 | 0,765223 | 0,000175663 | 55623,3 | 1608,71 | 51465,7 |
| Da | DAC Typ I | 197,109 | 35,87 | 86431,2 | 37,6905 | 0,00223963 | 1,60E+06 | 13340,9 | 1,58E+06 |
| De | Decke Typ III-3 | 572,322 | 202,485 | 304205 | 56,8679 | 0,0129107 | 2,54E+06 | 92346,7 | 2,37E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 347,439 | 94,3432 | 142053 | 33,5061 | 0,00330588 | 1,78E+06 | 42702,5 | 1,71E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 319,306 | 48,7289 | 57397,7 | 21,458 | 0,00279894 | 937921 | 24535,9 | 910894 |
| Tü | Tür Typ III | 51,748 | 7,1333 | 7761,62 | 5,45668 | 0,000472936 | 168223 | 176593 | -10508,7 |
| | gesamt | 1841,848 | 512,66 | 789343,2 | 200,7259 | 0,027223016 | 9,64E+06 | 417510,5 | 9,09E+06 |

Variante AP S20

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VII | 100,464 | 41,5673 | 73321,9 | 10,8366 | 0,00102324 | 757512 | 25058,8 | 722650 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 81,0545 | 35,0605 | 40232,9 | 11,3724 | 0,00146273 | 386248 | 9885,37 | 361589 |
| IW | IW Typ I | 65,1695 | 17,2287 | 26980,7 | 5,2447 | 0,00115277 | 442191 | 16172 | 433588 |
| St | Stütze Typ IIa | 7,85958 | 5,65934 | 3934,67 | 0,694968 | 0,000135331 | 34566,3 | 1256,67 | 30449,3 |
| Da | DAC Typ I | 96,4291 | 24,3669 | 45548,1 | 15,5839 | 0,00129929 | 636494 | 8198,19 | 621186 |
| De | Decke Typ III-3 | 565,627 | 200,971 | 301797 | 56,5225 | 0,0127124 | 2,44E+06 | 90615,8 | 2,26E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 221,264 | 71,3302 | 98261,8 | 21,4568 | 0,0033117 | 1,04E+06 | 33082,5 | 979215 |
| Fe | Fenster Typ I | 159,653 | 24,3645 | 28698,8 | 10,729 | 0,00139947 | 468961 | 12267,9 | 455446 |
| Tü | Tür Typ III | 51,748 | 7,1333 | 7761,62 | 5,45668 | 0,000472936 | 168223 | 176593 | -10508,7 |
| | gesamt | 1358,917 | 435,099 | 631586,2 | 138,7755 | 0,023093404 | 6,40E+06 | 374205,9 | 5,88E+06 |

Variante EP**Variante EP S100**

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|-------------------|----------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| AW | AW Typ I | 384,487 | 66,0263 | 125257 | 41,1632 | 0,00679832 | 1,33E+06 | 245364 | 1,30E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 138,222 | 41,8884 | 66371,4 | 31,6294 | 0,00267089 | 1,03E+06 | 16057 | 1,01E+06 |
| IW | IW Typ I | 146,812 | 37,3649 | 59104,8 | 11,002 | 0,00290536 | 1,21E+06 | 37797,7 | 1,19E+06 |
| St | Stütze Typ IIa | 10,5827 | 6,27502 | 4914,12 | 0,835478 | 0,000215995 | 76680,6 | 1960,75 | 72482 |
| Da | DAC Typ I | 297,79 | 47,3733 | 127315 | 59,7973 | 0,00317998 | 2,56E+06 | 18483,7 | 2,54E+06 |
| De | Decke Typ II-3 | 722,491 | 237,306 | 421036 | 69,662 | 0,0174655 | 4,79E+06 | 120477 | 4,59E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 557,73 | 132,698 | 215039 | 53,5883 | 0,00329618 | 3,01E+06 | 58735,9 | 2,92E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 638,609 | 97,4576 | 114795 | 42,9159 | 0,00559791 | 1,88E+06 | 49071,9 | 1,82E+06 |
| Tü | Tür Typ I | 111,1 | 11,7556 | -960,21 | 10,8011 | 0,00198108 | 603371 | 264985 | 337377 |
| | gesamt | 3017,472 | 685,563 | 1137921 | 322,2726 | 0,044234752 | 1,65E+07 | 814008,6 | 1,58E+07 |

Variante EP S50

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|-------------------|----------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| AW | AW Typ I | 233,752 | 52,9795 | 85212,7 | 24,5485 | 0,00390136 | 781711 | 125350 | 755489 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 109,638 | 38,4744 | 53302,2 | 21,5009 | 0,00206681 | 710166 | 12971,2 | 685025 |
| IW | IW Typ I | 80,0186 | 20,5861 | 32321,5 | 6,0109 | 0,00159262 | 671835 | 20011,2 | 662789 |
| St | Stütze Typ IIa | 9,22119 | 5,96721 | 4424,4 | 0,765223 | 0,000175663 | 55623,3 | 1608,71 | 51465,7 |
| Da | DAC Typ I | 197,109 | 35,87 | 86431,2 | 37,6905 | 0,00223963 | 1,60E+06 | 13340,9 | 1,58E+06 |
| De | Decke Typ II-3 | 583,814 | 195,739 | 329449 | 57,3323 | 0,0142558 | 3,31E+06 | 104289 | 3,13E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 347,439 | 94,3432 | 142053 | 33,5061 | 0,00330588 | 1,78E+06 | 42702,5 | 1,71E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 319,306 | 48,7289 | 57397,7 | 21,458 | 0,00279894 | 937921 | 24535,9 | 910894 |
| Tü | Tür Typ I | 55,5499 | 5,87781 | -480,105 | 5,40057 | 0,000990539 | 301685 | 132493 | 168688 |
| | gesamt | 1945,496 | 505,984 | 795160,3 | 209,0909 | 0,031450779 | 1,02E+07 | 478378 | 9,68E+06 |

Variante EP S20

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ I | 158,769 | 46,6309 | 65452 | 16,2752 | 0,00246342 | 510836 | 65408,8 | 485527 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 81,0545 | 35,0605 | 40232,9 | 11,3724 | 0,00146273 | 386248 | 9885,37 | 361589 |
| IW | IW Typ I | 65,1695 | 17,2287 | 26980,7 | 5,2447 | 0,00115277 | 442191 | 16172 | 433588 |
| St | Stütze Typ IIa | 7,85958 | 5,65934 | 3934,67 | 0,694968 | 0,000135331 | 34566,3 | 1256,67 | 30449,3 |
| Da | DAC Typ I | 96,4291 | 24,3669 | 45548,1 | 15,5839 | 0,00129929 | 636494 | 8198,19 | 621186 |
| De | Decke Typ II-3 | 577,119 | 194,226 | 327041 | 56,9867 | 0,0140575 | 3,20E+06 | 102558 | 3,02E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 221,264 | 71,3302 | 98261,8 | 21,4568 | 0,0033117 | 1,04E+06 | 33082,5 | 979215 |
| Fe | Fenster Typ I | 159,653 | 24,3645 | 28698,8 | 10,729 | 0,00139947 | 468961 | 12267,9 | 455446 |
| Tü | Tür Typ I | 55,5499 | 5,87781 | -480,105 | 5,40057 | 0,000990539 | 301685 | 132493 | 168688 |
| | gesamt | 1432,516 | 432,162 | 640718,6 | 144,6222 | 0,026396287 | 7,05E+06 | 382398,1 | 6,58E+06 |

Variante GWP

Variante GWP S100

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|---------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ I | 384,487 | 66,0263 | 125257 | 41,1632 | 0,00679832 | 1,33E+06 | 245364 | 1,30E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 138,222 | 41,8884 | 66371,4 | 31,6294 | 0,00267089 | 1,03E+06 | 16057 | 1,01E+06 |
| IW | IW Typ I | 146,812 | 37,3649 | 59104,8 | 11,002 | 0,00290536 | 1,21E+06 | 37797,7 | 1,19E+06 |
| St | Stütze Typ IIa | 10,5827 | 6,27502 | 4914,12 | 0,835478 | 0,000215995 | 76680,6 | 1960,75 | 72482 |
| Da | DAC Typ I | 297,79 | 47,3733 | 127315 | 59,7973 | 0,00317998 | 2,56E+06 | 18483,7 | 2,54E+06 |
| De | Decke Typ III-4 | 808,943 | 264,018 | 334325 | 92,4609 | 0,0165752 | 3,27E+06 | 1,27E+06 | 3,08E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 557,73 | 132,698 | 215039 | 53,5883 | 0,00329618 | 3,01E+06 | 58735,9 | 2,92E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 638,609 | 97,4576 | 114795 | 42,9159 | 0,00559791 | 1,88E+06 | 49071,9 | 1,82E+06 |
| Tü | Tür Typ I | 111,1 | 11,7556 | -960,21 | 10,8011 | 0,00198108 | 603371 | 264985 | 337377 |
| | gesamt | 3103,924 | 712,275 | 1051210 | 345,0715 | 0,043344452 | 1,50E+07 | 1958842 | 1,43E+07 |

Variante GWP S50

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|----------|----------|-------------|----------|---------|----------|
| AW | AW Typ I | 233,752 | 52,9795 | 85212,7 | 24,5485 | 0,00390136 | 781711 | 125350 | 755489 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 109,638 | 38,4744 | 53302,2 | 21,5009 | 0,00206681 | 710166 | 12971,2 | 685025 |
| IW | IW Typ I | 80,0186 | 20,5861 | 32321,5 | 6,0109 | 0,00159262 | 671835 | 20011,2 | 662789 |
| St | Stütze Typ IIa | 9,22119 | 5,96721 | 4424,4 | 0,765223 | 0,000175663 | 55623,3 | 1608,71 | 51465,7 |
| Da | DAC Typ I | 197,109 | 35,87 | 86431,2 | 37,6905 | 0,00223963 | 1,60E+06 | 13340,9 | 1,58E+06 |
| De | Decke Typ III-4 | 627,04 | 209,094 | 286093 | 68,7317 | 0,0138106 | 2,54E+06 | 676705 | 2,37E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 347,439 | 94,3432 | 142053 | 33,5061 | 0,00330588 | 1,78E+06 | 42702,5 | 1,71E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 319,306 | 48,7289 | 57397,7 | 21,458 | 0,00279894 | 937921 | 24535,9 | 910894 |
| Tü | Tür Typ I | 55,5499 | 5,87781 | -480,105 | 5,40057 | 0,000990539 | 301685 | 132493 | 168688 |
| | gesamt | 1988,722 | 519,339 | 751804,3 | 220,4903 | 0,031005579 | 9,41E+06 | 1050794 | 8,92E+06 |

Variante GWP S20

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|---------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ I | 158,769 | 46,6309 | 65452 | 16,2752 | 0,00246342 | 510836 | 65408,8 | 485527 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 81,0545 | 35,0605 | 40232,9 | 11,3724 | 0,00146273 | 386248 | 9885,37 | 361589 |
| IW | IW Typ I | 65,1695 | 17,2287 | 26980,7 | 5,2447 | 0,00115277 | 442191 | 16172 | 433588 |
| St | Stütze Typ IIa | 7,85958 | 5,65934 | 3934,67 | 0,694968 | 0,000135331 | 34566,3 | 1256,67 | 30449,3 |
| Da | DAC Typ I | 96,4291 | 24,3669 | 45548,1 | 15,5839 | 0,00129929 | 636494 | 8198,19 | 621186 |
| De | Decke Typ III-4 | 620,343 | 207,58 | 283685 | 68,3863 | 0,0136123 | 2,44E+06 | 674973 | 2,27E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 221,264 | 71,3302 | 98261,8 | 21,4568 | 0,0033117 | 1,04E+06 | 33082,5 | 979215 |
| Fe | Fenster Typ I | 159,653 | 24,3645 | 28698,8 | 10,729 | 0,00139947 | 468961 | 12267,9 | 455446 |
| Tü | Tür Typ I | 55,5499 | 5,87781 | -480,105 | 5,40057 | 0,000990539 | 301685 | 132493 | 168688 |
| | gesamt | 1475,74 | 445,516 | 597362,6 | 156,0218 | 0,025951087 | 6,29E+06 | 954813,1 | 5,83E+06 |

Variante POCP

Variante POCP S100

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|---------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VII | 240,229 | 73,8533 | 146192 | 28,5525 | 0,00263889 | 1,97E+06 | 47703 | 1,92E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 138,222 | 41,8884 | 66371,4 | 31,6294 | 0,00267089 | 1,03E+06 | 16057 | 1,01E+06 |
| IW | IW Typ I | 146,812 | 37,3649 | 59104,8 | 11,002 | 0,00290536 | 1,21E+06 | 37797,7 | 1,19E+06 |
| St | Stütze Typ IIa | 10,5827 | 6,27502 | 4914,12 | 0,835478 | 0,000215995 | 76680,6 | 1960,75 | 72482 |
| Da | DAC Typ I | 297,79 | 47,3733 | 127315 | 59,7973 | 0,00317998 | 2,56E+06 | 18483,7 | 2,54E+06 |
| De | Decke Typ III-3 | 699,508 | 250,799 | 370548 | 68,7333 | 0,0147753 | 3,27E+06 | 96593,1 | 3,07E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 557,73 | 132,698 | 215039 | 53,5883 | 0,00329618 | 3,01E+06 | 58735,9 | 2,92E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 638,609 | 97,4576 | 114795 | 42,9159 | 0,00559791 | 1,88E+06 | 49071,9 | 1,82E+06 |
| Tü | Tür Typ I | 111,1 | 11,7556 | -960,21 | 10,8011 | 0,00198108 | 603371 | 264985 | 337377 |
| | gesamt | 2850,231 | 706,883 | 1108368 | 308,7332 | 0,037385122 | 1,56E+07 | 592463,7 | 1,49E+07 |

Variante POCP S50

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|---------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VII | 145,398 | 51,6542 | 96397,9 | 16,5917 | 0,0015363 | 1,15E+06 | 32324,8 | 1,11E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 109,638 | 38,4744 | 53302,2 | 21,5009 | 0,00206681 | 710166 | 12971,2 | 685025 |
| IW | IW Typ I | 80,0186 | 20,5861 | 32321,5 | 6,0109 | 0,00159262 | 671835 | 20011,2 | 662789 |
| St | Stütze Typ IIa | 9,22119 | 5,96721 | 4424,4 | 0,765223 | 0,000175663 | 55623,3 | 1608,71 | 51465,7 |
| Da | DAC Typ I | 197,109 | 35,87 | 86431,2 | 37,6905 | 0,00223963 | 1,60E+06 | 13340,9 | 1,58E+06 |
| De | Decke Typ III-3 | 572,322 | 202,485 | 304205 | 56,8679 | 0,0129107 | 2,54E+06 | 92346,7 | 2,37E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 347,439 | 94,3432 | 142053 | 33,5061 | 0,00330588 | 1,78E+06 | 42702,5 | 1,71E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 319,306 | 48,7289 | 57397,7 | 21,458 | 0,00279894 | 937921 | 24535,9 | 910894 |
| Tü | Tür Typ I | 55,5499 | 5,87781 | -480,105 | 5,40057 | 0,000990539 | 301685 | 132493 | 168688 |
| | gesamt | 1845,65 | 511,404 | 781101,5 | 200,6697 | 0,027740619 | 9,78E+06 | 373410,5 | 9,27E+06 |

Variante POCP S20

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VII | 100,464 | 41,5673 | 73321,9 | 10,8366 | 0,00102324 | 757512 | 25058,8 | 722650 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 81,0545 | 35,0605 | 40232,9 | 11,3724 | 0,00146273 | 386248 | 9885,37 | 361589 |
| IW | IW Typ I | 65,1695 | 17,2287 | 26980,7 | 5,2447 | 0,00115277 | 442191 | 16172 | 433588 |
| St | Stütze Typ IIa | 7,85958 | 5,65934 | 3934,67 | 0,694968 | 0,000135331 | 34566,3 | 1256,67 | 30449,3 |
| Da | DAC Typ I | 96,4291 | 24,3669 | 45548,1 | 15,5839 | 0,00129929 | 636494 | 8198,19 | 621186 |
| De | Decke Typ III-3 | 565,627 | 200,971 | 301797 | 56,5225 | 0,0127124 | 2,44E+06 | 90615,8 | 2,26E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 221,264 | 71,3302 | 98261,8 | 21,4568 | 0,0033117 | 1,04E+06 | 33082,5 | 979215 |
| Fe | Fenster Typ I | 159,653 | 24,3645 | 28698,8 | 10,729 | 0,00139947 | 468961 | 12267,9 | 455446 |
| Tü | Tür Typ I | 55,5499 | 5,87781 | -480,105 | 5,40057 | 0,000990539 | 301685 | 132493 | 168688 |
| | gesamt | 1362,719 | 433,844 | 623344,5 | 138,7194 | 0,023611007 | 6,53E+06 | 330105,9 | 6,06E+06 |

Variante ODP

Variante ODP S100

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|---------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VII | 240,229 | 73,8533 | 146192 | 28,5525 | 0,00263889 | 1,97E+06 | 47703 | 1,92E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 138,222 | 41,8884 | 66371,4 | 31,6294 | 0,00267089 | 1,03E+06 | 16057 | 1,01E+06 |
| IW | IW Typ III | 172,206 | 43,6046 | 77707,5 | 12,7996 | 0,00287134 | 1,13E+06 | 33279,8 | 1,10E+06 |
| St | Stütze Typ IIa | 10,5827 | 6,27502 | 4914,12 | 0,835478 | 0,000215995 | 76680,6 | 1960,75 | 72482 |
| Da | DAC Typ I | 297,79 | 47,3733 | 127315 | 59,7973 | 0,00317998 | 2,56E+06 | 18483,7 | 2,54E+06 |
| De | Decke Typ VII-bw | 2553,01 | 565,3 | 970747 | 244,214 | 0,00812397 | 1,40E+07 | 218171 | 1,37E+07 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 557,73 | 132,698 | 215039 | 53,5883 | 0,00329618 | 3,01E+06 | 58735,9 | 2,92E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 638,609 | 97,4576 | 114795 | 42,9159 | 0,00559791 | 1,88E+06 | 49071,9 | 1,82E+06 |
| Tü | Tür Typ III | 103,496 | 14,2666 | 15523,2 | 10,9133 | 0,000945868 | 336444 | 353187 | -21017,5 |
| | gesamt | 4721,523 | 1030,13 | 1743653 | 486,1237 | 0,02966456 | 2,60E+07 | 797725,7 | 2,51E+07 |

Variante ODP S50

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|---------|---------|---------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VII | 145,398 | 51,6542 | 96397,9 | 16,5917 | 0,0015363 | 1,15E+06 | 32324,8 | 1,11E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 109,638 | 38,4744 | 53302,2 | 21,5009 | 0,00206681 | 710166 | 12971,2 | 685025 |
| IW | IW Typ III | 87,5532 | 22,3344 | 39570,9 | 6,55899 | 0,00145066 | 571634 | 16716,2 | 557785 |
| St | Stütze Typ IIa | 9,22119 | 5,96721 | 4424,4 | 0,765223 | 0,000175663 | 55623,3 | 1608,71 | 51465,7 |
| Da | DAC Typ I | 197,109 | 35,87 | 86431,2 | 37,6905 | 0,00223963 | 1,60E+06 | 13340,9 | 1,58E+06 |
| De | Decke Typ VII-bw | 1494,86 | 372,011 | 603409 | 143,459 | 0,00797413 | 7,75E+06 | 136274 | 7,53E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 347,439 | 94,3432 | 142053 | 33,5061 | 0,00330588 | 1,78E+06 | 42702,5 | 1,71E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 319,306 | 48,7289 | 57397,7 | 21,458 | 0,00279894 | 937921 | 24535,9 | 910894 |
| Tü | Tür Typ III | 51,748 | 7,1333 | 7761,62 | 5,45668 | 0,000472936 | 168223 | 176593 | -10508,7 |
| | gesamt | 2771,92 | 683,934 | 1095797 | 287,865 | 0,022144486 | 1,48E+07 | 458142,8 | 1,42E+07 |

Variante ODP S20

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VII | 100,464 | 41,5673 | 73321,9 | 10,8366 | 0,00102324 | 757512 | 25058,8 | 722650 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 81,0545 | 35,0605 | 40232,9 | 11,3724 | 0,00146273 | 386248 | 9885,37 | 361589 |
| IW | IW Typ III | 87,5532 | 22,3344 | 39570,9 | 6,55899 | 0,00145066 | 571634 | 16716,2 | 557785 |
| St | Stütze Typ IIa | 7,85958 | 5,65934 | 3934,67 | 0,694968 | 0,000135331 | 34566,3 | 1256,67 | 30449,3 |
| Da | DAC Typ I | 96,4291 | 24,3669 | 45548,1 | 15,5839 | 0,00129929 | 636494 | 8198,19 | 621186 |
| De | Decke Typ VII-bw | 857,292 | 255,432 | 382045 | 82,8669 | 0,00780491 | 3,96E+06 | 86442,6 | 3,79E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 221,264 | 71,3302 | 98261,8 | 21,4568 | 0,0033117 | 1,04E+06 | 33082,5 | 979215 |
| Fe | Fenster Typ I | 159,653 | 24,3645 | 28698,8 | 10,729 | 0,00139947 | 468961 | 12267,9 | 455446 |
| Tü | Tür Typ III | 51,748 | 7,1333 | 7761,62 | 5,45668 | 0,000472936 | 168223 | 176593 | -10508,7 |
| | gesamt | 1672,965 | 494,666 | 724424,4 | 166,4342 | 0,018483804 | 8,05E+06 | 370576,9 | 7,53E+06 |

Variante E_{ges}**Variante E_{ges} S100**

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|-------------------|----------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| AW | AW Typ VI | 411,935 | 104,588 | 148944 | 32,5778 | 0,00465633 | 1,28E+06 | 27217,6 | 1,22E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 138,222 | 41,8884 | 66371,4 | 31,6294 | 0,00267089 | 1,03E+06 | 16057 | 1,01E+06 |
| IW | IW Typ III | 172,206 | 43,6046 | 77707,5 | 12,7996 | 0,00287134 | 1,13E+06 | 33279,8 | 1,10E+06 |
| St | Stütze Typ IIa | 10,5827 | 6,27502 | 4914,12 | 0,835478 | 0,000215995 | 76680,6 | 1960,75 | 72482 |
| Da | DAC Typ I | 297,79 | 47,3733 | 127315 | 59,7973 | 0,00317998 | 2,56E+06 | 18483,7 | 2,54E+06 |
| De | Decke Typ III-3 | 699,508 | 250,799 | 370548 | 68,7333 | 0,0147753 | 3,27E+06 | 96593,1 | 3,07E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 557,73 | 132,698 | 215039 | 53,5883 | 0,00329618 | 3,01E+06 | 58735,9 | 2,92E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 638,609 | 97,4576 | 114795 | 42,9159 | 0,00559791 | 1,88E+06 | 49071,9 | 1,82E+06 |
| Tü | Tür Typ III | 103,496 | 14,2666 | 15523,2 | 10,9133 | 0,000945868 | 336444 | 353187 | -21017,5 |
| | gesamt | 3039,727 | 746,368 | 1146206 | 314,6683 | 0,03833333 | 1,46E+07 | 655662,4 | 1,38E+07 |

Variante E_{ges} S50

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|-------------------|----------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| AW | AW Typ VI | 273,755 | 78,786 | 109049 | 22,8133 | 0,00322662 | 859111 | 17429,4 | 815602 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 109,638 | 38,4744 | 53302,2 | 21,5009 | 0,00206681 | 710166 | 12971,2 | 685025 |
| IW | IW Typ III | 87,5532 | 22,3344 | 39570,9 | 6,55899 | 0,00145066 | 571634 | 16716,2 | 557785 |
| St | Stütze Typ IIa | 9,22119 | 5,96721 | 4424,4 | 0,765223 | 0,000175663 | 55623,3 | 1608,71 | 51465,7 |
| Da | DAC Typ I | 197,109 | 35,87 | 86431,2 | 37,6905 | 0,00223963 | 1,60E+06 | 13340,9 | 1,58E+06 |
| De | Decke Typ III-3 | 572,322 | 202,485 | 304205 | 56,8679 | 0,0129107 | 2,54E+06 | 92346,7 | 2,37E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 347,439 | 94,3432 | 142053 | 33,5061 | 0,00330588 | 1,78E+06 | 42702,5 | 1,71E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 319,306 | 48,7289 | 57397,7 | 21,458 | 0,00279894 | 937921 | 24535,9 | 910894 |
| Tü | Tür Typ III | 51,748 | 7,1333 | 7761,62 | 5,45668 | 0,000472936 | 168223 | 176593 | -10508,7 |
| | gesamt | 1977,739 | 541,54 | 809243,7 | 207,4955 | 0,028771376 | 9,25E+06 | 399320,1 | 8,69E+06 |

Variante E_{ges} S20

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VI | 178,386 | 59,3593 | 77109,1 | 15,3737 | 0,00211551 | 546088 | 11382,6 | 512303 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 81,0545 | 35,0605 | 40232,9 | 11,3724 | 0,00146273 | 386248 | 9885,37 | 361589 |
| IW | IW Typ III | 87,5532 | 22,3344 | 39570,9 | 6,55899 | 0,00145066 | 571634 | 16716,2 | 557785 |
| St | Stütze Typ IIa | 7,85958 | 5,65934 | 3934,67 | 0,694968 | 0,000135331 | 34566,3 | 1256,67 | 30449,3 |
| Da | DAC Typ I | 96,4291 | 24,3669 | 45548,1 | 15,5839 | 0,00129929 | 636494 | 8198,19 | 621186 |
| De | Decke Typ III-3 | 565,627 | 200,971 | 301797 | 56,5225 | 0,0127124 | 2,44E+06 | 90615,8 | 2,26E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 221,264 | 71,3302 | 98261,8 | 21,4568 | 0,0033117 | 1,04E+06 | 33082,5 | 979215 |
| Fe | Fenster Typ I | 159,653 | 24,3645 | 28698,8 | 10,729 | 0,00139947 | 468961 | 12267,9 | 455446 |
| Tü | Tür Typ III | 51,748 | 7,1333 | 7761,62 | 5,45668 | 0,000472936 | 168223 | 176593 | -10508,7 |
| | gesamt | 1459,222 | 457,997 | 647963,6 | 144,6269 | 0,024483564 | 6,32E+06 | 361073,9 | 5,80E+06 |

Variante E_e

Variante E_e S100

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|---------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VI | 411,935 | 104,588 | 148944 | 32,5778 | 0,00465633 | 1,28E+06 | 27217,6 | 1,22E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 138,222 | 41,8884 | 66371,4 | 31,6294 | 0,00267089 | 1,03E+06 | 16057 | 1,01E+06 |
| IW | IW Typ STB1 | 444,975 | 217,235 | 245925 | 39,9993 | 0,00579404 | 1,95E+06 | 16585,8 | 1,84E+06 |
| St | Stütze Typ IIa | 10,5827 | 6,27502 | 4914,12 | 0,835478 | 0,000215995 | 76680,6 | 1960,75 | 72482 |
| Da | DAC Typ I | 297,79 | 47,3733 | 127315 | 59,7973 | 0,00317998 | 2,56E+06 | 18483,7 | 2,54E+06 |
| De | Decke Typ III-3 | 699,508 | 250,799 | 370548 | 68,7333 | 0,0147753 | 3,27E+06 | 96593,1 | 3,07E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 557,73 | 132,698 | 215039 | 53,5883 | 0,00329618 | 3,01E+06 | 58735,9 | 2,92E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 638,609 | 97,4576 | 114795 | 42,9159 | 0,00559791 | 1,88E+06 | 49071,9 | 1,82E+06 |
| Tü | Tür Typ II | 221,966 | 25,3792 | 39937,6 | 13,5386 | 0,00304687 | 701820 | 38136,3 | 662331 |
| | gesamt | 3430,966 | 931,111 | 1338838 | 344,4933 | 0,043357032 | 1,58E+07 | 323917,7 | 1,52E+07 |

Variante E_e S50

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|---------|---------|---------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VI | 273,755 | 78,786 | 109049 | 22,8133 | 0,00322662 | 859111 | 17429,4 | 815602 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 109,638 | 38,4744 | 53302,2 | 21,5009 | 0,00206681 | 710166 | 12971,2 | 685025 |
| IW | IW Typ STB1 | 402,469 | 201,273 | 221779 | 36,7854 | 0,0045951 | 1,47E+06 | 7991,56 | 1,37E+06 |
| St | Stütze Typ IIa | 9,22119 | 5,96721 | 4424,4 | 0,765223 | 0,000175663 | 55623,3 | 1608,71 | 51465,7 |
| Da | DAC Typ I | 197,109 | 35,87 | 86431,2 | 37,6905 | 0,00223963 | 1,60E+06 | 13340,9 | 1,58E+06 |
| De | Decke Typ III-3 | 572,322 | 202,485 | 304205 | 56,8679 | 0,0129107 | 2,54E+06 | 92346,7 | 2,37E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 347,439 | 94,3432 | 142053 | 33,5061 | 0,00330588 | 1,78E+06 | 42702,5 | 1,71E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 319,306 | 48,7289 | 57397,7 | 21,458 | 0,00279894 | 937921 | 24535,9 | 910894 |
| Tü | Tür Typ II | 110,983 | 12,6896 | 19968,8 | 6,7693 | 0,00152344 | 350911 | 19068,1 | 331166 |
| | gesamt | 2351,89 | 726,035 | 1003659 | 239,0346 | 0,03296632 | 1,03E+07 | 233070,6 | 9,85E+06 |

Variante E_e S20

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VI | 178,386 | 59,3593 | 77109,1 | 15,3737 | 0,00211551 | 546088 | 11382,6 | 512303 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 81,0545 | 35,0605 | 40232,9 | 11,3724 | 0,00146273 | 386248 | 9885,37 | 361589 |
| IW | IW Typ STB1 | 387,62 | 197,916 | 216438 | 36,0194 | 0,00415524 | 1,24E+06 | 4152,34 | 1,14E+06 |
| St | Stütze Typ IIa | 7,85958 | 5,65934 | 3934,67 | 0,694968 | 0,000135331 | 34566,3 | 1256,67 | 30449,3 |
| Da | DAC Typ I | 96,4291 | 24,3669 | 45548,1 | 15,5839 | 0,00129929 | 636494 | 8198,19 | 621186 |
| De | Decke Typ III-3 | 565,627 | 200,971 | 301797 | 56,5225 | 0,0127124 | 2,44E+06 | 90615,8 | 2,26E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 221,264 | 71,3302 | 98261,8 | 21,4568 | 0,0033117 | 1,04E+06 | 33082,5 | 979215 |
| Fe | Fenster Typ I | 159,653 | 24,3645 | 28698,8 | 10,729 | 0,00139947 | 468961 | 12267,9 | 455446 |
| Tü | Tür Typ II | 110,983 | 12,6896 | 19968,8 | 6,7693 | 0,00152344 | 350911 | 19068,1 | 331166 |
| | gesamt | 1818,524 | 639,135 | 837037,9 | 175,3999 | 0,028238648 | 7,17E+06 | 190985,1 | 6,72E+06 |

Variante E_{ne}**Variante E_{ne} S100**

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|-------------------|----------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| AW | AW Typ VI | 411,935 | 104,588 | 148944 | 32,5778 | 0,00465633 | 1,28E+06 | 27217,6 | 1,22E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 138,222 | 41,8884 | 66371,4 | 31,6294 | 0,00267089 | 1,03E+06 | 16057 | 1,01E+06 |
| IW | IW Typ III | 172,206 | 43,6046 | 77707,5 | 12,7996 | 0,00287134 | 1,13E+06 | 33279,8 | 1,10E+06 |
| St | Stütze Typ IIa | 10,5827 | 6,27502 | 4914,12 | 0,835478 | 0,000215995 | 76680,6 | 1960,75 | 72482 |
| Da | DAC Typ I | 297,79 | 47,3733 | 127315 | 59,7973 | 0,00317998 | 2,56E+06 | 18483,7 | 2,54E+06 |
| De | Decke Typ III-3 | 699,508 | 250,799 | 370548 | 68,7333 | 0,0147753 | 3,27E+06 | 96593,1 | 3,07E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 557,73 | 132,698 | 215039 | 53,5883 | 0,00329618 | 3,01E+06 | 58735,9 | 2,92E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 638,609 | 97,4576 | 114795 | 42,9159 | 0,00559791 | 1,88E+06 | 49071,9 | 1,82E+06 |
| Tü | Tür Typ III | 103,496 | 14,2666 | 15523,2 | 10,9133 | 0,000945868 | 336444 | 353187 | -21017,5 |
| | gesamt | 3039,727 | 746,368 | 1146206 | 314,6683 | 0,03833333 | 1,46E+07 | 655662,4 | 1,38E+07 |

Variante E_{ne} S50

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|-------------------|----------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|
| AW | AW Typ VI | 273,755 | 78,786 | 109049 | 22,8133 | 0,00322662 | 859111 | 17429,4 | 815602 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 109,638 | 38,4744 | 53302,2 | 21,5009 | 0,00206681 | 710166 | 12971,2 | 685025 |
| IW | IW Typ III | 87,5532 | 22,3344 | 39570,9 | 6,55899 | 0,00145066 | 571634 | 16716,2 | 557785 |
| St | Stütze Typ IIa | 9,22119 | 5,96721 | 4424,4 | 0,765223 | 0,000175663 | 55623,3 | 1608,71 | 51465,7 |
| Da | DAC Typ I | 197,109 | 35,87 | 86431,2 | 37,6905 | 0,00223963 | 1,60E+06 | 13340,9 | 1,58E+06 |
| De | Decke Typ III-3 | 572,322 | 202,485 | 304205 | 56,8679 | 0,0129107 | 2,54E+06 | 92346,7 | 2,37E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 347,439 | 94,3432 | 142053 | 33,5061 | 0,00330588 | 1,78E+06 | 42702,5 | 1,71E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 319,306 | 48,7289 | 57397,7 | 21,458 | 0,00279894 | 937921 | 24535,9 | 910894 |
| Tü | Tür Typ III | 51,748 | 7,1333 | 7761,62 | 5,45668 | 0,000472936 | 168223 | 176593 | -10508,7 |
| | gesamt | 1977,739 | 541,54 | 809243,7 | 207,4955 | 0,028771376 | 9,25E+06 | 399320,1 | 8,69E+06 |

Variante E_{ne} S20

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VI | 178,386 | 59,3593 | 77109,1 | 15,3737 | 0,00211551 | 546088 | 11382,6 | 512303 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 81,0545 | 35,0605 | 40232,9 | 11,3724 | 0,00146273 | 386248 | 9885,37 | 361589 |
| IW | IW Typ III | 87,5532 | 22,3344 | 39570,9 | 6,55899 | 0,00145066 | 571634 | 16716,2 | 557785 |
| St | Stütze Typ IIa | 7,85958 | 5,65934 | 3934,67 | 0,694968 | 0,000135331 | 34566,3 | 1256,67 | 30449,3 |
| Da | DAC Typ I | 96,4291 | 24,3669 | 45548,1 | 15,5839 | 0,00129929 | 636494 | 8198,19 | 621186 |
| De | Decke Typ III-3 | 565,627 | 200,971 | 301797 | 56,5225 | 0,0127124 | 2,44E+06 | 90615,8 | 2,26E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 221,264 | 71,3302 | 98261,8 | 21,4568 | 0,0033117 | 1,04E+06 | 33082,5 | 979215 |
| Fe | Fenster Typ I | 159,653 | 24,3645 | 28698,8 | 10,729 | 0,00139947 | 468961 | 12267,9 | 455446 |
| Tü | Tür Typ III | 51,748 | 7,1333 | 7761,62 | 5,45668 | 0,000472936 | 168223 | 176593 | -10508,7 |
| | gesamt | 1459,222 | 457,997 | 647963,6 | 144,6269 | 0,024483564 | 6,32E+06 | 361073,9 | 5,80E+06 |

Variante A

Variante A S100

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|---------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VII | 240,229 | 73,8533 | 146192 | 28,5525 | 0,00263889 | 1,97E+06 | 47703 | 1,92E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 138,222 | 41,8884 | 66371,4 | 31,6294 | 0,00267089 | 1,03E+06 | 16057 | 1,01E+06 |
| IW | IW Typ I | 146,812 | 37,3649 | 59104,8 | 11,002 | 0,00290536 | 1,21E+06 | 37797,7 | 1,19E+06 |
| St | Stütze Typ IIa | 10,5827 | 6,27502 | 4914,12 | 0,835478 | 0,000215995 | 76680,6 | 1960,75 | 72482 |
| Da | DAC Typ I | 297,79 | 47,3733 | 127315 | 59,7973 | 0,00317998 | 2,56E+06 | 18483,7 | 2,54E+06 |
| De | Decke Typ III-3 | 699,508 | 250,799 | 370548 | 68,7333 | 0,0147753 | 3,27E+06 | 96593,1 | 3,07E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 557,73 | 132,698 | 215039 | 53,5883 | 0,00329618 | 3,01E+06 | 58735,9 | 2,92E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 638,609 | 97,4576 | 114795 | 42,9159 | 0,00559791 | 1,88E+06 | 49071,9 | 1,82E+06 |
| Tü | Tür Typ I | 111,1 | 11,7556 | -960,21 | 10,8011 | 0,00198108 | 603371 | 264985 | 337377 |
| | gesamt | 2850,231 | 706,883 | 1108368 | 308,7332 | 0,037385122 | 1,56E+07 | 592463,7 | 1,49E+07 |

Variante A S50

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|---------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VII | 145,398 | 51,6542 | 96397,9 | 16,5917 | 0,0015363 | 1,15E+06 | 32324,8 | 1,11E+06 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 109,638 | 38,4744 | 53302,2 | 21,5009 | 0,00206681 | 710166 | 12971,2 | 685025 |
| IW | IW Typ I | 80,0186 | 20,5861 | 32321,5 | 6,0109 | 0,00159262 | 671835 | 20011,2 | 662789 |
| St | Stütze Typ IIa | 9,22119 | 5,96721 | 4424,4 | 0,765223 | 0,000175663 | 55623,3 | 1608,71 | 51465,7 |
| Da | DAC Typ I | 197,109 | 35,87 | 86431,2 | 37,6905 | 0,00223963 | 1,60E+06 | 13340,9 | 1,58E+06 |
| De | Decke Typ III-3 | 572,322 | 202,485 | 304205 | 56,8679 | 0,0129107 | 2,54E+06 | 92346,7 | 2,37E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 347,439 | 94,3432 | 142053 | 33,5061 | 0,00330588 | 1,78E+06 | 42702,5 | 1,71E+06 |
| Fe | Fenster Typ I | 319,306 | 48,7289 | 57397,7 | 21,458 | 0,00279894 | 937921 | 24535,9 | 910894 |
| Tü | Tür Typ I | 55,5499 | 5,87781 | -480,105 | 5,40057 | 0,000990539 | 301685 | 132493 | 168688 |
| | gesamt | 1845,65 | 511,404 | 781101,5 | 200,6697 | 0,027740619 | 9,78E+06 | 373410,5 | 9,27E+06 |

Variante A S20

| Bauteiltyp | Bauteil | AP | EP | GWP | POCP | ODP | Eges | Ee | Ene |
|------------|----------------------------|----------|---------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| AW | AW Typ VII | 100,464 | 41,5673 | 73321,9 | 10,8366 | 0,00102324 | 757512 | 25058,8 | 722650 |
| KAW | KAW Typ I-CEM IIIa | 81,0545 | 35,0605 | 40232,9 | 11,3724 | 0,00146273 | 386248 | 9885,37 | 361589 |
| IW | IW Typ I | 65,1695 | 17,2287 | 26980,7 | 5,2447 | 0,00115277 | 442191 | 16172 | 433588 |
| St | Stütze Typ IIa | 7,85958 | 5,65934 | 3934,67 | 0,694968 | 0,000135331 | 34566,3 | 1256,67 | 30449,3 |
| Da | DAC Typ I | 96,4291 | 24,3669 | 45548,1 | 15,5839 | 0,00129929 | 636494 | 8198,19 | 621186 |
| De | Decke Typ III-3 | 565,627 | 200,971 | 301797 | 56,5225 | 0,0127124 | 2,44E+06 | 90615,8 | 2,26E+06 |
| Un | Unterzug Typ II | 9,64807 | 7,41751 | 5048,71 | 0,877954 | 0,000123537 | 29157,6 | 1075,62 | 24038,5 |
| Bo | Bodenplatte Typ I-CEM IIIa | 221,264 | 71,3302 | 98261,8 | 21,4568 | 0,0033117 | 1,04E+06 | 33082,5 | 979215 |
| Fe | Fenster Typ I | 159,653 | 24,3645 | 28698,8 | 10,729 | 0,00139947 | 468961 | 12267,9 | 455446 |
| Tü | Tür Typ I | 55,5499 | 5,87781 | -480,105 | 5,40057 | 0,000990539 | 301685 | 132493 | 168688 |
| | gesamt | 1362,719 | 433,844 | 623344,5 | 138,7194 | 0,023611007 | 6,53E+06 | 330105,9 | 6,06E+06 |

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Geburtsort: Offenburg

Geburtstag: 03.02.1980

Ausbildung:

08/1992 – 06/1999 Gymnasium Gengenbach, Abschluss: Abitur

09/1999 – 06/2000 Grundwehrdienst als Panzergrenadier bei der 3./PzGrenBtl 294

10/2000 – 06/2006 Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Stuttgart

06/2006 – 03/2012 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart