

Campus 360 GmbH

Abschlussbericht des Forschungsprojektes
Az: 32312/01-25 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Entwicklung von Strategien zur Implementierung des grauen Energieaufwands in den iterativen integrierten Entwurfsprozess von Gebäuden

Dezember 2015

Campus 360 GmbH

Abschlussbericht des Forschungsprojektes
Az: 32312/01-25 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Entwicklung von Strategien zur Implementierung des grauen Energieaufwands in den iterativen integrierten Entwurfsprozess von Gebäuden

Dezember 2015

Inhalt

| | |
|--|--------|
| Inhalt | 2-3 |
| Einleitung - Kurzzusammenfassung | 4-6 |
| Antragsteller / Kooperationspartner | 7 |
| Beschreibung der Ausgangssituation / Stand der Technik | 8 |
| Aufgabenstellung, Zielsetzung ,innovativer Charakter und Umweltrelevanz des Vorhabens | 9-10 |
| Arbeitsplan und Darstellung des Lösungswegs | 11 |
| I. Analyse | 12 |
| Bauprojekt „Alnatura-Welt“ | 12-14 |
| Bauprojekt „Alnatura-Welt“ - Grundrisse | 15 |
| Raumprogramm 1/2 | 16 |
| Raumprogramm 2/2 | 17 |
| I. 2. Randbedingungen und Vorarbeiten | 18- 19 |
| Raumkonditionierungs- und Energiekonzept | 20-24 |
| II. Konzeption und Modellierung | 25 |
| II.1. Planungsprozess | 26 |
| II. 1.1. Ressourcengerechtes Bauen | 27-28 |
| II. 2. Integration in den Planungsprozess | 29 |
| II. 2.1. Gesamtbetrachtung Betriebsenergie und Graue Energie | 29-30 |
| II. 2.2. Entscheidungsmatrizen | 31-33 |
| II. 3. Auswahl Konstruktionsoptionen | 34 |
| Fassade | 35-38 |
| Decke / Tragwerk innen | 39-41 |
| Dach / Dachtragwerk | 42-44 |
| II. 4. Konstruktionsoptionen: Bewertung der materialgebundenen Energie | 45-46 |
| II. 4.1. Bewertung der Kreislauffähigkeit | 46-48 |
| II. 4.2. Bewertung der Fassadenvarianten | 49-50 |
| II. 4.3. Bewertung der Dachvarianten | 51-52 |
| II. 4.4. Bewertung der Deckenvarianten | 53-54 |

| | |
|---|-----|
| III. Evaluierung | 59 |
| Evaluation des Entwurfsergebnisses vor dem Hintergrund der materialgebundenen Energie | 60 |
| Evaluation des Entwurfsergebnisses vor dem Hintergrund der Wiederverwendung und des Recyclings | 62 |
| Evaluation des Entwurfsergebnisses vor dem Hintergrund des thermischen Komforts und der Betriebsenergie | 64 |
| Kombination 1 Konventionell | 68 |
| Kombination 2 Konventionell Plus | 70 |
| Kombination 3 Advanced | 72 |
| Kombination 4 Lehmwand | 74 |
| Kombination 5 Lehmbau | 76 |
| Kombination 6 Holzbau | 78 |
| Kombination 7 Stahlbau I | 80 |
| Kombination 8 Stahlbau II | 82 |
| Kombination 9 Betonbau | 84 |
| IV. Durchführung | 86 |
| Konstruktionswahl vor dem Hintergrund der Gesamtkonstruktion und des Klimakonzeptes | 91 |
| Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie, Einzelauflistung | 92 |
| Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie, Interpolation | 94 |
| V. Ausblick | 96 |
| Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen | 98 |
| Literaturverzeichnis | 100 |
| Kurzzusammenfassung | 104 |
| Imprint | 105 |

Einleitung

Durch konzeptionelles ganzheitliches Entwickeln von Bauvorhaben in interdisziplinären Planungsteams entstehen heute zukunftsfähige Gebäude, die mit einem minimalen Aufwand an Energie dem Nutzer ein optimales Raumklima bieten. In den letzten Jahrzehnten hat die Forschung im Bausektor den Schwerpunkt auf die Senkung des Energiebedarfs im Gebäudebetrieb gesetzt. Dadurch sind Gebäude entstanden, die zwar einen sehr geringen Energiebedarf im Betrieb haben (z.B. Passivhäuser), der energetische Aufwand zur Errichtung jedoch nicht thematisiert, berechnet oder in die Konzeption integriert wurde. Diese Herangehensweise führt zu einem Modell, das partiell zunehmend mehr Anlagentechnik und Material im Gebäude verlangt. In diesem Kontext wurde der energetische Aufwand für die Erstellung des Gebäudes und dessen Bestandteile nur nachträglich bewertet, erst nach Abschluss der Planungsprozesses. Dadurch konnte diese entscheidende Komponente die Planung nicht mehr beeinflussen.

Das Konzept der «Grauen Energie», d.h. die Kalkulation der Energiemenge, die für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Produktes benötigt wird, sowie die Betrachtung von Lebenszyklen einzelner Gebäudebestandteile gewinnen erst seit einiger Zeit an Bedeutung. Im Forschungsprojekt“ Entwicklung von Strategien zur Implementierung des grauen Energieaufwands in den iterativen integrierten Entwurfsprozess von Gebäuden am Beispiel der Firmenzentrale „Alnatura-Welt“ in Darmstadt“ wurden Strategien evaluiert, um den Anteil der für das Gebäude notwendiger grauer Energie zu minimieren.

In der Planung des Alnatura Campus in Darmstadt, ein Projekt der Architekten Haas Cook Zemmrich, wurde besonders darauf geachtet dass durch passive Maßnahmen der Aufwand für technische Anlagen minimiert wird, trotzdem bei hohen Anforderungen an den Komfort für die Arbeitswelt. Dabei sollen an das Klima und den Anforderungen angepasste Strategien ein hohes Maß an Flexibilität sowie ein geringer Aufwand für Wartung und Revision versprechen, damit weder weitere graue Energie noch Kosten für neue Installationen oder zusätzliche technische Anlagen anfallen. Freiliegende Speichermassen können für die Temperierung passiv durch Nachtauskühlung oder aktiv durch Bauteilaktivierung genutzt werden. Neben der Steige-

Die Erreichung des Komforts gelingt so auch eine Reduzierung des Energiebedarfs. Durch die frühzeitige Betrachtung der grauen Energie in der Vorentwurfsplanungsphase, konnte die weitere Planung dahingehend optimiert werden, dass für die Errichtung ressourcenschonende Lösungen für die Bauteile entstanden. Dabei ist die Abhängigkeit zwischen Betriebs- und grauer Energie der verschiedenen Varianten aufgezeigt ohne dabei die Anforderungen an das Innenraumklima zu übergehen. Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene Varianten für die Bauteile verglichen und hinsichtlich der grauen Energie evaluiert. Ziel ist es, die Variante, mit nach Kalkulation geringsten Gesamtenergiebedarf umzusetzen.

Die Innovation dieses Vorhabens liegt in der radikalen Vereinfachung von Bau- und Herstellungsprozessen. Dabei steht neben Energieeffizienz auch im Fokus ein ressourcenoptimiertes Gebäude zu entwickeln. Um das Regierungsziel eines CO₂ neutralen Gebäudebestandes bis 2020 erreichen zu können, wird die Implementierung des Aspektes der grauen Energie in den Entwurfsprozess unumgänglich sein.

Diese geforderte CO₂-Neutralität strebt an, grundsätzlich den Ausstoß von Treibhausgasen in allen Sektoren weitgehend zu vermeiden. Demonstriert wird dies bereits an einigen Beispielen im Bausektor durch den Einsatz rezyklierbarer, im Sinne kreislaufgerechter Materialien, verfügbarer Energiesysteme, architektonische Maßnahmen sowie erneuerbarer Energieressourcen.

Die Einbeziehung der in Materialien gebundenen Energie bei der Planung von Bau- und Sanierungsmaßnahmen nimmt zunehmend einen höheren Stellenwert ein. Steigende Energiepreise und die ansteigende Nachfrage fossiler Energieträger fordern nach energieeffizienten Systemen sowie Konzepte für umweltverträgliche und zugleich flexiblere Bauweisen. Hierzu ist nicht nur die Umstellung auf erneuerbare Energieträger zur Versorgung der technische Systeme notwendig und eine Senkung des derzeitigen Energieverbrauchs um bis zu 70%, sondern auch die Reduktion des gesamten CO₂ Ausstoßes.

Die o.g. Schilderung eines ganzheitlichen Planungsprozesses wurde auf die Konzeption des „Alnatura-Campus“ angewendet. So soll der Verwaltungsbau durch ein optimiertes passives Gebäudekonzept mit reduzierten technischen Systeme zum Heizen, Lüften und Kühlen, ein behagliches Innenklima bereitstellen. Durch den Einsatz thermisch dynamischer Simulationen und der ganzheitlichen Betrachtung bereits in der Konzeptfindung wird dies im Bereich Energieeffizienz ein beispielhaftes Vorgehen aufzeigen. Dieses Vorgehen wird dazu führen, dass bereits in einer frühen Entwurfsplanungsphase Prognosen zum Energiebedarf im Betrieb in Kombination mit Betrachtungen zu Lebenszyklen und grauer Energie gemacht, und auf eine gemeinsamen Kennwert gebracht werden. Dadurch wird ein vergleichbarer Wert für alle Konstruktionsvarianten zur Quantifizierung des Gesamtenergiebedarfs – sowohl im Bau als auch für den Betrieb generiert. Dieser ergibt ggf. hohe An-

forderungen an die Materialität der Fassade und der Ausbaumaterialien. Das Projekt eignet sich daher besonders zur Evaluierung und Ableitung von allgemeinen Strategien hinsichtlich der Potentiale grauer Energie im Entwurfsprozess sowie in Abhängigkeit zum Aufwand für die Anlagentechnik und die Betriebsenergie. Anstatt hochkomplexe technische Systeme einzusetzen, deren Steuerung und Wartung sehr aufwendig ist, sowie den Anteil grauer Energie stark erhöht, wird ein intelligenter, stoffgerechter Einsatz sorgfältig ausgewählter Materialien angestrebt. Die Innovation dieser Methodik liegt in der radikalen Vereinfachung von Bau- und Herstellungsprozessen mit dem Ziel, nicht nur ein Energie-, sondern auch ein einfaches, „ressourcensparendes“ Gebäude zu entwickeln.

Bewilligungsempfänger

Campus 360 GmbH

Alexander Link
Darmstädter Straße 63
64404 Bickenbach

Kooperationspartner

Technische Universität München

Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen

Prof. Thomas Auer
Arcisstraße 21
80333 München
Telefon: 089-289-22475
Telefax: 089-289-23851

Technische Universität Darmstadt

Lehrstuhl für Fassadentechnik

Prof. Ulrich Knaack
Franziska-Braun-Straße 3
64287 Darmstadt
Telefon: 06151-16-2537
Telefax: 06151-16-2338

Rheinisch Westfälische Technische Hochschule Aachen

Lehrgebiet Rezykliergerichtetes Bauen

Prof. Linda Hildebrand
Templergraben 83
52062 Aachen

Haas Cook Zemmrich - STUDIO2050

Martin Haas
Gymnasiumstraße 52
70174 Stuttgart

Transsolar

Christian Frenzel
Curiestraße 2
70563 Stuttgart
Telefon: 0711-679760

Knippers Helbig Advanced Engineering

Thorsten Helbig
Tübinger Str. 12-16
70178 Stuttgart
Telefon: 0711-24839360

Beschreibung der Ausgangssituation/ Stand der Technik

In der Konzeption neuer Gebäude hat sich der Entwurfs- und Planungsprozess umstrukturiert. Durch konzeptionelles, ganzheitliches Entwickeln von Bauvorhaben in interdisziplinären Planungsteams entstehen vermehrt zukunftsfähige Gebäude, die ihren Nutzern mit einem minimalen Aufwand an Umweltenergie ein auf seine Bedürfnisse abgestimmtes optimales Raumklima bieten. Aktuelle Beispiele zeigen, dass es möglich ist, im gemäßigten Klima Bürogebäude zu planen und zu bauen, die ohne technische Anlagen und Konditionierungssysteme zum Lüften und Kühlen behagliche Arbeitswelten schaffen.

Neben traditionellen entwurfsrelevanten Parametern wie Städtebau und Orientierung ist die Abstimmung von passivem Gebäudekonzept, Anlagentechnik und Energieerzeugung als Voraussetzung für energieeffiziente, nachhaltige Bauwerke in das Bewusstsein von Architekten und Fachplanern und damit in den Planungsalltag übergegangen - vor allem bei der Entwicklung neuer Gebäude.

Anders verhält es sich noch mit der Berücksichtigung der grauen Energie. Dabei zeigt insbesondere der Blick auf den Gebäudebestand, dass neben der Verbesserung von dessen Energieeffizienz auch die darin gebundene graue Energie ein wichtiges Kriterium für die Bewertung der Gesamtenergieeffizienz über die Lebensdauer bildet. Im Gegensatz zu Bestandsgebäuden besteht für Neubauten die Chance, die darin gebundene bzw. aufgewendete graue Energie von Grund auf zu minimieren.

Verpflichtend ist die Betrachtung und Bewertung grauer Energie derzeit nur im Rahmen einer freiwilligen Zertifizierung von Gebäuden, z.B. gemäß DGNB. Insofern wird dieser Aspekt bei Neubauten bislang in der Regel nur dann systematisch berücksichtigt und bewertet, wenn eine Zertifizierung dieser Gebäude erfolgt. Als ein den Entwurfsprozess beeinflussender Faktor fließt dieser nur sehr gering oder gar nicht ein. Dabei liegt gerade im frühen Entwurfsstadium ein erhebliches Potential zur Minimierung des Aufwands bzw. Inhalts von grauer Energie in Bauwerken.

Aufgabenstellung, Zielsetzung, innovativer Charakter und Umweltrelevanz des Vorhabens

Die Innovation bei Entwicklung und Realisierung des vorliegenden Forschungsvorhabens für ein prototypisches Bürogebäude liegt in der radikalen Vereinfachung von Bau- und Herstellungsprozessen mit dem Ziel, nicht nur ein Energie-, sondern auch ein möglichst „Ressourcen-neutrales“ Gebäude zu schaffen.

Ziel des DBU-geförderten Vorhabens ist die Entwicklung und direkte Einbindung einer Methodik zur Material- und Konstruktionsbewertung hinsichtlich der beinhalteten grauen Energie schon während des Entwurfsprozesses. Diese Methodik soll ermöglichen, die CO₂-Bilanz bzw. -Neutralität von Gebäuden über ihre gesamte Lebensphase (Errichtung, Betrieb und Rückbau) möglichst früh und möglichst einfach bewerten zu können. Zugleich sollen sich diese Gebäude, wie auch das Beispielgebäude, durch eine optimierte Aufenthaltsqualität bei minimiertem Technikeinsatz auszeichnen.

Grundsätzlich demonstriert wird die technische Machbarkeit von Neubauten mit geringem Einsatz bzw. Inhalt grauer Energie bereits durch verschiedene Beispiele. Die Innovation der angestrebten Methodik besteht darin, dass bei der Planung von Gebäuden die materialgebundene Energie zusätzlich zur voraussichtlichen späteren Verbrauchsenergie möglichst früh und so weit vereinfacht betrachtet werden kann, dass eine iterative vergleichende Betrachtung zu keinen falschen Schlussfolgerungen führt. Der in den letzten Jahren etablierte integrierte Entwurfsprozess wird durch ein solches Instrument sozusagen um den Aspekt der grauen Energie erweitert und so eine ganzheitlichere Betrachtung des Aspekts Energie ermöglicht. Notwendig ist die Neuentwicklung solch einer Methodik, da die bisherigen Verfahren zur Bewertung grauer Energie zu aufwendig sind, um sie standardmäßig in den Entwurfs- und Planungsprozess von Gebäuden zu integrieren.

Die nationalen und internationalen Klimaschutz-Ziele erfordern, den Ausstoß von Treibhausgasen in allen Sektoren drastisch zu reduzieren bzw. zu vermeiden. Dabei spielt der Gebäudesektor eine wesentliche Rolle, da die Gestaltung und Erhaltung von Bauwerken mit die größten Stoff- und Energieflüsse verursacht. Die Einbeziehung der in Materialien gebundenen Energie bei der Planung von Neubau- und Sanierungsmaßnahmen nimmt einen immer höheren Stellenwert ein. Es gilt, neben dem Energieverbrauch für den Gebäudebetrieb zukünftig auch den Anteil der in Neubauten beinhalteten grauen Energie zu minimieren.

Zugleich erhöht sich Nachfrage nach energieeffizienten Systemen sowie Konzepten für umweltverträgliche und zugleich kostengünstige Bauweisen aufgrund steigender Energiepreise im Zuge zunehmend knapper werdender fossiler Energieträger. Energieeinsparung und Energieeffizienz entlasten die Bürgerinnen und Bürger sowie staatliche Institutionen ökologisch sowie ökonomisch. Somit kann v.a im Bereich der Gebäude- und Infrastrukturplanung ein hoher Beitrag zum CO₂-freien bzw. -reduzierten Umgang mit Ressourcen geleistet werden, welcher über die bestehenden gesetzlichen

Vorschriften hinausgeht.

Im vorliegenden Forschungsprojekt wird daher am praktischen Beispiel des Neubaus der Firmenzentrale „Alnatura“ welches Potenzial zur Einsparung grauer Energie sich bereits in der Entwurfsphase des ganzheitlichen integrierten Planungsprozesses eröffnet. Die Ergebnisse bilden eine fundierte Grundlage für einen theoretisch- strategischen Ansatz dieser Thematik.

Bei der Planung des vorliegenden Gebäudes wird durch einen ganzheitlichen Planungsansatz ein starkes Gebäudekonzept mit auf die passiven Eigenschaften angepasstes aktives Technikkonzept zum Heizen, Kühlen und Lüften ein behagliches Innenklima bereitzustellen. Durch den Einsatz thermisch-dynamischer Simulationen und die ganzheitliche Betrachtung in der Konzeptfindung wird im Bereich Energieeffizienz ein beispielhaftes Vorgehen aufgezeigt. Aufgrund des passiven Gebäudekonzepts werden Anlagentechnik und Verteilersysteme minimiert und damit auch die hierfür anzusetzende graue Energie innerhalb der Lebenszyklusbetrachtungen und die resultierenden Betriebsenergie. Dies spiegelt sich in Gestaltung und Konstruktion von Fassaden und Ausbaumaterialien wieder.

Die vorgeschlagene Methodik besteht zusammenfassend in der Verknüpfung von vier Aspekten. Durch einen „gemeinsamen Nenner“ für Betriebsenergie, graue Energie, Rezyklierbarkeit und Komfort ist es möglich, unterschiedliche Konstruktionskombinationen vergleichbar zu machen. Durch die Quantifizierung dieser Abhängigkeit kann der Entwurfsprozess beeinflusst werden, um möglichst CO₂-neutrale Gebäude zu entwickeln. Zentral in diesem Zusammenhang ist die Kompetenz des Ressourceningenieurs der die Bewertung der Konstruktion auf Grundlage der grauen Energie durch erweiterte Betrachtung des Potentials der Dekonstruktion durchführt und deren Ergebnisse in den Planungsprozess integriert. Um Abhängigkeiten und Ergebnisse plausibel zu kommunizieren lassen sich Visualisierungen einsetzen, die während des Planungsprozesses an den Grad der Detaillierung angepasst werden.

Arbeitsplan und Darstellung des Lösungswegs

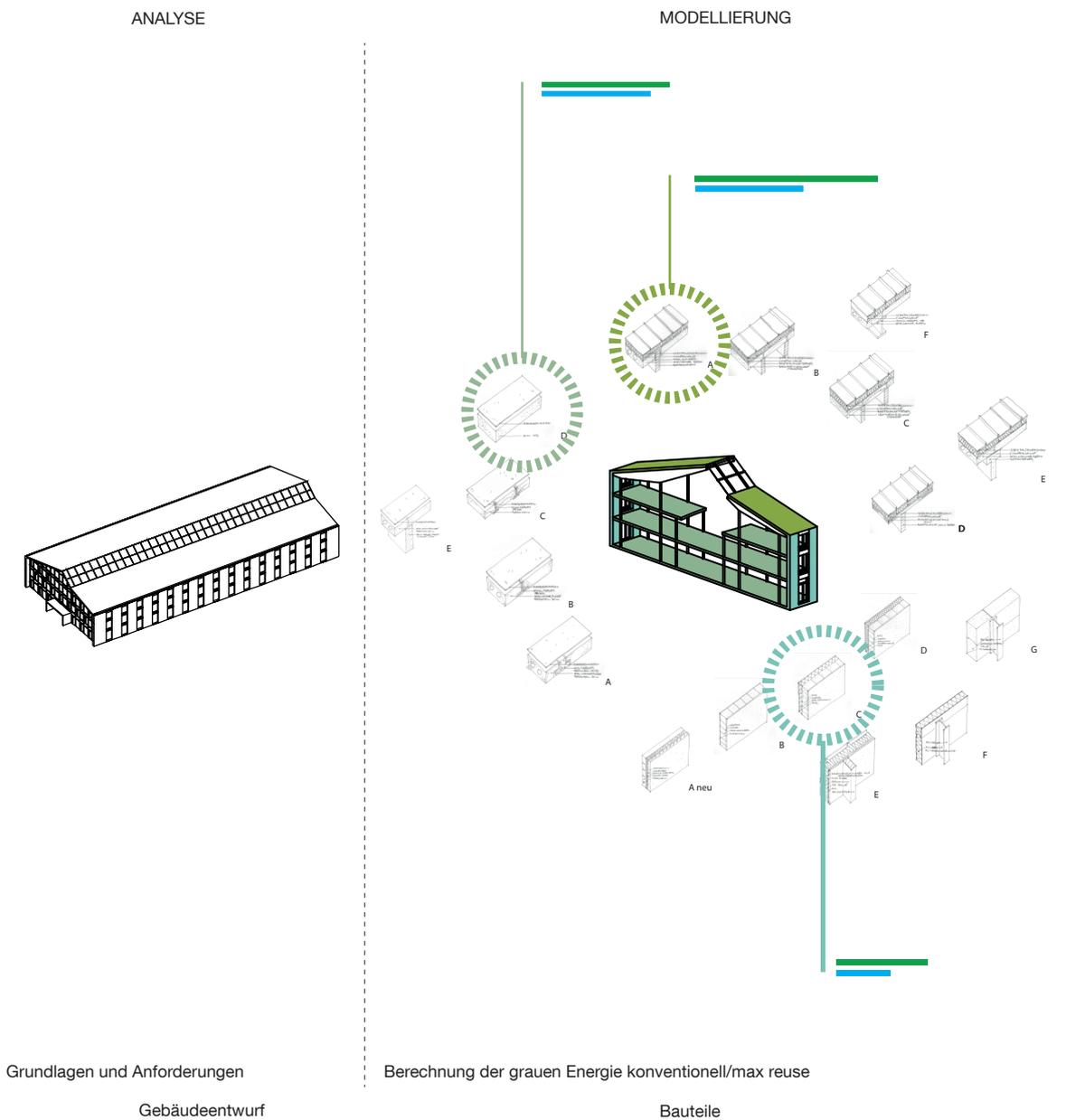
I. Analyse

Klärung der Grundlagen und Anforderungen der Nutzung

II. Konzeption und Modellierung

Konzeptentwicklung und Variantenstudien; Bewertung der verschiedenen Bauteilvarianten und Formulierung eines Konzepts unter Berücksichtigung einer hohen ökologischen Effizienz

Abbildung 0: Methodik



III. Evaluierung

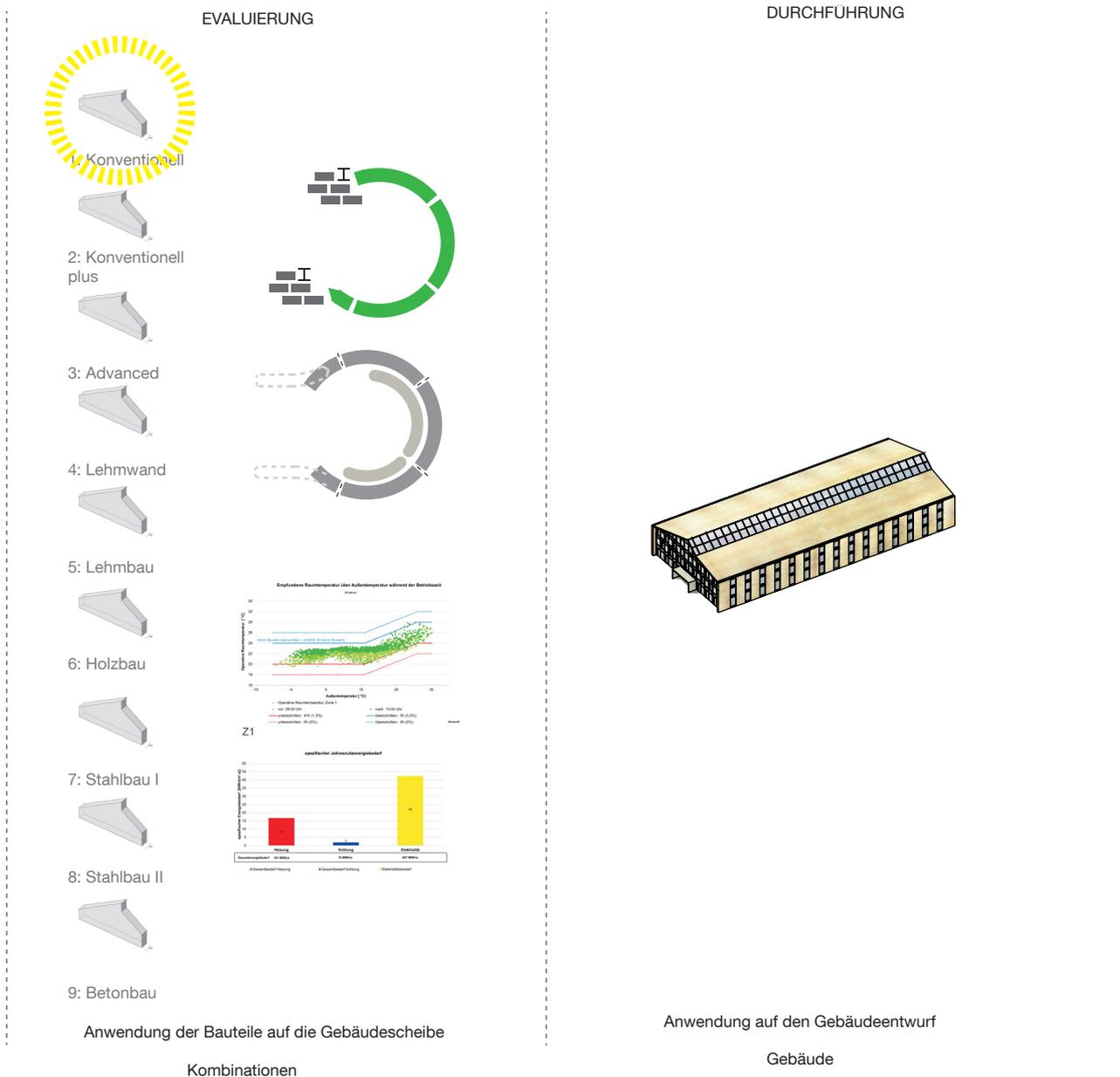
Evaluierung und finale Ziel- und Entwicklungsdefinition

IV. Durchführung

Entwurfs- und Konstruktionsentwicklung

V. Abschlussdokumentation

Zusammenfassung der Ergebnisse und Erarbeiten allgemeiner Aussagen zu Strategien und einer Methodik



I. Analyse

Im ersten Projektabschnitt wurden die Grundlagen der vorhandenen Planung und die Ziele des vorliegenden Forschungsvorhabens mit allen Fachplanern abgestimmt. Wie bereits erwähnt, war die Entwurfsplanung der „Alnatura-Arbeitswelt“ schon in einem fortgeschrittenen Zustand, jedoch Entscheidungen zu Lösungen für Struktur- und Materialwahl noch nicht endgültig getroffen. Somit konnten diese durch die erarbeiteten Strategien beeinflusst werden.

Nachfolgendes Kapitel resümiert die Ergebnisse der Simulation und beschreibt das für den „Alnatura Campus“ entwickelte Energiekonzept und dessen Wechselwirkungen für Fassade und Gebäudekonstruktion.

I. 1. Bauprojekt „Alnatura-Welt“

Das Architekturbüro haascookzemmrich STUDIO2050 plant für das Bio-Handelsunternehmen Alnatura (vertreten durch die Campus 360 GmbH) eine neue Firmenzentrale in Darmstadt. Auf dem Gelände der ehemaligen Kelley Barracks entsteht ein attraktiver, öffentlich zugänglicher Campus mit einem Bürogebäude für 500 Mitarbeiter nach den neuesten ökologischen Standards - eine Bio-Erlebnisfarm. Die „Alnatura-Welt“ soll die gesamte Wertschöpfungskette der biologischen Landwirtschaft von der Produktion über die Verarbeitung und die Vermarktung bis zum Verkauf und Verzehr erlebbar machen. Der Baubeginn ist für das Frühjahr 2015 geplant, die Fertigstellung für Ende 2016.

Alnatura hat für die „Alnatura-Welt“, neben der zentralen Verwaltung, folgende Umgebung definiert:

- eine Mitmach-Farm, die gemeinschaftliches Lernen und das Verstehen von landwirtschaftlichen Zusammenhängen ermöglicht - von der Aussaat bis zu Ernte
- ein Alnatura-Super-Natur-Markt, in nachhaltiger innovativer Bauweise mit 6.000 Bio-Produkten - viele davon aus der Region eine Genusswerkstatt, in der fundiertes Wissen über Ernährung, Zubereitung und Herstellung von Bio-Produkten vermittelt wird, bis hin zum gemeinsamen Kochen und Essen der selbst geernteten Produkte
- eine Genusswelt mit Kochwerkstatt für Mitarbeiter und Gäste

Lage und Ausrichtung der einzelnen Bausteine auf dem Grundstück wurden nach mikroklimatischen Gesichtspunkten festgelegt. Durch Synergien der unterschiedlichen Nutzungen wie Restaurant und Super-Natur-Markt soll ein Vorzeigeprojekt für energie- und materialeffizientes Bauen entstehen.

Für die Alnatura-Welt wurden folgende Ziele bzw. Parameter definiert:

- transparentes Open-Space-Büro mit Werkstattcharakter
- die Verwendung von ausschließlich nachwachsenden Rohstoffen / Baustoffen wie Holz und Lehm bzw. vollständig rückbaubarer Baustoffe wie Ziegel; kreislauffähige Baustoffe
- minimaler Energieaufwand im Betrieb
- „intelligente“ Gebäudegeometrie für eine optimale natürliche Belichtung aller Arbeitsplätze
- ein in der Gesamtbilanz klimaneutrales Bauwerk
- angenehmes Innenraumklima durch den intelligenten Einsatz von natürlichen Materialien; das Gebäude soll durch die Wärme- und Feuchtespeicherfähigkeit der gewählten Materialien möglichst ohne oder minimalen Einsatz konventioneller haustechnischer Systeme auskommen
- natürlich belichtete und belüftete Arbeitsplätze nahezu über die gesamte Gebäudetiefe

Die Bürowelt wird geplant als beispielhafte Unterbringung der Mitarbeiter von Alnatura in einem Gebäude, welches die Anforderungen an zukunftsgerichtetes Arbeiten und nachhaltiges Bauen durch sorgfältige Wahl der Baumaterialien und den Einsatz energieeffizienter Gebäudetechnik erfüllt.



Abbildung 1: Außenperspektive „Alnatura Welt“ - neue Firmenzentrale Darmstadt

Beispielhaft wird der Bau auch hinsichtlich einer kostengünstigen und reduzierten Bauweise sein. Es entsteht ein Gebäude in der Art einer „Werkstatt“, in der eine moderne und sinnvolle Arbeitsweise aufgezeigt wird, die permanent weiterentwickelt werden soll und die für Besucher sichtbar ist. Hiermit soll auch die Transparenz des Wirtschaftsbetriebs demonstriert werden.

Zur Umsetzung dieser Ziele ist ein ganzheitlicher Planungsansatz notwendig. Werkzeuge wie Simulationen zum thermisch-dynamischen Verhalten wie auch zum Strömungsverhalten von Lufträumen sind zur Konzeption und zur Generation von Entscheidungskriterien erforderlich.

Transsolar Energietechnik GmbH wurde beauftragt diese Simulationen zur Entwicklung des Energiekonzeptes frühzeitig in der Planung zu optimieren. Durch dynamische thermische Gebäudesimulation und Tageslichtsimulationen sind Leistungsfähigkeit verschiedener Konzeptionen aufgezeigt und der thermische, sowie visuelle Komfort optimiert worden. Die für die Simulationen erforderlichen Randbedingungen, wie die klimatischen Verhältnisse, Verglasungsqualität, Sonnenschutz, Wärmedämmung, interne Wärmelasten, Nutzungsprofile etc. wurden von Transsolar als Basisvariante definiert. Sie dient als Bezugsgröße für die Varianten unterschiedlicher Konstruktionen.

In dem nachfolgenden Kapitel wird das Energiekonzept erläutert. Auf den folgenden Seiten sind die Randbedingungen und Ergebnisse der Untersuchungen zum Entwurf und der Anforderungskatalog aufgeführt.

Das Projektziel ist es ein hochleistungsfähiges Gebäude mit maximierter natürlicher Belüftung, einem geringen Energieverbrauch und optimierten Innenkomfort zu erreichen unter Einsatz möglichst natürlicher Materialien. Das folgende Energiekonzept wurde unter diesen Gesichtspunkten entwickelt.



Abbildung 2: Innenraumperspektive „Alnatura Welt“ - neue Firmenzentrale Darmstadt

Grundriss EG

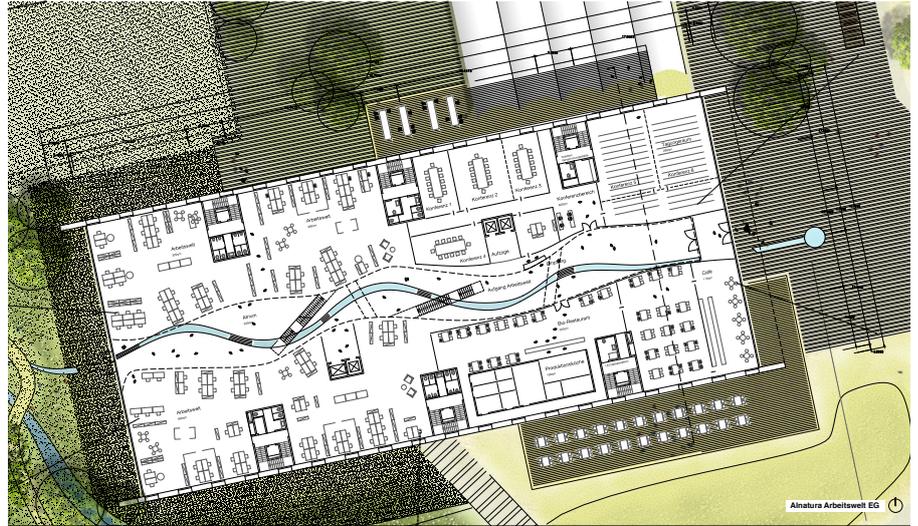


Abbildung 3: Grundriss EG „Alnatura Welt“

Grundriss 1.OG

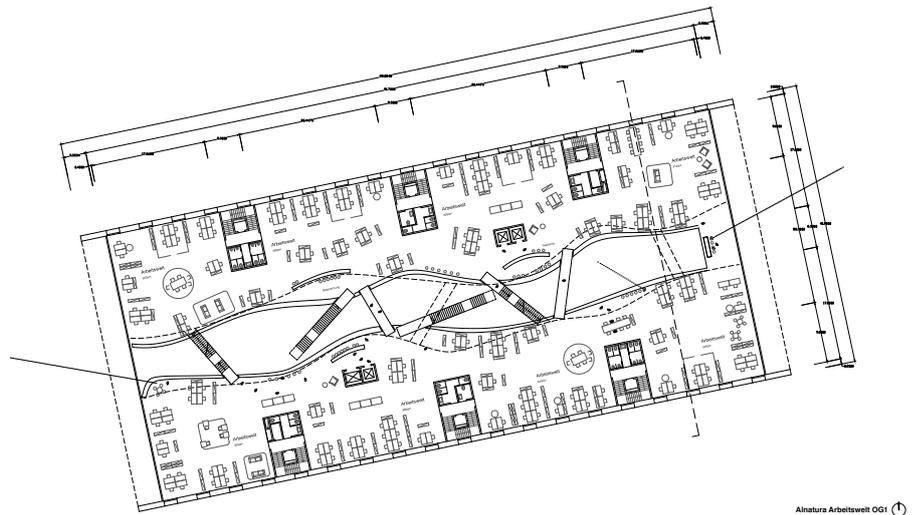


Abbildung 4: Grundriss 1.OG „Alnatura Welt“

Grundriss 2.OG

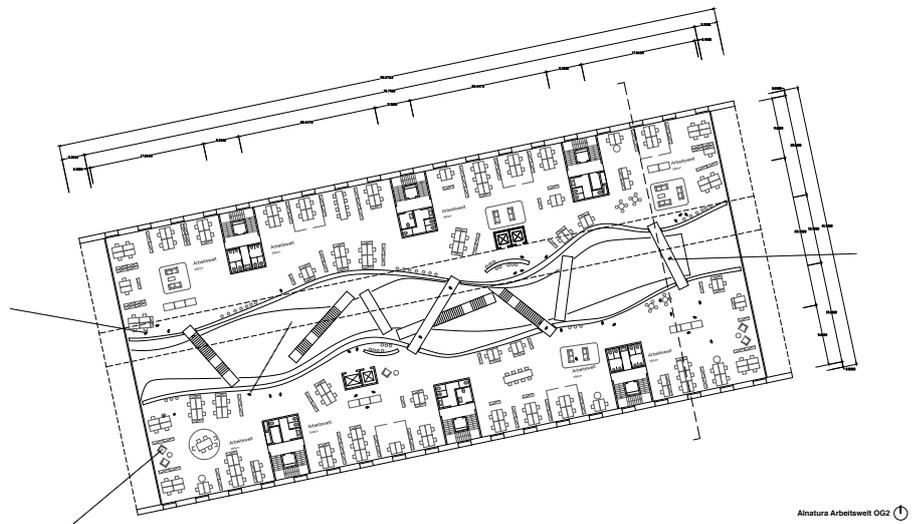


Abbildung 5: Grundriss 2.OG „Alnatura Welt“

Raumprogramm

| Alnatura Arbeitswelt | | | |
|------------------------------------|---|--------------|--|
| Zwischensumme | | 8.280 | NF (Ohne Technikzentrale) |
| BGF Arbeitswelt | | 9.936 | BGF (Ohne Technikzentrale) |
| Eingangsbereich | | | |
| Eingangsbereich / Foyer | Empfangstresen, Wartezohne, Ausstellung, Garderobe | 100 | |
| WC Damen und Herren | | 20 | |
| Mini-Fotostudio | Ecke mit guter Beleuchtung + Kamera / Stativ u.a. für Mitarbeiter-Fotos | 25 | |
| Postzimmer / Backoffice Empfang | Wahrenannahme / Poststelle incl. Verkehrsfläche (Postkonzept, Wagen,...) | 25 | |
| Bibliothek | | 60 | |
| Ausstellung | Alnatura-Museum / Alnatura-Archiv | 100 | |
| Zwischensumme | | 330 | NF |
| BGF Eingangsbereich | | 396 | BGF Faktor 1,2 für VF, TF und K |
| Bürobereich 450 Mitarbeiter | | | |
| Empfang | Empfang / Wartebereich / Garderobe | 90 | 0,2 m ² pro MA |
| Arbeitsplätze | | 4.300 | 10 m ² pro MA |
| Rückzugsbereiche | Gespräche | 473 | 1,05 m ² pro MA |
| Besprechungsräume | 1 pro 70 Mitarbeiter / Stationen- und Räume für Videokonferenzen | 563 | 1,25 m ² pro MA |
| Begegnungsbereiche | Abteilungs-/Etagen Kaffeeküchen mit ausreichend großem Mitarbeiterkühlschrank (für mitgebrachte Speisen, Joghurts usw.) / Ruhe- und Pausenräume / Begegnungsorte beim Drucker, Kopierer, Postfach, Bürobedarf etc. | 360 | 0,8 m ² pro MA |
| Gesundheit / Fitness | Erste Hilfe Raum – dies soll ein geschlossener Raum sein, der nicht anderweitig als Lager, Konfi oder sonstiges genutzt wird und er sollte unbedingt mit einem Aufzug erreichbar sein, nicht nur über Treppen. | 45 | 0,1 m ² pro MA |
| Toiletten / Waschraum | Möglichkeit zum Duschen und Umziehen (Sportaktivitäten vor Ort bzw. Anreise mit Fahrrad) | 270 | 0,6 m ² pro MA |
| Archiv | Muster-Raum für Sortimentsmanagement und Produktmanagement inklusive eigenen Kühlschränken (zur Aufbewahrung von Mustern, die heute z.T. auf und unter den Schreibtischen herumstehen) / Archiv für aufbewahrungspflichtige Akten | 180 | 0,4 m ² pro MA |
| Lager | zeitweiser Abwesenheit von Mitarbeitern / Lebensmittel-Lager (für Milch, Wasser, Säfte, Gäste-Bewirtung, Kekse, Tee, Kaffee usw.) / Lager-Einheit für Filial-Werbemittel (Stecker, Stopper, Poster, Ersatzmotivwände, Eröffnungsmaterialien) / Lager Büromöbel / Putzmittelräume | 180 | 0,4 m ² pro MA |
| Hausdienste | Service-Tresen (IT, „Hausmeister“, Reinigung, Pakete, ...) | 135 | 0,3 m ² pro MA |
| Entsorgung | Müllräume (innerhalb/außerhalb) | 45 | 0,1 m ² pro MA |
| Druckerräume, Datenverarbeitung | ggf. Druckerräume, dass diese nicht in den Abteilungen stehen (u.a. Lärm) | 270 | 0,6 m ² pro MA |
| Zwischensumme | | 6.910 | NF Flächen für Technik unter 5 |
| BGF Bürobereich | | 8.292 | BGF Faktor 1,2 für VF, TF und K |
| Konferenzbereich | | | |
| Konferenzraum / Alnatura-Atelier | Alnatura-Atelier für Creativseminare bzw. Konferenzraum zur Fremdvermietung / Versammlungsraum für Alnatura Mitarbeiter / teilbar | 215 | ca. 100 Sitzplätze |
| Schulung / Seminarräume | IT-Schulungsraum / Seminarräume | 120 | |
| Vorzone Konferenzraum | Warte- / Pausenbereich für Konferenzraum | 80 | |
| Teeküche | | 15 | |
| Zwischensumme | | 430 | NF |
| BGF Konferenzbereich | | 516 | BGF Faktor 1,2 für VF, TF und K |
| Restaurantbereich | | | |
| Gastraum | Grundsätzlich ist das Restaurant für AA Mitarbeiter, aber auch zugleich öffentlich zugänglich. Auf den Flächen, die fürs Selber-Kochen genutzt werden, sollten zu bestimmten Zeiten auch AA Kochwerkstatt-Kurse möglich sein. Ggf. müsste auch das PM die Möglichkeiten für Versuchsküchen haben. | 300 | ca. 250 Sitzplätze |
| Speiseausgabe | Stationen „face to face cooking“ für je ein Tagesgericht (Fleisch, veg. und Suppe) von AA organisiert / Kochwerkstatt für Einzelne und Gruppen mit Essmöglichkeiten zum Mieten / Kochstationen für Externe (Radieschen) | 100 | |
| WC Damen und Herren | | 30 | |
| Anlieferung | | 10 | |
| Zubereitung | | 30 | |
| Spülen | | 30 | |
| Lager gekühlt | | 25 | |
| Lager ungekühlt | | 40 | |
| Entsorgung | | 18 | |
| Sozialräume Personal | WC / Umkleide / Backoffice | 27 | |
| Zwischensumme | | 610 | NF |
| BGF Restaurantbereich | | 732 | BGF Faktor 1,2 für VF, TF und K |
| Technikzentrale | | | |
| Technikräume | | 600 | ca. 1,5 m ² pro MA |
| Zwischensumme | | 600 | NF |
| BGF Technikzentrale | | 720 | BGF Faktor 1,2 für VF, TF und K |
| SuperNaturmarkt | | | |
| Verkaufsraum | | 650 | |
| Showroom | Musterraum für neue Konzepte, Tests, etc. | 100 | |
| Lager | | 80 | |
| Sozialräume Personal | WC / Umkleide / Backoffice | 30 | |
| Zwischensumme | | 860 | NF |
| Summe SuperNaturmarkt | | 1.032 | BGF Faktor 1,2 für VF, TF und K |

Abbildung 6: Raumprogramm „Alnatura Welt“ - 1/2

| Waldorfkindergarten | | | |
|-------------------------------------|---|--------------|--|
| Waldorfkindergarten | 60 Kinder | | |
| Foyer | | 100 | |
| Geräteraum | von außen zugänglich (Schubkarren, Gartengeräte etc.) | 15 | |
| Außentoiletten | zwei Außentoiletten, von außen begehbar | 10 | |
| Mehrzweckraum | Unterteilbar, verschiebbare Wände (Werkstatt, Vorträge, Versammlungen, Spielturnen) | 100 | |
| Bereich Kinder unter 3 | 2 U3 Gruppen á 8-10 Kindern (1. Gruppe 7:30 - 12:30 Uhr; 2. Gruppe 7:30 - 17:00 Uhr) | | |
| Garderobe | | 10 | |
| Gruppenraum | mit Kochnische, Spülmaschine und Kühlschrank; alle Räume sollten vom Gruppenraum zugänglich sein | 50 | |
| Schlafraum | | 20 | |
| WC | ein Toilettenraum (zwei Toiletten) pro Gruppe | 30 | 2 á 15qm |
| Wickelraum | ein Wickelraum pro Gruppe | 10 | 2 á 5qm |
| Lager | | 10 | |
| Bereich Kinder über 3 | 2 U3 Gruppen á 20 Kindern (1. Gruppe 7:30 - 12:30 Uhr; 2. Gruppe 7:30 - 17:00 Uhr) | | |
| Garderobe | jede Gruppe für sich, dem Gruppenraum zugeteilt | 40 | 2 á 20qm |
| Gruppenraum | zwei Gruppenräume inklusive Kochnische, Spülmaschine und Kühlschrank | 120 | 2 á 60qm |
| Schlafraum | | 50 | |
| Essensraum | | 50 | |
| WC | drei Toiletten und drei Waschbecken, zugänglich vom Gruppenraum | 30 | 2 á 15qm |
| Lager | | 20 | 2 á 10qm |
| Bereich Mitarbeiter | | | |
| Büro | | 20 | |
| Sprechzimmer | Sprechzimmer für Elterngespräche | 15 | |
| Garderobe / Umkleide | mit abschließbaren Fächern für Mitarbeiter | 10 | |
| Aufenthaltsraum | | 15 | |
| WC / Dusche | | 20 | |
| Hauswirtschaftsraum | Waschmaschine, Trockner, Putzmittel | 15 | |
| Zwischensumme | | 760 | NF |
| BGF Waldorfkindergarten | | 912 | BGF Faktor 1,2 für VF, TF und K |
| Bio-Erlebnisfarm | | | |
| Bio-Erlebnisfarm | | ### | |
| Parkplätze | | | |
| Parplatz Supernaturmarkt / Besucher | 1 Stellplatz je 10-20m ² Verkaufsnutzfläche / ca. 20m ² je PKW / bei ca. 650m ² anrechenbarer Fläche: 17-22 Stellplätze | 1.300 | |
| Parplatz Konferenzzentrum | 1 Stellplatz je 4 bis 8 Sitzplätze | 500 | |
| Parplatz Büro | 1 Stellplatz je 30-40m ² Nutzfläche (ohne Sozial- und Sanitärräume) / ca. 20m ² je PKW / bei ca. 7.500m ² anrechenbare Fläche: 190-250 Stellplätze | 4.000 | |
| Summe Parkplätze | | 5.800 | |

Abbildung 7: Raumprogramm „Alnatura Welt“ - 2/2

I. 2 Randbedingungen und Vorarbeiten

Die überschlägige Kalkulation des Aufwandes der grauen Energie, die in den folgenden Kapiteln ausführlich beschrieben wird, erfolgte somit in erster Instanz angewandt an diesen bereits hinsichtlich des Energiekonzeptes optimierten Projekt welches durch dynamische Simulationen auf die Komfortbedingungen untersucht worden ist. Die Komfortbedingungen und der Energiebedarf in den Hauptnutzungsbereichen wurde für das geplante Energiekonzept aufgezeigt und im Zusammenspiel mit dem Atrium bewertet. Das Gebäude soll durch ein auf die Interaktion zwischen Funktionen und passiven Maßnahmen optimiertes Konzept den Aufwand für technische Anlagen minimieren, bei gleichzeitig hohem Komfortniveau für die Arbeitswelt. Um Werte zur Evaluierung des Konzeptes zu generieren, wurde in der Simulation für die oberirdischen Hauptnutzungsbereiche ein Mehrzonengebäudemodell erstellt.

Durch das Atrium und die offene Raumzonierung stehen weitestgehend alle Bereiche im Luftaustausch und durch Simulationen wurde die Schichtung im Atrium bewertet und deren Einfluss auf die angrenzenden Bürobereiche aufgezeigt. Ergebnisse sind für die einzelnen Bereiche die operativen Temperaturen während der Nutzungszeit und zonenspezifischen Energieverbräuche. Die Darstellung des Komforts erfolgt über zwei unterschiedliche Methoden unter dem Hintergrund, dass zu einem späteren Zeitpunkt ggf. eine DGNB Zertifizierung durchgeführt wird, die sowohl die eine als auch die andere Art der Auswertung akzeptiert.

Die Ergebnisse zeigen dass die Komfortbedingungen in nahezu allen Bereichen weitestgehend im dargestellten Komfortbereich gehalten werden. Im Dachgeschoss ist aber darauf hinzuweisen, dass die max. erlaubten Temperaturen der DIN 15251-NA (nationaler Anhang) von 30°C in zum Beispiel 24 Stunden in Zone 12 (~3 Arbeitstage) überschritten wird. Dennoch werden die sommerlichen Temperaturanforderungen der DIN 15251-EN eingehalten, welche wie vorher beschrieben die gleiche Punktzahl hinsichtlich des Komfort bei der Zertifizierung nach der DGNB liefert. Des Weiteren wurden die Räume hinsichtlich der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz untersucht und gezeigt dass die Anforderungen in allen Räumen eingehalten werden.

Das bereits ausgereifte Energiekonzept, das durch die Synergieeffekte von Gebäudegeometrie, passive Maßnahmen und Anlagentechnik, hohe Komfortbedingungen mit einem reduzierten energetischen Aufwand garantiert, fordert allerdings viel Fläche mit freiliegender thermischer Masse. Freiliegende Speichermassen können für die Temperierung passiv durch Nachtauskühlung oder aktiv durch Bauteilaktivierung genutzt werden. Neben der Steigerung der innenräumlichen Behaglichkeit gelingt so auch eine

Reduzierung des Energiebedarfs. Dies führt dazu dass bereits in der Definition des Energiekonzeptes das Material -begrenzt auf Speicherkapazität und bauphysikalische Eigenschaften- schon berücksichtigt werden soll.

Einen weiteren Aspekt für die Planung ergab die Simulation hinsichtlich des Umfangs der Fensterflächenanteile. So ist dieser basierend auf der Minimierung der Kühllasten in Abhängigkeit der Tageslichtnutzung erfolgt. Die Abwägung hinsichtlich transparenter und opaker Bauteile vor dem Hintergrund der gebundenen grauen Energie von Glas ist nicht erfolgt, da der gewählte Verglasungsanteil für Tagesbelichtung und den Raumeindruck notwendig und damit nicht variabel ist.

Raumkonditionierungs- und Energiekonzept

Tageslicht:

In der Fassade wird eine raumhohe Verglasung mit hoher Tageslichttransmission eingesetzt. In Verbindung mit hellen Oberflächen wird das Tageslicht in die Innenräume reflektiert. Das offene Atrium im Gebäudezentrum sowie die Bürobereiche im Inneren werden über einen zentralen nordorientierten Dachoberlichtstreifen mit Tageslicht versorgt.

Sonnenschutz und Kunstlicht:

Die vertikalen Fassaden des Gebäudes werden mit einem außenliegenden beweglichen Sonnenschutz versehen (zum Beispiel Markisen). Das Dachoberlicht wird mit einem innenliegenden Sonnen- und Blendschutz ausgestattet. Das Kunstlicht im Innenraum der allgemeinen Nutzungsbereiche (z.B. Verkehrsflächen) ist in Abhängigkeit der Nutzung und Außenhelligkeit geregelt, um den Strombedarf zu minimieren. Der Nutzer kann durch Übersteuern das Licht ein- und ausgeschaltet, sowie optional entsprechend der Außenhelligkeit die Beleuchtung dimmen.

Lüftung:

Der Bürobereich des Gebäudes wird natürlich mit folgenden Lüftungsszenarien belüftet: im kalten Winter oder heißen Sommer wird Außenluft primär über ein Erdkanalsystem im UG des Gebäudes vorkonditioniert. Somit erfolgt eine Vorkonditionierung im Winter der kalten Außenluft, im Sommer wird diese abgekühlt. Über Zuluftschächte wird die vorkonditionierte Luft im Gebäude verteilt und durch Quellaftauslässe an den Kernen in die Bürobereiche eingebracht.

Ganzjährig kann der Nutzer auch Fenster öffnen, umso frische Außenluft in die Büros zu lassen. Sowohl in dem Erdkanallüftungsmodus als auch in dem Fensterlüftungsmodus wird das Prinzip der Durchlüftung in das offene Atrium genutzt. Im Dach des Atriums sind öffnenbare Lüftungselemente, um die Luft nach Außen abzulüften. Durch Windeinflüsse und den somit entstehenden Winddruck, sowie dem thermischen Auftrieb, wird die natürliche Luftbewegung im Gebäude unterstützt. Ist der natürliche Antrieb nicht ausreichend, kann ein Lüfter zur Unterstützung dazugeschaltet werden.

In den Nutzungsbereichen werden CO₂-Sensoren in Form von Luftqualitätsampeln empfohlen, die den Nutzer per Signal darüber informieren, dass ggf. die Fenster geöffnet werden sollten, um den CO₂-Gehalt der Luft wieder zu senken. Ein grünes Signal entspricht sehr guten Bedingungen, und ein rotes Signal soll dem Nutzer signalisieren, dass die Fenster geöffnet werden sollten. Unter dem Aspekt der Luftqualität und dem Lüftungsbedarf ist darauf zu achten, dass ausschließlich Materialien mit geringer Schadstoffbelastung (=VOC) verbaut werden.

Die eintretende Luft in das Gebäude wird im Winter zusätzlich über ein Heizregister vorkonditioniert. Die Dachöffnungen und die Lüftungs-

klappen in dem Erdkanal sind motorisch gesteuert um die Durchlüftung zu kontrollieren. Dies ermöglicht neben der Option der Durchlüftung am Tag, die Durchlüftung in den Nachtstunden als Nachtlüftungspülung. Dadurch kann die thermische Masse in den Räumen abgekühlt werden um die tagsüber entstehenden internen Lasten wieder aufzunehmen. Sofern es Trennwände zwischen Räumen an der Fassade und dem Atrium gibt, ist darauf zu achten diese Trennwände mit Überströmöffnungen auszustatten. Bei hohen Anforderungen an den Schallschutz sind entsprechende Schallschutzüberströmöffnungen vorzusehen.

Im 3-geschossigen Atrium wird optional ein Deckenlüfter vorgesehen um eine Vergleichmäßigung der Innentemperaturen im Winter zu erzielen. Das Atrium wird zeitweise direkt durchlüftet um den CO₂-Level zu minimieren. Sonderbereiche wie die Küche, etc. werden bei Bedarf mit einer mechanischen Lüftung und Wärmerückgewinnung ausgestattet.

Heizung und Kühlung:

In einem ersten Ansatz wird die Fassade dahingehend optimiert mit möglichst passiven Maßnahmen den Bedarf an Heizung und Kühlung zu reduzieren. Solare Gewinne werden genutzt und die Wärmeverluste durch die Fassade minimiert. Die thermische Masse im Raum wird im Sommer mittels Nachtlüftungspülung abgekühlt und die Kälte tagsüber wieder abgegeben um den Innenraumkomfort zu optimieren. Sofern die passiven Maßnahmen nicht ausreichen wird ein hocheffizientes Niedertemperaturheizsystem und Hochtemperaturkühlsystem in Form einer Wandheizung hinzugeschaltet. Die Wandheizung wird auf der Raum zugewandten Seite der Außen- und Innenwände installiert. Der Wärmeverlust durch die Außenwand ist gering zu halten. An vollverglasten Fassadenbereichen, in Richtung Osten und Westen, wird der Komfort durch die Verglasungsqualität (geringer U-Wert) und massive Trennwände mit Wandheizungen optimiert. An der Atriumfassade mit vollverglasten mehrgeschossigen Fassadenbereichen sind ggf. Unterbrecher des Luftabfalls vorzusehen zum Beispiel durch die Tiefe der Pfosten-Riegel Konstruktion.

Energieversorgung:

Das Konzept sieht vor die wesentlichen Heiz- und Kälteenergiemengen aus regenerativen Quellen oder aus Abwärme der Systeme zu beziehen.

Folgende Komponenten werden vorgesehen:

- Die thermische Nutzung von Abwärme aus dem Rechenzentrum und der Küchentechnik
- Die thermische Nutzung des Erdreichs durch Sonden

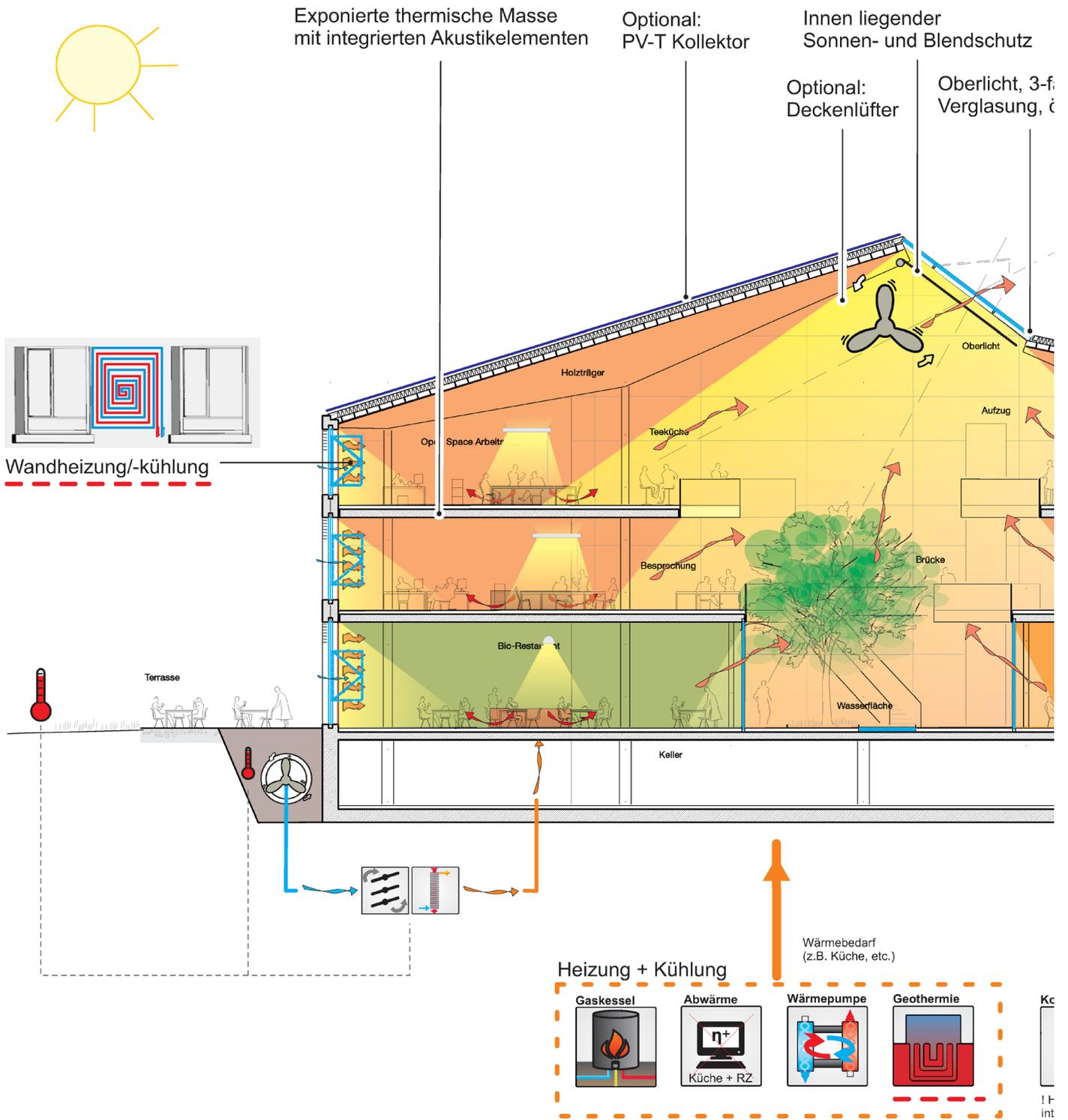
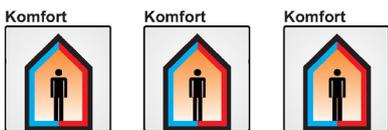
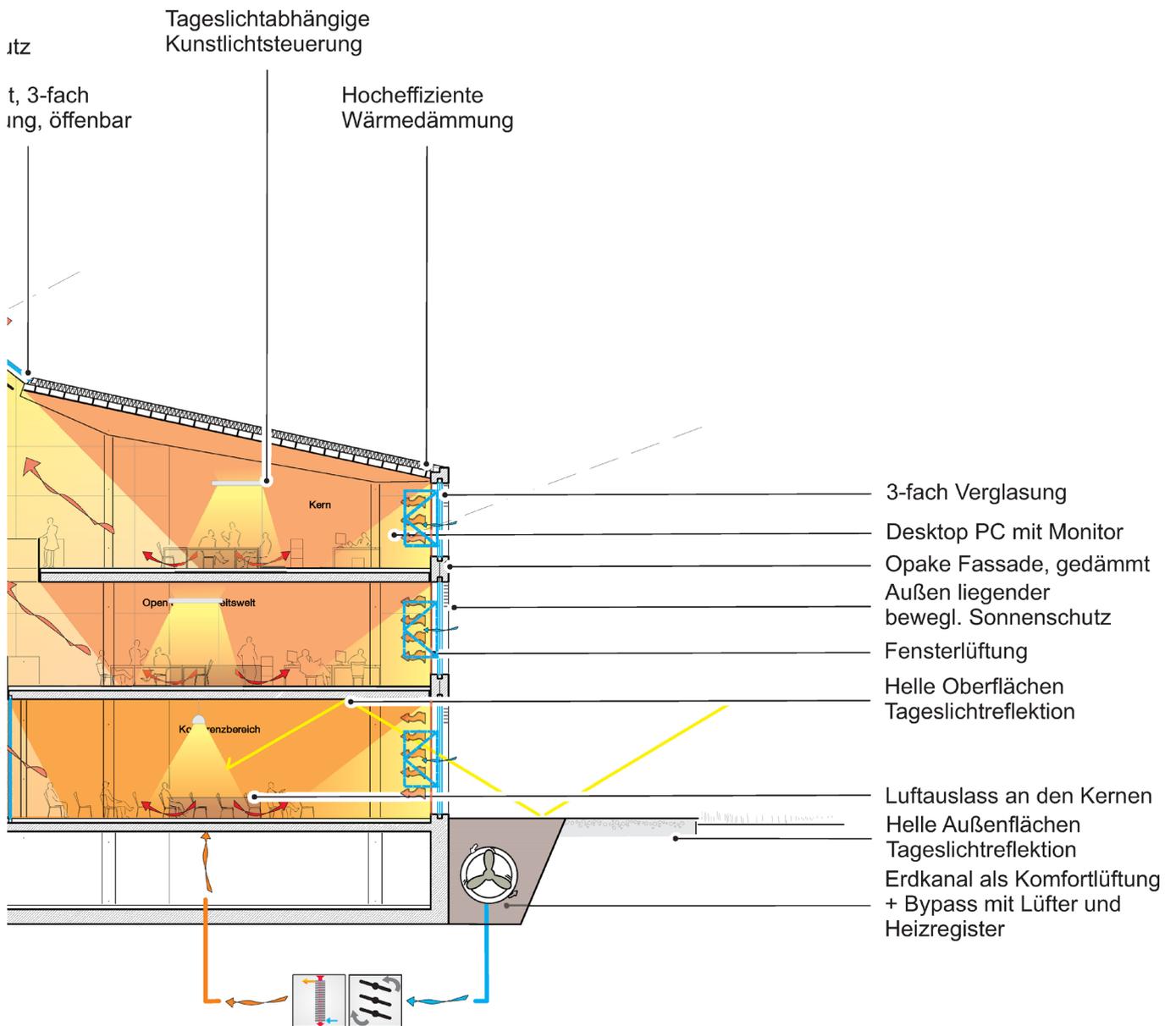


Abbildung 8: Schema Energiekonzept



! Heizung Bürobereich über interne Lasten und die Wandheizung und Erdkanal !

Zur Nutzung der regenerativen Potentiale sind reversible Wärmepumpen mit Direktkühlungsoption vorgesehen. Diese werden gleichzeitig zur Erzeugung von Heiz- und Kühlenergie genutzt.

Die effiziente Nutzung der regenerativen Energien erfordert die Wärmeübergabe an den Raum bei sehr niedrigen Temperaturen. Dies ist bei Flächenheizsystemen wie der Wandheizung gegeben. Ebenso bietet diese Kombination für die Kühlung das Potential der Direktkühlung aus regenerativen Energiequellen. Zur Deckung des heizungsseitigen Spitzenleistungsbedarfs für den Küchenbereich wird ein Gassystem eingesetzt. Optional kann eine thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung für den Küchenbereich vorgesehen werden. Nachts wird dieses System als Lunakollektor (= Kühlung über den Strahlungsaustausch bei klarem Nachthimmel) eingesetzt um eine passive Kühlung zu bieten.

II. Konzeption und Modellierung

Ergänzend zur Konzeptentwicklung der Gebäudekubatur und der Raumkonditionierung mit Energieversorgung soll am Projekt beispielhaft die graue Energie im frühen Stadium zur Entscheidungsfindung beitragen. Hierzu wird eine Methodik angewandt, die zu in Kapitel III der Evaluierung von Kombinationen dient.

Das Hauptmerkmal der Konzeption und der Modellierung der vorgeschlagenen Methodik liegt in der Definition eines vereinfachten Modells um Material- und Konstruktionsvarianten hinsichtlich der grauen Energie durch eine Lebenszyklusanalyse zu vergleichen. Diese wurden anschließend mit zwei verschiedenen Methoden bewertet.

Die Konstruktionen werden auf zwei Weisen betrachtet. Die konventionelle Betrachtung von Herstellung, Instandsetzung und End of Life wird in der Variante „konventionell“ zusammengefasst. Hier werden Massdaten mit Ökobilanzwerten verknüpft. Die zweite Betrachtungsweise „maximal Reuse“ setzt den Aufwand zum Rückbau mit den gewonnen sekundären Rohstoffen ins Verhältnis. Dabei wird der Aufwand durch Maschinenleistung auf Zeit dargestellt und mit dem so gewonnenen, isolierten Material verglichen. Ist ein wertvolles Material (hohe graue Energiemenge) mit wenig Aufwand in kurzer Zeit zerstörungsfrei lösbar, ist der Rückbau lohnenswert. Der Wert für den Rückbau liegt unter dem für das Material. Ist ein potentiell sekundärer Baustoff schwer lösbar drückt sich das in einem höheren Aufwand aus. Der Vergleich der beiden Energiemengen zeigt an, ob sich ein Rückbau lohnt. Auf diese Weise wird die Konstruktion bewertet; Eine sortenrein lösbare Verbindung wird belohnt, während sich der stärkere Verbund durch einen höheren Aufwand zum Rückbau darstellen lässt.

II.1 Planungsprozess

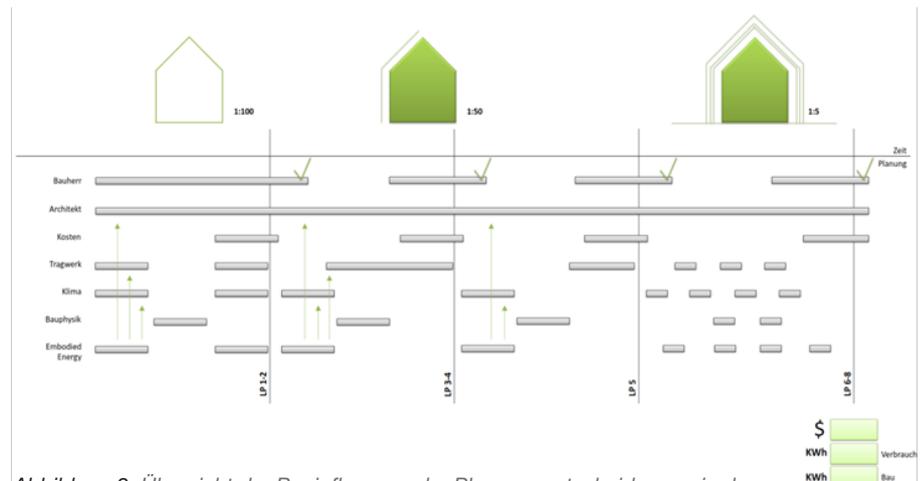


Abbildung 9: Übersicht der Beeinflussung der Planungsentscheidungen in den einzelnen Planungsphasen – ergänzt um das Thema Klima und graue Energie

In Entscheidungsprozessen von Planungsaufgaben besteht die Schwierigkeit in der Koordination und Gewichtung von einzelnen Entscheidungsparametern durch verschiedene Entscheider (oder Akteure). So haben zwar alle Beteiligten das prinzipiell gleiche Ziel der Entwicklung eines maximal effizienten Bauwerkes – allerdings wird die Effizienz aus verschiedenen technischen Hintergründen durchaus anders definiert. Zielkonflikte in der Auslegung der Aufgabenstellung und Durchführung des Entscheidungsprozesses sind somit unvermeidbar. Planungsregularien helfen, um diese Prozesse zu steuern, wie z. B. DIN Normen und Anwendungsrichtlinien zur Bewertung und Sicherstellung funktionaler und technischer Lösungen sowie Bauprozess und Kosten oder die Honorarordnung der Architekten und Ingenieure (HOAI), die sowohl die Aufgabenverteilung als auch die Verantwortlichkeiten im Planungsprozess festlegt. Hierbei kommt dem Architekten eine wesentliche koordinierende Funktion der beteiligten Planer zu, welche allerdings auch beinhaltet, dass die wesentlichen Entscheidungen durch den Bauherren nach technischer, funktionaler und wirtschaftlicher Vorbereitung durch die Planer getroffen werden können.

Die HOAI unterscheidet Planungsphasen entsprechend der im Planungsprozess üblichen iterativen Annäherung der finalen Lösung über eine Konkretisierung der Detailtiefe der Planung. Ausgehend von einer Grundlagenermittlung der für das Bauwerk wesentlichen funktionalen, technischen, rechtlichen und gestalterischen Voraussetzungen (LP1) wird ein Vorentwurf mit Varianten und Alternativen entwickelt (LP2). Hierauf aufbauend erfolgt die Entwurfsplanung (LP3), welche neben funktionalen, gestalterischen und wirtschaftlichen Festlegungen auch die zu verwendenden Technologien und Materialien definiert. Die Vorbereitung der baurechtlichen Genehmigung erfolgt in Leistungsphase 4 (LP4). Mit der Konkretisierung der Planung in Ausführungspläne erfolgen in der Leistungsphase 5 (LP5) die endgültigen funktionalen, gestalterischen und wirtschaftlichen Festlegungen sowie die zu verwendenden Technologien und Materialien. Zum Zwecke der Identifizierung der bauausführenden Unternehmen erfolgt eine Ausschreibung in

der Leistungsphase 6 (LP6) sowie die Bewertung der Ergebnisse und Beauftragung in der Leistungsphase 7 (LP7). Die Leistungsphase 8 (LP8) dient zur Koordinierung und Überwachung der Bauausführung, die Leistungsphase 9 (LP9) zur Dokumentation des Baus.

Selbstverständlich sind die unterschiedlichen Planungsdisziplinen wie Architekten, Tragwerkplaner, Haustechnikplaner etc. unterschiedlich in den verschiedenen Leistungsphasen gefordert. Manche technischen Entscheidungen müssen erst später getroffen werden, während funktionale und gestalterische Entscheidungen beispielsweise bereits früh wesentliche Richtungen definieren. Des Weiteren sind für unterschiedliche komplexe Bauaufgaben auch unterschiedliche Planungsteams notwendig, was einer prinzipiellen Beratung des Bauherren durch den Architekten in der ersten Leistungsphase bedarf.

Als Ergebnis dieses Planungsprozesses steht ein Gebäudeentwurf, welcher Funktionalitäten organisiert, Technologien für Konstruktion, Bauweise und technische Ausstattung sowie die Materialwahl und das klimatische Konzept zum Betrieb des Gebäudes definiert und koordiniert. In diesem Gebäudeentwurf wird der gesamte Prozess zu einem gestalterischen Gesamtbild zusammengefügt.

II. 1.1. Ressourcengerechtes Bauen

Im Zuge der Diskussion zur Verbesserung der energetischen Leistungsfähigkeit in Folge der Energiekrise der 1970er Jahre entstanden verschiedene Planungsdisziplinen, die den Planungsprozess unterstützen. So haben sich neben den Planungsfunktionen Architektur, Tragwerkplanung und Planung der haustechnischen Ausrüstung des Gebäudes weitere Disziplinen wie die Bauphysik und das Klimaengineering etabliert: als Ergebnis eines besseren Verständnisses der physikalischen Vorgänge des durch Wärme / Kälte motivierten Energieflusses in den Baumaterialien hat sich die Disziplin der Bauphysik als ergänzende Planungsleistung etabliert und ist heute ein allgemein üblicher Planungsteil.

Im Laufe der '90 Jahre hat die Rolle des Klimaingenieurs zunehmend an Bedeutung gewonnen: durch Simulationsprogramme konnte das Zusammenspiel von passiven Maßnahmen und Anlagentechnik abgebildet und quantifiziert werden. Die Forschung im Bereich der Materialien hat es ermöglicht dichte und sehr leistungsfähige Gebäudehüllen zu realisieren die durch sehr geringe Wärmedurchgangskoeffizienten den energetischen Aufwand für den Betrieb reduzieren konnten. In diesem Kontext ist bisher das Thema Material nur im Hinblick auf eine Reduzierung des Energiebedarfs im Betrieb eingesetzt worden.

Als nächster Schritt zur Steigerung der energetischen Effizienz von Gebäuden ist die Betrachtung der in der Gebäudesubstanz gebundenen Energie-

menge notwendig, also eine ökologische Bewertung der gewählten Materialien und Konstruktion. Während sich für die Betriebsenergie eine Art Benchmarksystem durchgesetzt hat (der zukünftige Energieausweis bewertet die Energiemenge durch Noten von A-F) befindet sich die Ermittlung von Embodied Energy oder Grauer Energie noch in der Anfangsphase. Wird die Graue Energie als Entscheidungsparameter herangezogen basiert die Auswahl der Konstruktion und des Materials in der Regel auf dem Vergleich von Varianten.

Stand der Wissenschaft ist , masse- oder volumenbasierte ökologische Kenndaten mit den Massen oder Volumen der Konstruktion zu verbinden, um auf diese Weise den Umwelteinfluss durch den spezifischen Primärenergiegehalt oder Treibhausgas Äquivalent zu darzustellen. Dabei wird mindestens die Produktion der Bauteile betrachtet bis sie den Produktionsort verlassen. Fast ebenso häufig wird ein Szenario angenommen, das nach dem Funktionsverlust eintritt (End of Life Szenario). In der Regel wird nach Materialgruppen unterschieden, wobei je nach Szenario unterschiedliche Umweltkennwerte verknüpft werden. Metallen und auch einigen Kunststoffen wird ein Wiedernutzungspotential zugeordnet, während Holz verbrannt wird um dessen Energie zu nutzen. Mineralische Baustoffe werden als Bauschutt aufbereitet. Diese Klassifizierung in Materialgruppen lässt die Konstruktion unberücksichtigt. Die Art der Verbindung und damit die Möglichkeit der Wieder- und Weiternutzung von Bauteilen ist dabei ein wesentlicher Parameter für die ökologische Bewertung eines Gebäudes. Ein kohärentes Konzept ist dabei ausschlaggebend; nicht oder nur schwer lösbare Verbindungen sind nicht pauschal schlechter zu bewerten als lösbare. Ist die Graue Energie relativ niedrig (wie z.B. bei Lehm) und kann sie ohne Probleme in den Kreislauf zurückgegeben werden, rückt die Lösbarkeit in den Hintergrund. Binden Produkte eine hohe Menge Grauer Energie (wie z.B. Aluminium oder Kunststoffe) sollten sie so konstruiert sein, dass der Aufwand zur Demontage niedrig ist und die Materialien leicht einem weiteren funktionalen Kreislauf zugeordnet werden können. Erst die Betrachtung des Bauteils, genauer ihres Materials und der Art der Fügung, kann darüber Auskunft geben, ob ein Bauteil sich für bestimmte Demontageszenarien eignet.

Um jedoch die Gesamtheit des energetischen Konzeptes eines Gebäudes betrachten zu können, bedarf es des Verständnisses der Zusammenhänge von Funktion, Konstruktion (Bauteilmasse) und technischer Ausstattung. Aus diesem Ansatz hat sich in der Folge das Klimaengineering entwickelt welches mittels Computermodellen die Energieflüsse und die das Klima beeinflussende Parameter betrachtet und simuliert und damit ein energetisch effizientes und dem Nutzerkomfort zuträgliches Gebäudeklima plant. Beide Disziplinen beeinflussen die Planung des Gebäudes hinsichtlich Funktionalität, Konzeption der Grundrissorganisation sowie Material- und Konstruktionsauswahl – mit dem Ziel der Reduzierung der für den Betrieb von Gebäuden aufzuwendenden Verbrauchsenergie (heizen, kühlen, beleuchten).

II. 2. Integration in den Planungsprozess

Um die Auswertungen zu ressourcengerechtem Bauen in den Planungsprozess zu integrieren bedarf es zweier Schritte. Zum einen muss die Umweltbeeinflussung, indiziert durch Energiemengen, quantifiziert werden. Die während des Betriebs entstehende Energie und die in der Gebäudesubstanz gebundenen Mengen werden erfasst und bewertet. Zum anderen müssen beide Indikatoren im Kontext des Gebäudes ins Verhältnis gebracht werden.

Um die Material- und Konstruktionswahl im Gebäudezusammenhang zu bewerten, bedarf es einer weiteren Planungsleistung, die Auswahl hinsichtlich der materialgebundenen Energie begleitet und bewertet. Dies ist notwendig um in allen Planungsphasen eine sinnvolle Beeinflussung der Materialwahl vornehmen zu können.

Da verschiedene Akteure auf iterativ fortschreitender Grundlage in allen Planungsphasen immer konkretere Material- und Konstruktionsentscheidungen treffen, ist es verständlich, dass sowohl die Begleitung durch das Klimaengineering als auch durch die Disziplin der Grauen Energie notwendig ist, um richtige Entscheidungen treffen zu können. Parallel ist es notwendig, diese Beeinflussung im Zusammenhang mit den Disziplinen Tragwerk und Bauphysik zu verknüpfen und das Gesamtkonzept unter eine koordinierende Funktion, dem Architekten, zu sehen, der auch Kosten, Funktionalität und Gestaltung berücksichtigt. Final müssen richtungsweisende Entscheidungen durch den Bauherren getroffen werden.

Um die Zusammenhänge von Umwelteinfluss durch Betriebsenergie und Graue Energie im Planungsprozess zu verdeutlichen werden Entscheidungsmatrizen vorgestellt. Sie bereiten die graphische Darstellung der Ergebnisse vor

II. 2.1. Gesamtbetrachtung Betriebsenergie und Graue Energie

Um vor dem Hintergrund eines ressourceneffizienten Gebäudes nicht nur die Betriebsenergie, sondern auch die Energie in Zusammenhang mit der Gebäudesubstanz in die Planung integrieren zu können, wird vorgeschlagen, diese in einer gemeinsamen grafischen Übersicht zusammenzuführen. Diese erfolgt, um die für die Material- und Konstruktionsentscheidungen wesentlichen Parameter bewerten zu können und in den einzelnen Planungsschritten richtungsweisende Entscheidungen integral treffen zu können.

Voraussetzung für diese Entscheidungsmatrix ist die Betrachtung der Betriebsenergie des Gebäudes unter Berücksichtigung der gewählten Materialien und Konstruktionen. Aus der Konstruktion ergeben sich passive Eigenschaften, die den Bedarf an Betriebsenergie beeinflussen. Erst die Betrachtung beider in ihrer Wechselwirkung mit dem Einsatz Grauer Energie und der Betriebsenergie ist eine belastbare Entscheidungsgrundlage.

Ein wesentlicher Rahmenfaktor ist der Betrachtungszeitraum. Die Verbrauchsenergie steigt mit der Zeit, da immer Energie verbraucht wird, um das Gebäude zu betreiben. Für kurze Nutzungszeiten (<10 Jahren) steht die im Material gebundene Energie im Fokus. Sie stellt den größten Anteil an aufgewandter Energie dar. Mit zunehmendem Betrachtungszeitraum dreht sich die Gewichtung und die Betriebsenergie gewinnt an Einfluss. Die materialgebundene Energie wird in diesem Ansatz zu Beginn des Gebäudes eingesetzt und dann über einen Zeitraum von 30 Jahren beobachtet. 30 Jahre erscheint vor dem Hintergrund der üblichen Lebensdauer von Büroimmobilien sowie den Sanierungszyklen von Wohngebäuden sinnvoller als eine optimistische Annahme von 50 oder 100 Jahren Lebensdauer.

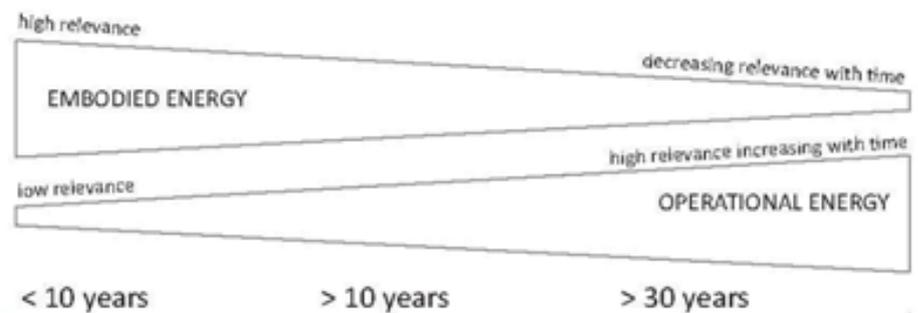


Abbildung 10: Schematische Darstellung von Grauer Energie und Betriebsenergie auf Zeit[1]

Als energetische Einheit wurde MJ gewählt. Eine Differenzierung in erneuerbare und nicht erneuerbare Energiequellen wurde in diesem Stadium nicht vorgenommen. Dies kann allerdings in einer späteren Studie aufgegriffen werden, da hier insbesondere bei der Betrachtung von langfristigen Entwicklungen und energetischen Investitionen Potential zu erkennen ist.

Die zunehmende Umstellung auf regenerative Energiequellen lässt eine Veränderung der Primärenergiefaktoren in den nächsten Jahren prognostizieren. Bezogen auf die Untersuchung, bedeutet diese Voraussetzung einen sukzessiven reduzierten Einfluss der Betriebsenergie auf den Gesamtenergiebedarf des Gebäudes während der Nutzungszeit. In einem Betrachtungszeitraum von mehreren Jahren nimmt der Primärenergiebedarf für den Betrieb allein durch die Veränderung des Primärenergiefaktors ab.

Im Folgenden werden zwei Varianten der Darstellung der Entscheidungsmatrix vorgestellt, die entsprechend der frühen Entwicklungsphase der Thematik noch qualitativ sind, also prinzipielle Szenarien darstellen. In einem nächsten Schritt mit verschiedenen Projekten können diese mit konkreten Zahlen in die vorgeschlagenen Entscheidungsmatrizen eingebunden werden.

II. 2.2. Entscheidungsmatrizen

Matrix

Die Matrix differenziert zwischen materialgebundener Energie und Betriebsenergie. Das Integral über die Zeit zeigt die Gesamtmenge der Energie für einen festgesetzten Zeitraum (hier 30 Jahre). Vertikal wird Graue Energie und horizontal wird Betriebsenergie aufgetragen. Die jeweiligen Projekte werden als Linien dargestellt, die beiden absoluten Energiewerte verbinden. Quantitativ unterschieden werden die Projekte anhand der in der Summe aufgewendeten materialgebundenen Energie sowie an der über einen den Zeitraum von 30 Jahren verwandten Verbrauchsenergie. Auch hier ist erkennbar, dass ein hoher Einsatz von materialgebundener Energie eine geringe Verbrauchsenergie nach sich ziehen kann, während ein geringer Anteil materialgebundener Energie eine hohe Verbrauchsenergie bedeuten kann. Auch hier gilt, dass die Darstellung qualitativ zu verstehen ist.

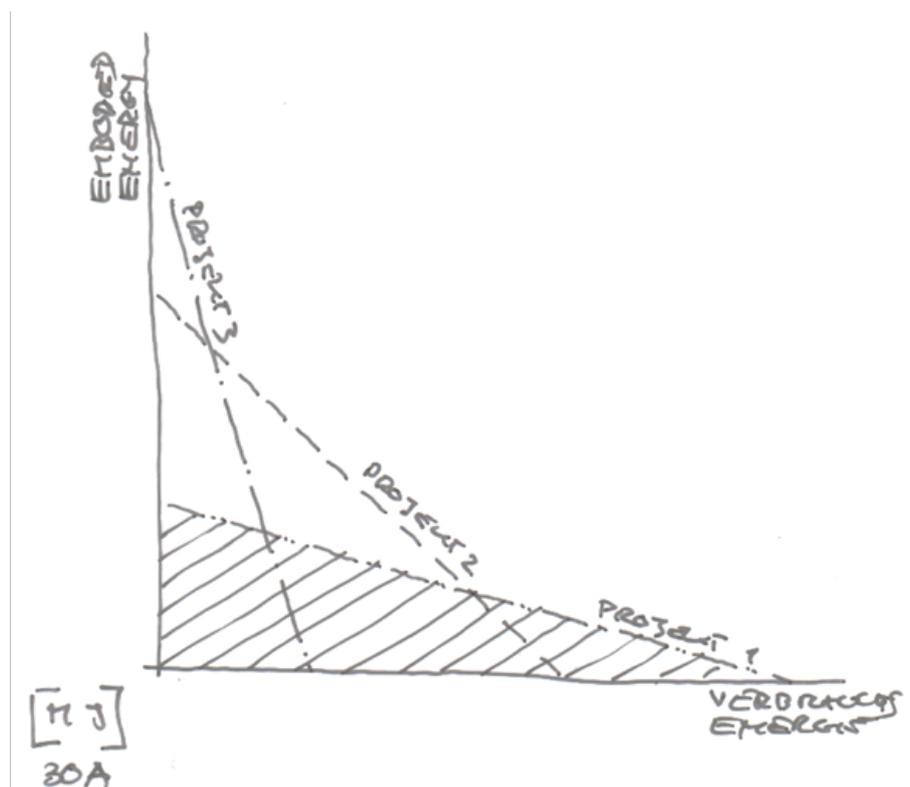


Abbildung 11: Matrix 2 für 30 Jahre

Besteht Interesse, auch die Energiemengen für verschiedene Zeitabschnitte vergleichen zu können, kann der absolute Energiewert für den jeweiligen Zeitpunkt (im Beispiel 10, 20 und 30 Jahre) die Verbrauchenergie als Endpunkt genommen werden. Die entsprechenden Linien können dann für die verschiedenen Projekte miteinander verglichen werden, um einschätzen zu können, welche Konzeption für welchen Nutzungszeitraum und Gesamtenergieeinsatz sinnvoll ist.

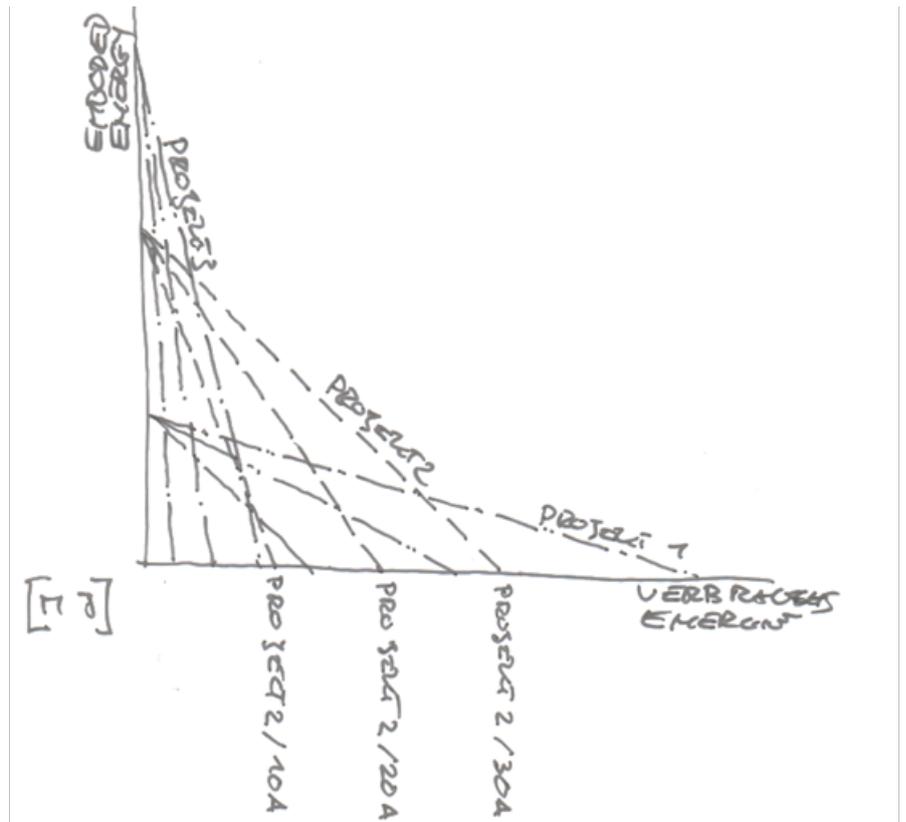


Abbildung 12: Matrix 2 für 10, 20 und 30 Jahre

Beide Matrizen bilden die Grundlage zur Entscheidung hinsichtlich Material- und Konstruktionswahl. Sie stellen das Gesamtergebnis für die Graue Energie aller Bauteile und die Betriebsenergie dar. Es wird vorgeschlagen, in den jeweiligen Planungsphasen die Entscheidungsmatrix anhand der gewonnenen Erkenntnisse der entsprechenden Phase zu verfeinern. Die Ergebnisse gilt es mit Fragestellungen der Tragkonstruktion, Kosten, Funktionalität und der Gestaltung zu überlagern.

Die hier dargestellte Gesamtbewertung setzt sich aus Grauer Energie und Betriebsenergie zusammen. Um ein Gesamtergebnis für ein Gebäude zu ermitteln, hilft die Aufschlüsselung in verschiedene Konstruktions- und Materialvarianten. Der folgende Abschnitt stellt die Vorstudien für ein Gebäude am Beispiel der Alnatura Firmenwelt Darmstadt vor.

Der Innovationscharakter dieser Untersuchung liegt in der voran gezogenen, unfokussierten Betrachtung als Bestandteil der integralen Planung. Durch die vereinfachte Berechnung der wichtigsten Bauteile des Gebäudes im Zusammenhang mit thermisch dynamischer Simulationen soll im Bereich Energieeffizienz ein beispielhaftes Vorgehen aufgezeigt werden.

Die Detailtiefe einer Gebäudeökobilanzierung ist stark abhängig von der Phase in der sie vorgenommen wird. Diese kann grundsätzlich in den Phasen Vorplanung, Ausführungsphase oder Nutzungsphase des Gebäudes erfolgen. In der Konzeptphase oder Vorplanung ist noch eine hohe Einflussmöglichkeit des Planers vorhanden, es können stark unterschiedliche Varianten verglichen werden.

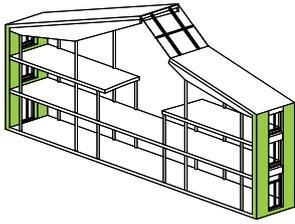
Dieses Vorgehen führt dazu dass bereits in einer frühen Entwurfsplanungsphase Prognosen zum Energiebedarf im Betrieb in Kombination mit Betrachtungen zu Lebenszyklen und grauer Energie gemacht, und auf einen gemeinsamen Kennwert gebracht werden. Dadurch wird ein vergleichbarer Wert für alle Konstruktionsvarianten zur Quantifizierung des Gesamtenergiebedarfs – für den Betrieb und für den Bau – erstellt der ggf. hohe Anforderungen an die Materialität der Fassade und der Ausbaumaterialien ergibt. Das Projekt eignet sich daher besonders zur Evaluierung und Ableitung von allgemeinen Strategien hinsichtlich der Potentiale grauer Energien im Entwurfsprozess auch in Abhängigkeit zum Aufwand für die Anlagentechnik. Anstatt hochkomplexe technische Systeme aufzubauen deren Abstimmung und Wartung sehr aufwendig ist und den Anteil an grauer Energie stark erhöht, wird ein intelligenter, stoffgerechter Einsatz sorgfältig ausgewählter Materialien angestrebt. Für die Simulationen werden unterschiedliche Dauern der Lebenszyklen für das Gebäude untersucht.

II. 3. Auswahl Konstruktionsoptionen

Um den Grad an Umweltbeeinflussung durch ein komplexes Gebäude darzustellen, hilft die Unterteilung in Bauteile. Wesentliche Bauteile sollen erfasst werden, um die Energiemenge möglichst umfassend zu bestimmen. Tragwerk, Fassade und Dach stellen den wesentlichen Anteil der Gebäudesubstanz dar. Um den rechnerischen Aufwand in ein Verhältnis zum Ergebnis zu bringen, ist es sinnvoll die Varianten auf das Gebäude abzustimmen. Idealerweise wird die Funktion eines Bauteils definiert, verschiedene Varianten werden mit dem Architekt abgestimmt. Auf der Grundlage der ermittelten Energieperformance kann anschließend eine Entscheidung getroffen werden.

Im Zuge der Vorentwurfsphase der Alnatura Arbeitswelt waren bereits Annahmen zur Materialität gemacht worden, sowohl bezüglich der bauphysikalischen Anforderungen als auch zur Definition eines Energiekonzeptes. So war der Fensterflächenanteil für die Fassaden bereits definiert sowie ausreichend freiliegende Speichermassen. Die vorgeschlagenen Varianten die durchgerechnet wurden dienen u.a. um allgemeine Ergebnisse zu formulieren.

Hinsichtlich der im Projekt vorgesehenen Konstruktionen wurden die Bauteile in Fassade, Dach und Deckenkonstruktion unterteilt, da diese die wesentlichen Konstruktionseinheiten des Gebäudes darstellen. Ausbaukomponenten, wie Zwischenwände und Lager / Sanitärbereiche, waren in diesem Projekt nur sehr begrenzt vorgesehen und wurden deshalb vernachlässigt. Auch wurde die Vereinbarung getroffen, einen Gebäudeabschnitt mit einer Achsbreite von einem Meter zu betrachten, da es sich um einen länglichen Baukörper handelt, bei dem die Stirnseiten nur sehr geringe Anteile haben. Diese in diesem Projekt notwendigen Vereinfachungen um das Gesamtziel zu erreichen, sollten in einem Folgeprojekt wieder aufgehoben werden, da hierdurch eine Unschärfe der Betrachtung entsteht.

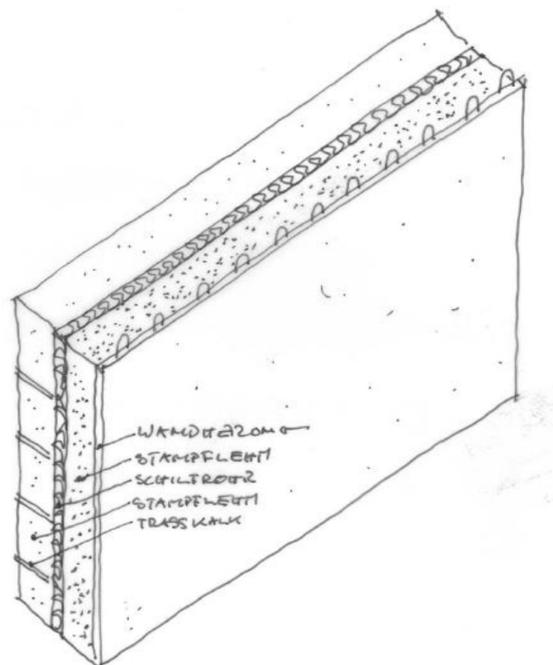


Fassade

Um eine möglichst große Bandbreite darzustellen, wurden für die Wandkonstruktionen sowohl Standardlösungen als auch weniger konventionelle Lösungen vorgeschlagen. Es sollte möglich sein auch außergewöhnliche Konstruktionen im Projekt vorsehen zu können und damit die Möglichkeit zu haben, alternative Lösungswege zu gehen. Insbesondere im Bereich der Lehmkonstruktionen wurden Alternativen untersucht, um in diesem Projekt das Potential hinsichtlich Verbrauchsenergie als auch materialgebundener Energie zu eruieren.

Variante A

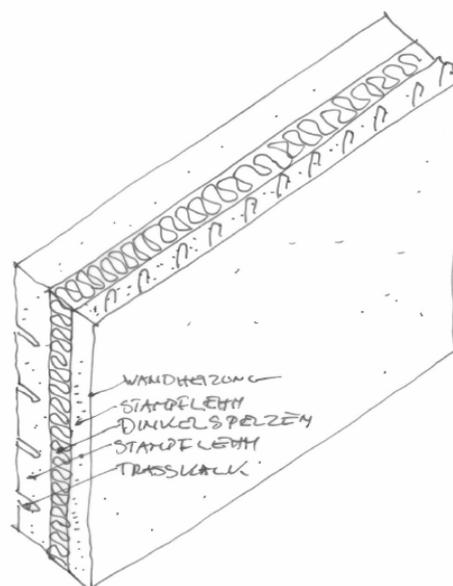
außenliegende Stampflehmwand mit eingefügten Trasskalk Schichten zum Erosionsschutz (30 cm), dahinter befindet sich eine Dämmschicht mit Schilfrohr (12cm) sowie innen einer weiteren Schicht Stampflehm (30 cm), in der Heizschlaufen eingebracht sind. (Die durch die Haustechnik gebundene Energie wird nicht mitberechnet. Der Aufwand für den Rückbau wird mitbetrachtet.)

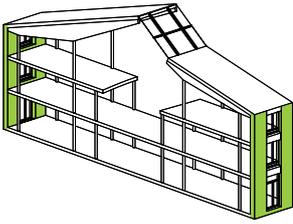


Variante A neu

außenliegende Stampflehmwand mit eingefügten Trasskalk Schichten zum Erosionsschutz (35 cm), dahinter befindet sich eine Dämmschicht aus einem leichten Gemisch aus Dinkelspelzen/Blähton/Lavergestein und Lehmschlemme (15 cm), sowie innen einer weiteren Schicht Stampflehm (15

cm)

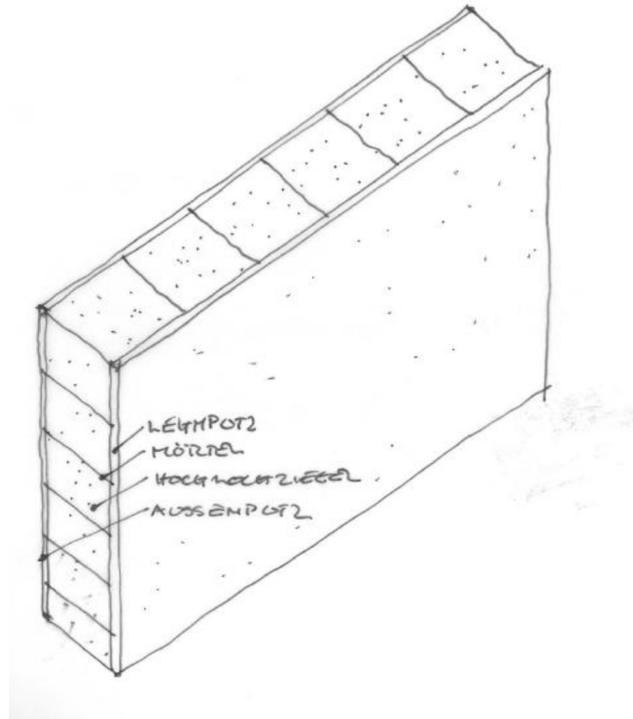




Variante B

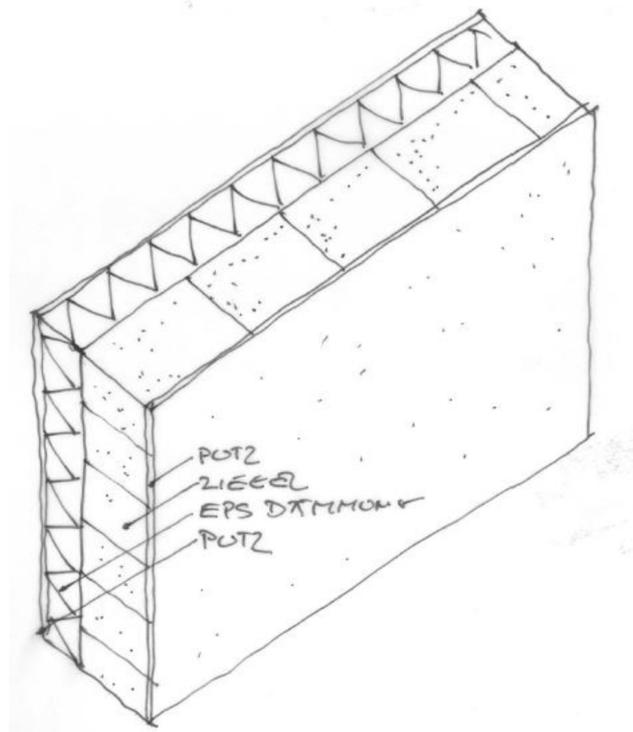
monolithischer Wandaufbau aus einem gebrannten und mit Perliten gefüllter Hochlochziegel (425 mm), welcher mit einem Außenputz (20mm) und einem

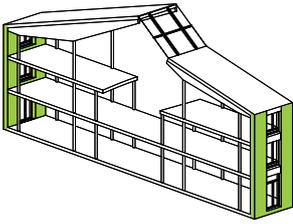
Lehm-Innenputz (20mm) versehen ist



Variante C

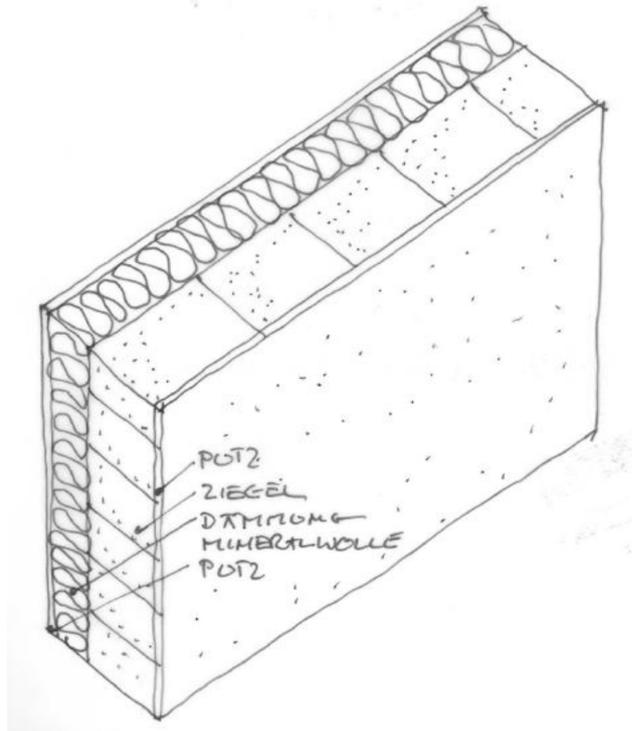
Hochlochziegel (240mm) mit einem Wärmedämmverbundsystem aus EPS (140mm), sowie einem Innenputz (20mm)





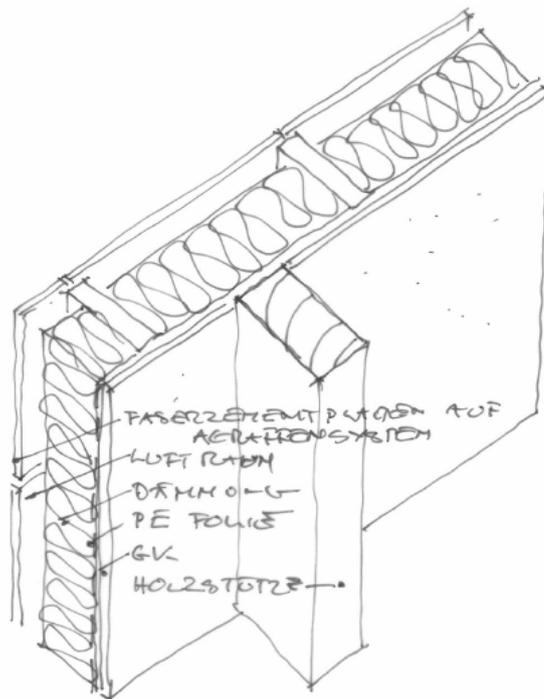
Variante D

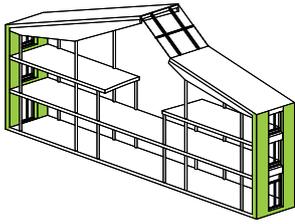
ähnlicher Wandaufbau wie in Variante C, jedoch Wärmedämmverbundsystem mit Mineralwolldämmung



Variante E

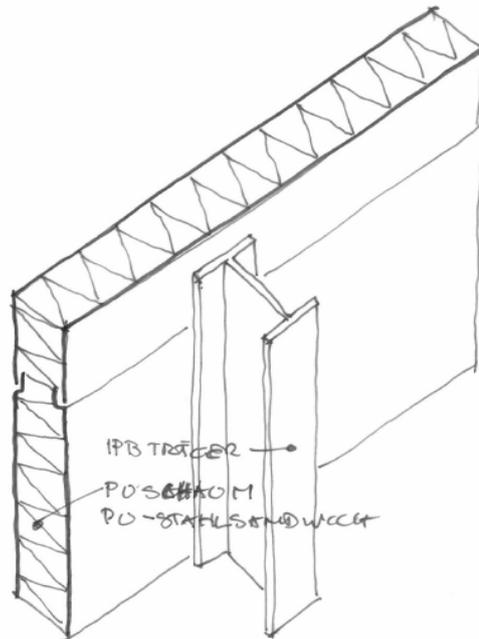
hinterlüftete Faserzementplatte (10mm) auf Agraffensystem, Mineralwolle (150 mm), Unterspannbahn, doppelte Gipskarton Beplankung (25mm), Holzträger innen





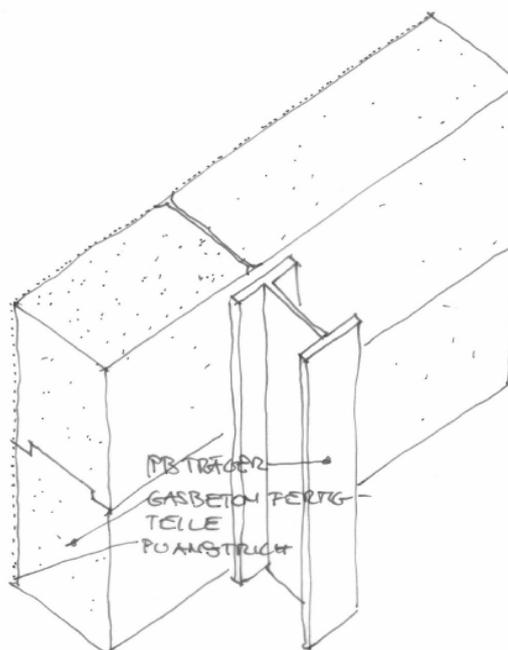
Variante F

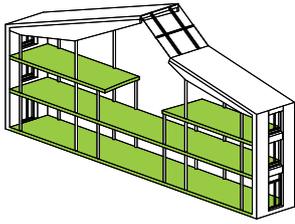
geschäumter PU als Sandwich mit
Blechverkleidung (150 mm), IPB Stahl-
träger



Variante G

PU gestrichenes Gasbetonfertigteil
(300 mm) dahinter IPB Stahlträger





Decke / Tragwerk innen

Im Bereich der Deckenkonstruktionen ist die Wechselwirkung von thermischer Masse auf die Betriebsenergie besonders interessant. Bei der Auswahl der Varianten wurden leichte und träge Konstruktionen betrachtet, um den Einfluss auf das Klima durch Verwendung von schweren Materialien im Vergleich zu alternativen leichten Deckenkonstruktionen zu untersuchen. Das innere Tragwerk wurde in den prinzipiellen Materialvarianten Stahl, Holz und Stahlbeton (Ortbeton / Fertigteile) betrachtet.

Variante A

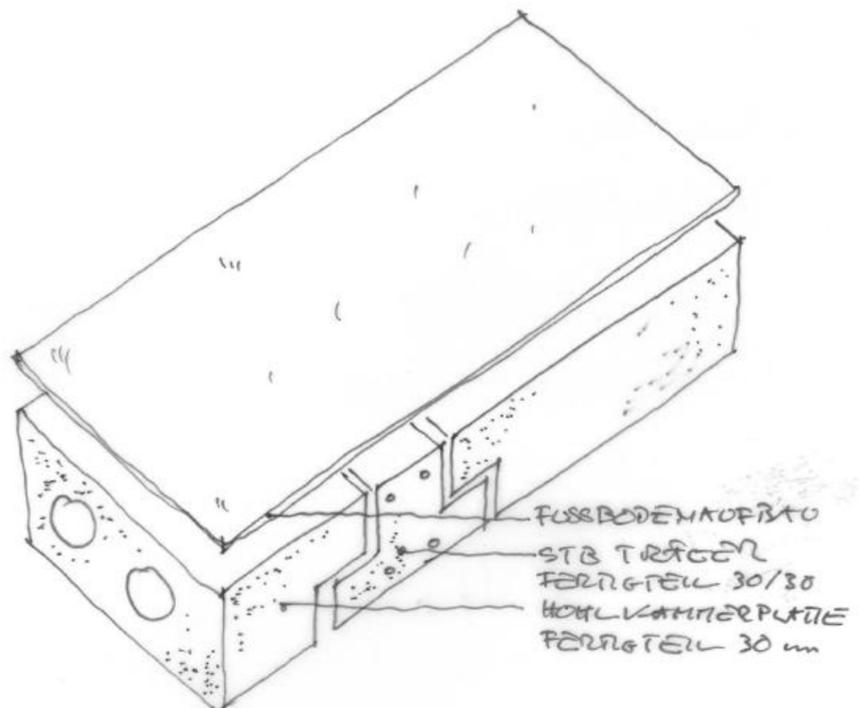
Decke A: STB Hohlkammerplatte als Fertigteil (300mm) auf STB Fertigteilträger 30/30

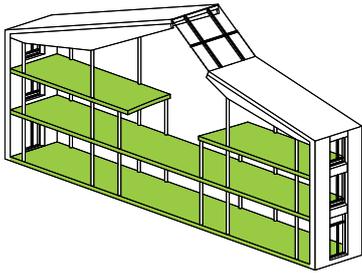
Decke B: STB Hohlkammerplatte als Fertigteil (300 mm) auf Stahlträger IPB 300

Decke C: Betonsteine (200mm) auf Stahlträger IPB 200

Decke D: Ortbeton (300mm)

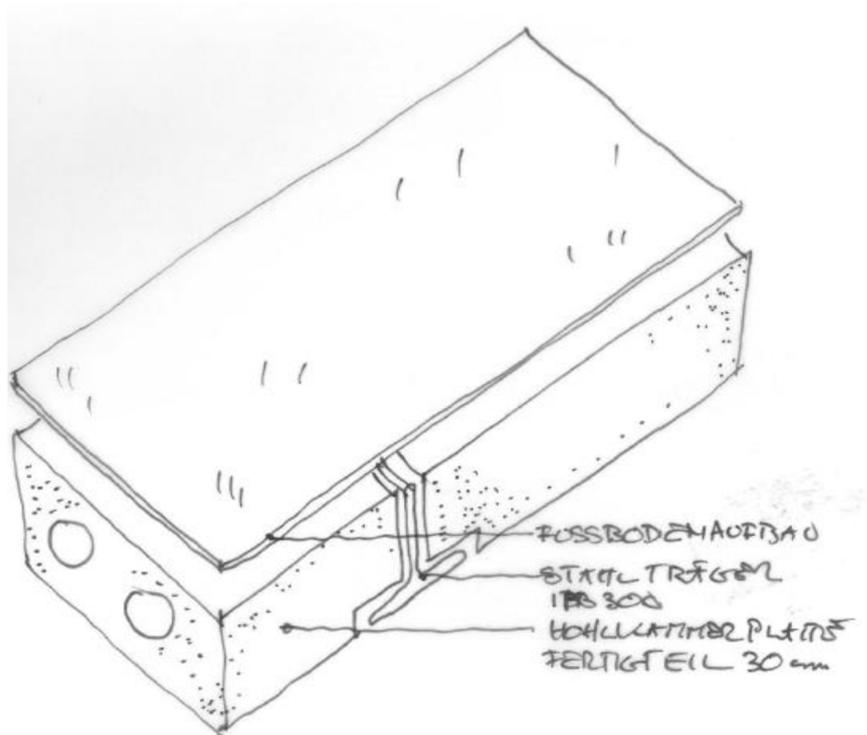
Decke E: STB Hohlkammerplatte als Fertigteil (300mm) auf Holzträger (50mm)





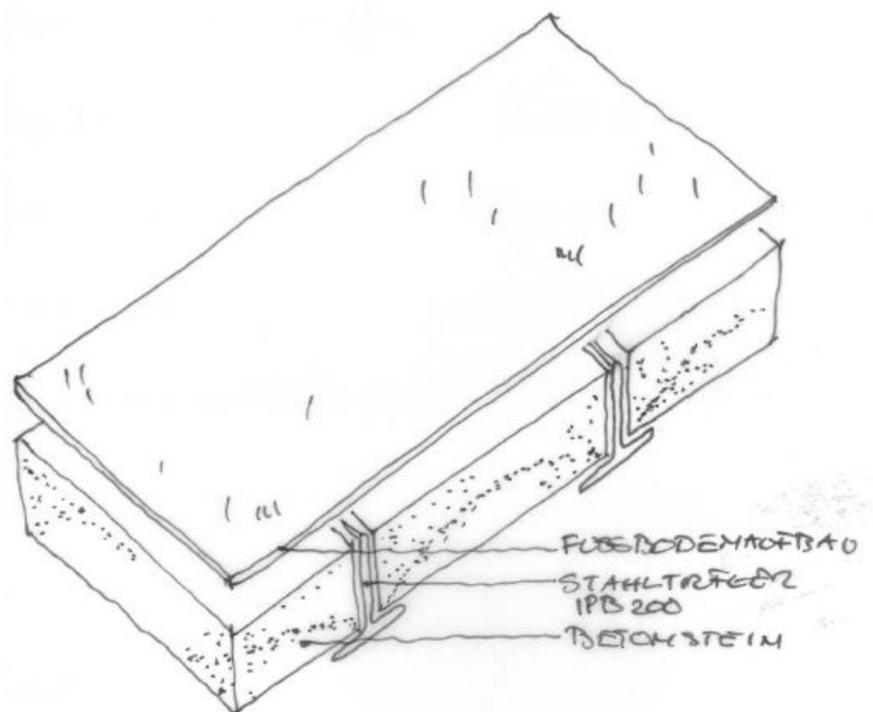
Variante B

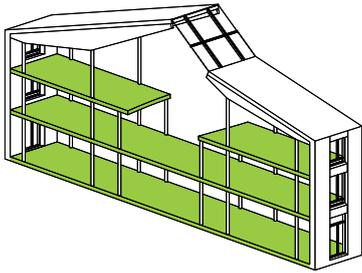
STB Hohlkammerplatte als Fertigteil
(300 mm) auf Stahlträger IPB 300



Variante C

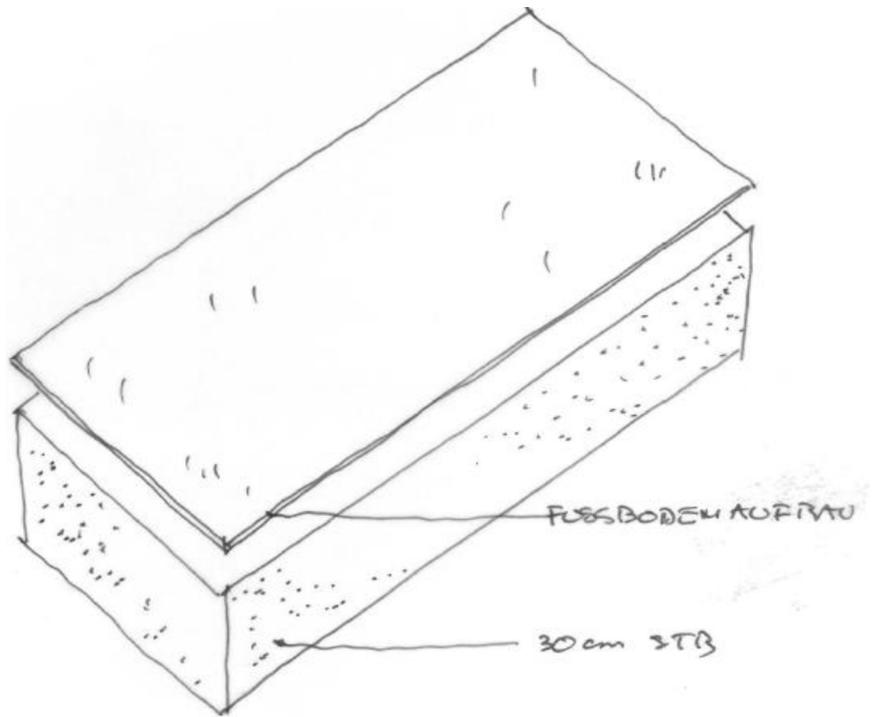
Betonsteine (200mm) auf Stahlträger
IPB 200





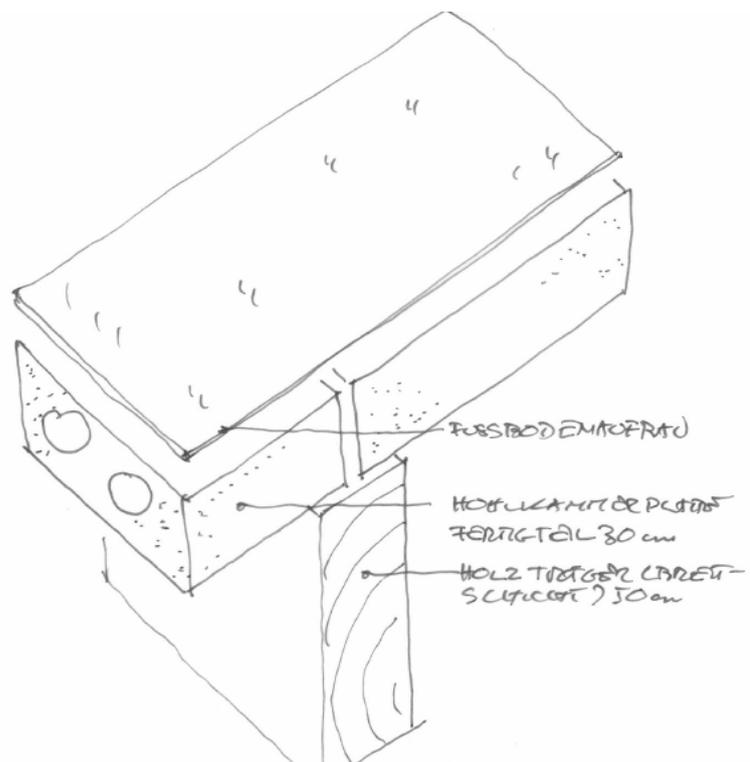
Variante D

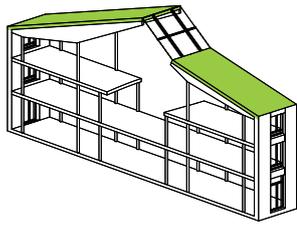
Ortbeton (300mm)



Variante E

STB Hohlkammerplatte als Fertigteil
(300mm) auf Holzträger (50mm)



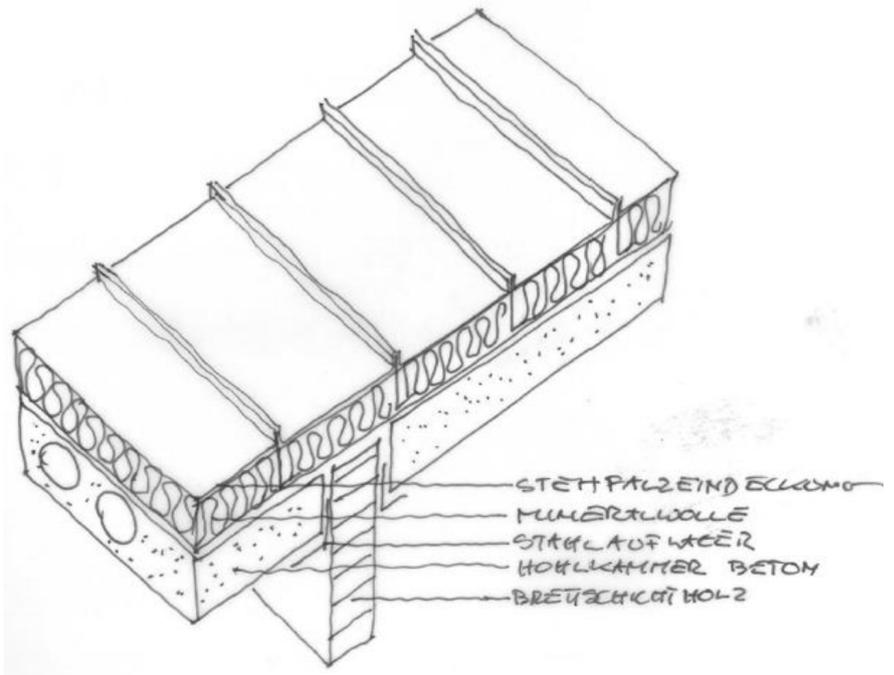


Dach / Dachtragwerk

Abschließend wurde die Konstruktion des Daches betrachtet. Auch hier stellt sich die Frage nach einer leichten oder schweren Konstruktion. Bei ersterer ist der materialgebundene Energieaufwand geringer, die klimatische Leistungsfähigkeit als Speichermasse jedoch ebenfalls kleiner. Alternativ kann ein schweres Dach ausgeführt werden, bei welchem die Speichermasse der Gesamtfunktionalität des Gebäudes zuträglich sein kann. Bei der Eindeckung wurde aufgrund der Vorgaben durch den Architekten / Bauherren eine metallische Eindeckung berücksichtigt. Alternativen kamen bei der geringen Dachneigung nicht in Frage.

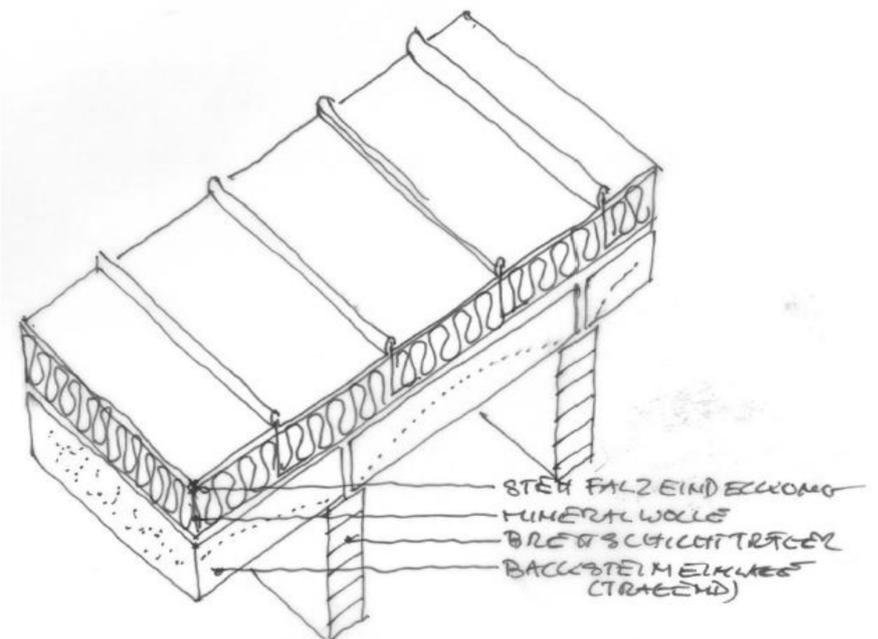
Variante A

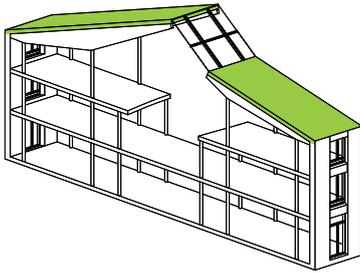
Brettschichtholzträger, Betonhohlkammersteine auf Stahlaufleger



Variante B

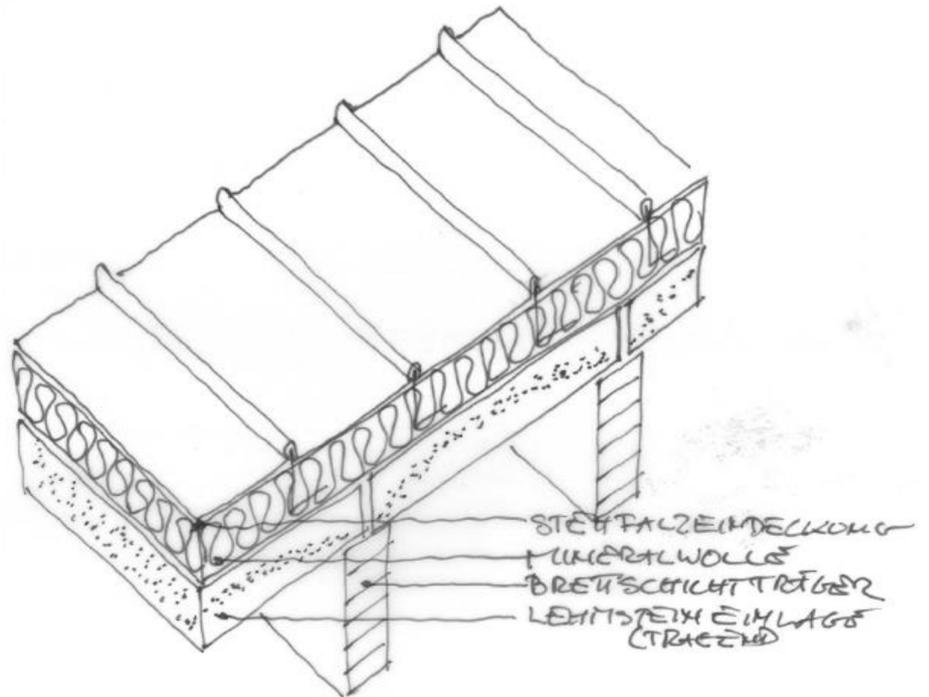
Brettschichtholzträger mittragender Backsteineinlage





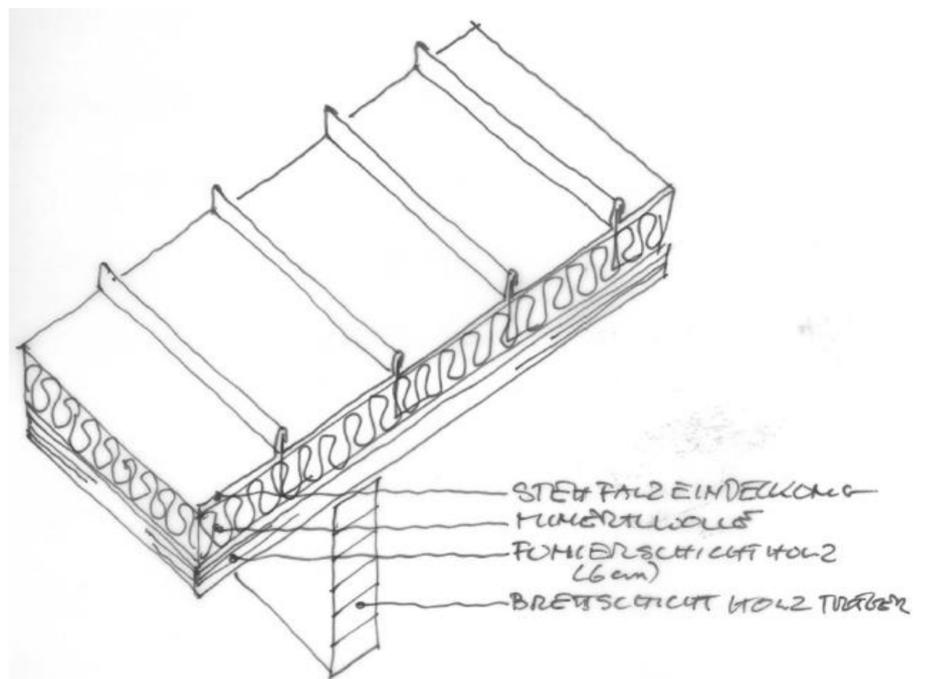
Variante C

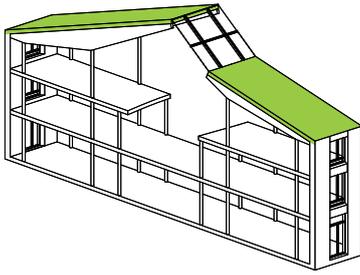
Brettschichtholzträger mit tragender Lehmsteinlage



Variante D

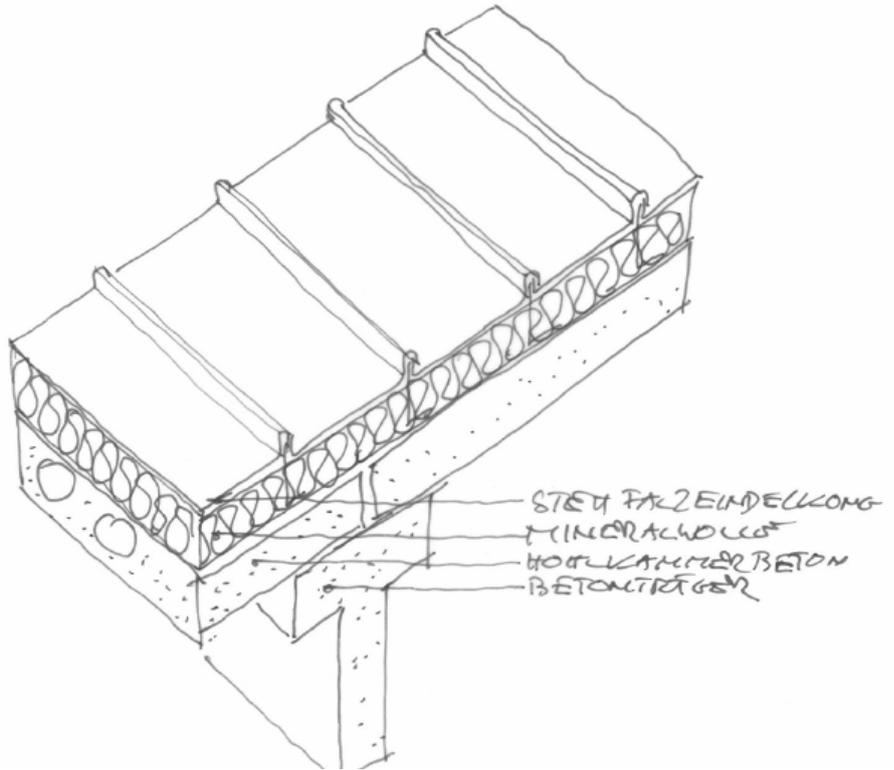
Brettschichtholzträger mit Brettschichtholzlage (60 mm)





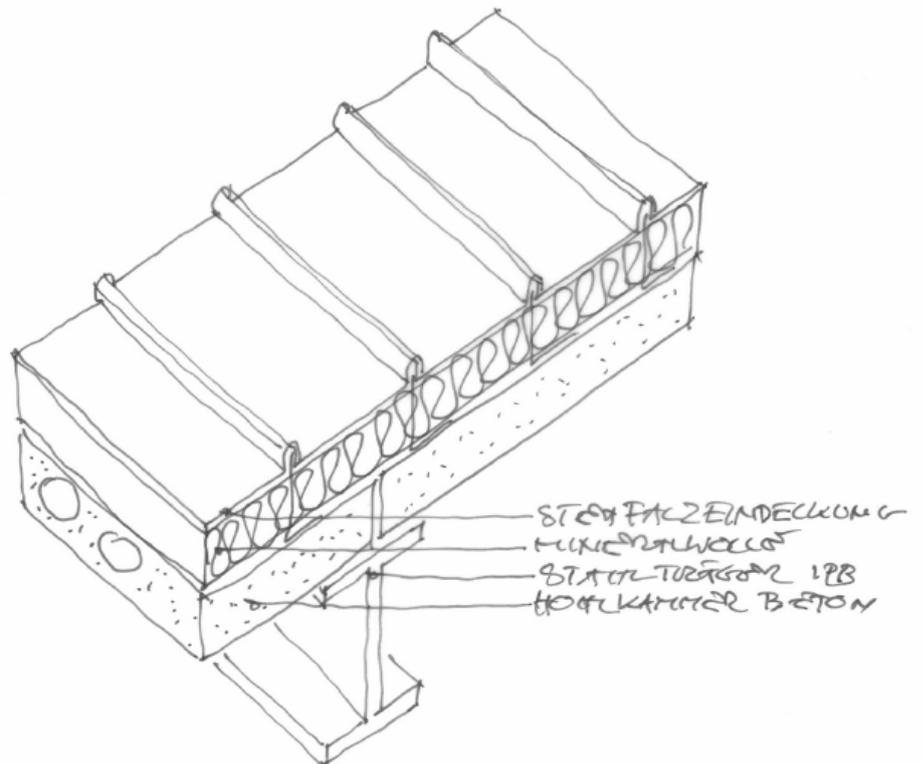
Variante E

STB Träger mit Hohlkammerfertigteilen



Variante F

tahlträger IPB Stahlträger IPB 300



II. 4. Konstruktions- optionen: Bewertung der materialgebundenen Energie

Ökobilanz und Datengrundlage

In der Planungsphase eines Gebäudes werden durch Material- und Konstruktionswahl neben den passiven Auswirkungen auf die Betriebsenergie auch die Umwelteinwirkungen durch die Produkte selbst definiert. Mit der Herstellung der Bauteile, ihrer Konstruktion, Instandhaltung, Reparatur sowie der Demontage entstehen Umwelteinflüsse, die es zu quantifizieren und zu bewerten gilt. Auf dieser Grundlage kann eine Lösung gewählt werden, die Ansprüche des Nutzers mit den besten ökologischen Qualitäten vereint.

Die theoretische Grundlage zur Quantifizierung des Umwelteinflusses liefert die Ökobilanz, deren Rahmen durch DIN 14040 (ff) geregelt ist. Das Prinzip beinhaltet eine Masse, bzw. Volumenbilanz der zu betrachtenden Bauteile und die Verknüpfung mit masse- oder volumenbasierten ökologischen Kenndaten, wie bereits eingangs dargestellt wurde. Diese Daten werden der Ökobau.dat in der Version von 2014 entnommen. Vereinzelt waren Daten nicht vorhanden und sind durch EPDs ergänzt worden, deren Ausstellungsdatum nicht mehr als 3 Jahre zurück liegt.

Betrachtungszeitraum

Der Betrachtungszeitraum ist bereits thematisiert worden und für die detaillierte Betrachtung auf 30 Jahre festgesetzt. Dabei wird der Austausch von einzelnen Produkten durch Mehrfachzahlung berücksichtigt. Liegt die technische Lebensdauer beispielsweise bei 25 Jahren, wird das Produkt zweimal berechnet

Bauteile

Oben ist bereits dargestellt, dass nur ausgewählte Bauteile betrachtet werden. Es werden verschiedene Varianten untersucht, die sich in Konstruktion und gewähltem Material unterscheiden. Ist die Betrachtung der Varianten abgeschlossen, werden diese Bauteile kombiniert um sie in der Betriebsenergie gegenüberzustellen (Siehe III). Die Zusammenstellung von Varianten zu einem Gebäude wird demnach Kombinationen genannt. (Die Varianten sind mit Buchstaben gekennzeichnet, die Kombinationen sind nummeriert.)

Für die zu betrachtenden Bauteile Fassade und Dach waren bereits konstruktive Bereiche bestimmt. So war der Fensteranteil der Fassade bereits mit einem Drittel zu zwei Dritteln opaker Fläche definiert. Die Fensterbereiche waren detailliert und bedurften keiner weiteren Untersuchung. Der Brüstungsbereich unter den Fenstern ist ebenfalls gleichbleibend. Für das Dach war die Dacheindeckung bereits ebenfalls definiert. Hier wurden verschiedene Tragkonstruktionen gegenübergestellt.

Indikator

Um die Umweltbelastung anzuzeigen können unterschiedliche Indikatoren ausgewertet werden. Hier wird vor allem nicht erneuerbare Primärenergie (und vereinzelt Treibhauspotenzial) ausgewiesen, da der Indikator den Vorteil bietet, die Energiemengen von Verbrauchsenergie und Grauer Energie zusammengeführt, auswerten zu können.

II. 4.1. Bewertung der Kreislauffähigkeit

Die DIN 15804 nennt die Produktionsphase „A-Module“ und fasst darin die Herstellung der Bauteile, deren Transport und ihre Konstruktion zusammen. In den „B-Modulen“ wird der Betrieb eines Gebäudes erfasst. Hierbei wird die Betriebsenergie neben dem Aufwand zur Instandsetzung und Reparaturen gezählt.

Die „C-Module“ beinhalten die Prozesse nach Funktionsverlust, also Rückbau (C1), Transport (C2) und Aufbereitung (C3). Der Aufwand zur Aufbereitung, beziehungsweise die Möglichkeit den sekundären Stoff für ein nächstes Produkt zu verwenden wird darin berücksichtigt. Auch eine Endlagerung von Baustoffen auf Deponien ist mit Umweltkennwerten belegt und wird hier ausgewertet (C4).

Während bisher die Erstellung der Bauprodukte mit ihrem kategorischen End of Life betrachtet wurden, wird in den vorliegenden Auswertungen, die Dekonstruktion (das C1-Modul) eines Bauteils mitbetrachtet.

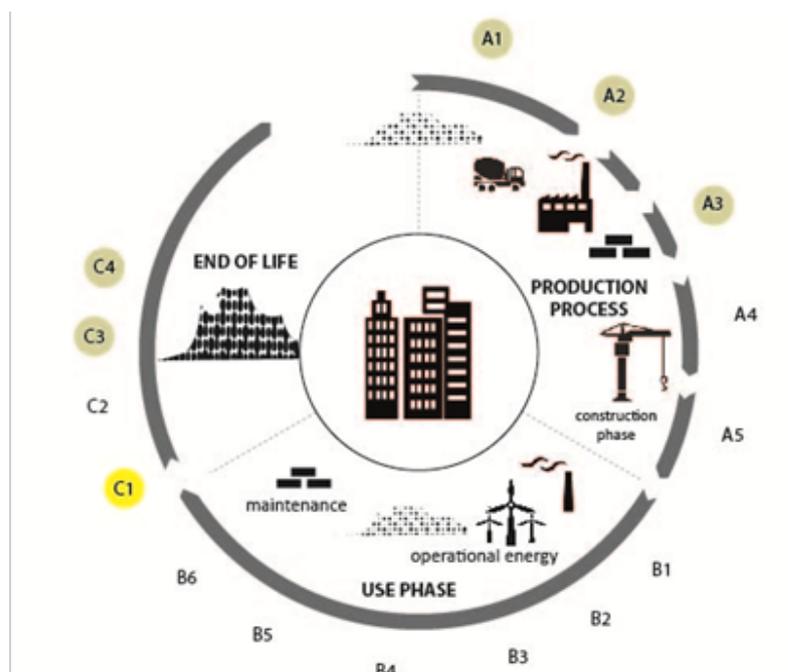


Abbildung 13: Lebenszyklusphasen. Grüne Punkte zeigen bereits berücksichtigte Phasen, gelb die neu mit einbezogene.

| PCR phases according to EN 15804:2012 | | |
|--|----|---|
| Production stage | A1 | Raw material supply |
| | A2 | Transport |
| | A3 | Manufacturing |
| Construction stage | A4 | Transport |
| | A5 | Construction/ installation process |
| Usage phase | B1 | Use |
| | B2 | Maintenance including transport |
| | B3 | Repair and transport |
| | B4 | Replacement including transport |
| | B5 | Refurbishment including transport |
| | B6 | Operational energy use |
| | B7 | Operational water use |
| End of life stage | C1 | De-construction demolition |
| | C2 | Transport |
| | C3 | Re-use recycling |
| | C4 | Final disposal |
| Benefits and loads for the next product system | D | Re-use recovery and recycling potential |

Abbildung 14: Lebenszyklusphasen nach EN 15804:2012

Ein idealer Stoffkreislauf bindet Rohstoffe für ihre Nutzung und gibt sie in gleicher Qualität an den nächsten Nutzungskreislauf weiter. Übertragen auf ein Gebäude bedeutet dies, dass nach Ende einer Funktion, ein Bauwerk, seine Bauteile und Baustoffe einer neuen Nutzung zugänglich sein sollte. Je weniger Energie zur Aufbereitung von einer zur nächsten Phase nötig ist, desto besser.

Der Abriss und die damit verbundene Mischung von Müll ermöglicht eine eingeschränkte Nutzung. Beim kontrollierten Rückbau werden Schichten oder Module / Baustoffe voneinander getrennt, um diese leichter wieder (für den gleichen Zweck) oder weiter (für einen ähnlichen Zweck) zu benutzen.

Der kontrollierte Rückbau ist zeit-, maschinen- und damit kostenintensiver als der Abriss. In der Praxis wird er bisher wenig angewandt. Erst wenn das sekundäre Material wertvoller ist und den Aufwand zur Dekonstruktion überschreitet, wird ein Rückbau durchgeführt (wie zum Beispiel bei Bewehrungsstahl). Das Verhältnis von Aufwand der Dekonstruktion zu Bereitstellung von Ressourcen ist daher entscheidend.

Im Sinne des kreislaufgerechten Bauens werden Ressourcen mit Energiewerten belegt, die keiner weiteren Nutzung zugeführt werden können. Kann ein Bauteil oder Material für eine weitere Funktion bereitgehalten werden, wird es in der Berechnung als Gutschrift einbezogen.

In der im Folgenden dargestellten Berechnung wird die Konstruktion einmal herkömmlich dargestellt (Herstellung A1-A3, End of Life C3-C4) und eine Variante die als „maximal Reuse“ bezeichnet wird. Hier wird zusätzlich die Demontage mit dem Ziel der Wieder- und Weiternutzung der Bauteile untersucht. Absichtlich ist der englische Begriff Reuse benutzt, da er Wieder- und Weiternutzung auf Produktebene, sowie stoffliche und thermische Verwertung umfasst.

Da die Demontage von Bauteilen nur vereinzelt angewandt wird, ist die wissenschaftliche Dokumentation dieser Prozesse spärlich. Um sich diesem Thema zu nähern wurde der Herstellungsprozess untersucht und daraus die Demontage abgeleitet. Dies wurde mit den wenigen vorhandenen Unterlagen abgeglichen.

Der Betrachtungsrahmen wurde auf das vorliegende Projekt abgestimmt, so dass ein dreigeschossiges Gebäude betrachtet wurde.

Die einzelnen Arbeitsschritte wurden mit Maschinenzeit belegt. Aus der Leistung der Maschinen und der Einsatzzeit wurde die Arbeit in Kilowattstunden ermittelt. Diese lässt sich in Mega Joule umrechnen, um so mit der Gesamtenergiebilanz verrechnet zu werden. Manuelle Arbeit ohne Maschinen wurde vernachlässigt.

In der Variante Maximal Reuse wurde der Aufwand zur Dekonstruktion zudem in der Herstellung und End of Life entstandenen Energieaufwand addiert. Konnten Produkte teilweise oder völlig zerstörungsfrei zurück gebaut werden, wurde eine Gutschrift festgehalten. Da es sich um ein theoretisches Modell handelt, wurden wieder-und weiter nutzbare Bauteile überschlägig ermittelt.

Um die Vergleichbarkeit zu erhöhen, wurde für die konventionellen Varianten die Abrissenergie addiert. Werte sind Schätzungen und müssten in einer weiterführenden Studie mit empirischen Daten hinterlegt werden.

| Baustoffe | Dekonstruktionsanleitung | Maschinenzeit | Arbeitszeit |
|----------------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------------|
| Ziegel mit WDVS (EPS, HBCD-frei) | Aufstemmen der Putzschicht innen | 15 min/m ² * 1 kW Bohrhammer | 15min/ m ² |
| | Abschneiden der Putz und Gewebesicht | 45 min/m ² * 1 kW Bohrhammer | 15min/m ² |
| | Trennen der Dämmung von Mauerwerk | 15 min/m ² * 1 kW Bohrhammer Kran 9 kW *60min | 15min/m ² |
| | Aufstemmen und lösen des MW Verbunds | 30 min/m ² * 1 kW Bohrhammer Radlader 55 kW *30min | 15min/m ² |
| | | 27,25 kWh | |
| | | 98,1 MJ | 60 min/m² |

Abbildung 15: Dekonstruktionsvergleich: Abrissenergie / Zeitaufwand

II. 4.2. Bewertung der Fassadenvarianten

Unter II. 3 wurden die Fassaden, die für die Alnatura Firmenzentrale relevant waren vorgestellt. Insgesamt acht Varianten wurden betrachtet. Die Fassadenflächen mit den unveränderlichen Bauteilen (ca. 30 %) bestehen aus Fenstern mit einer 3-fach-Verglasung und einem Holzrahmen, einer darunter liegenden massiven Brüstung aus Naturstein, sowie einem Isokorb, weiterer Dämmung, Akustikpaneelen, OSB-Platten und Verbindern aus Stahl. Für veränderliche und unveränderliche Bauteile wurde die Graue Energie konventionell und als max. Reuse Variante ermittelt.

Die Auswertung der Grauen Energie bezieht sich auf einen Quadratmeter Fassadenfläche und zeigt für die konventionelle Betrachtung Werte von 734-1608 MJ/m² Fassadenfläche. Die max. Reuse Varianten liegen mit 190-893 MJ/m² Fassadenfläche deutlich darunter.

Die unveränderlichen Bauteile sind für den Großteil der Umweltbeeinträchtigung verantwortlich. Allein 1341 MJ/m² werden für die konventionelle Variante gebunden. Für die max. Reuse Variante sind es 612 MJ/m². Durch die Verteilung der Anteile von 33% zu 66% verändern sich die Ergebnisse.

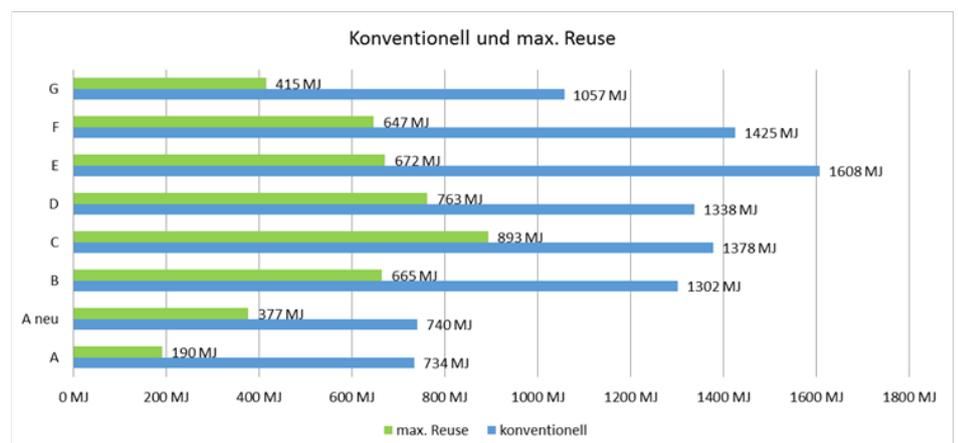


Abbildung 16: Fassaden: Übersicht konventionell und max. reuse

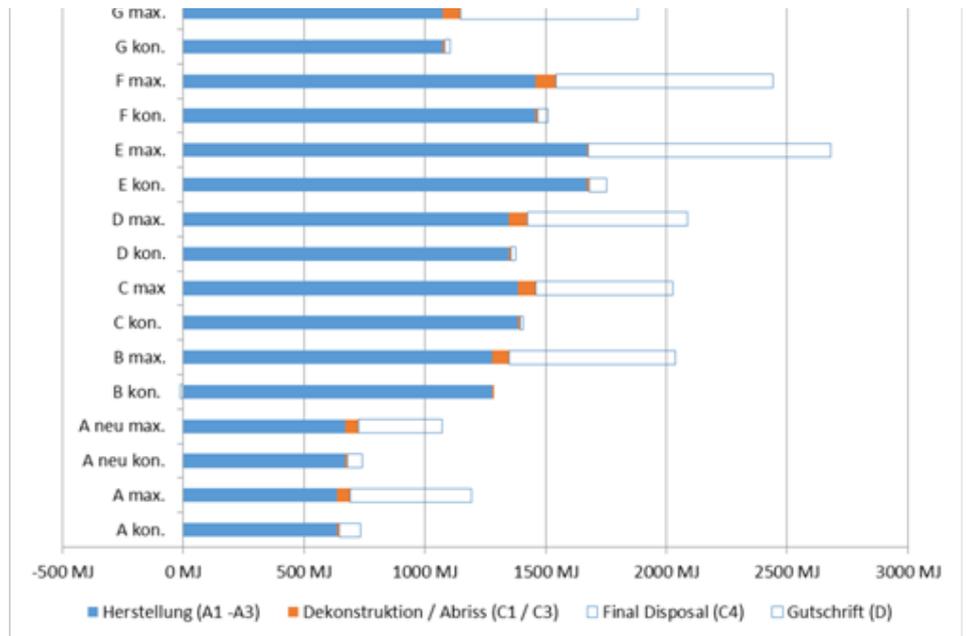


Abbildung 17: Fassaden: Graue Energie nach Phasen.
Gutschriften werden als negative Zahlen addiert.

Die Lehmvarianten A und A neu zeigen die geringsten Werte an Grauer Energie in beiden Versionen. Würde man nur die opaken Bereiche (die sich verändernden Bauteile) betrachten, wären die Werte noch geringer. Auffällig ist, dass alle max. Reuse Varianten geringer ausfallen als die konventionellen. In der Logik der Grafik bedeutet dies, dass der Aufwand zur Demontage geringer wäre als die gewonnenen sekundären Produkte. Der investierte Mehraufwand würde sich lohnen. In der Abbildung 12 zeigen die orangefarbenen Bereiche die angenommenen Werte für den Aufwand der Demontage. Er macht bis zu 30% des Gesamtenergieaufwandes der Darstellung aus. Auf den Quadratmeter Fassadenfläche bezogen werden etwa 50- 90 MJ angesetzt.

| Summe | Herstellung (A1-A3) | Dekonstruktion / Abriss (C1 / C3) | Final Disposal (C4) | Gutschrift (D) |
|---------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|----------------|
| 734 MJ | 636 MJ | 9,30 MJ | 89 MJ | 0 MJ |
| 190 MJ | 636 MJ | 56,00 MJ | 0 MJ | -501 MJ |
| 740 MJ | 668 MJ | 9,00 MJ | 63 MJ | 0 MJ |
| 377 MJ | 668 MJ | 56,00 MJ | 0 MJ | -347 MJ |
| 1302 MJ | 1277 MJ | 9,30 MJ | 15 MJ | 0 MJ |
| 665 MJ | 1277 MJ | 73,62 MJ | 0 MJ | -686 MJ |
| 1378 MJ | 1384 MJ | 9,30 MJ | -14 MJ | 0 MJ |
| 893 MJ | 1384 MJ | 76,36 MJ | 0 MJ | -567 MJ |
| 1338 MJ | 1348 MJ | 9,30 MJ | -19 MJ | 0 MJ |
| 763 MJ | 1348 MJ | 76,36 MJ | 0 MJ | -662 MJ |
| 1608 MJ | 1671 MJ | 9,30 MJ | -73 MJ | 0 MJ |
| 672 MJ | 1671 MJ | 5,46 MJ | 0 MJ | -1005 MJ |
| 1425 MJ | 1458 MJ | 9,30 MJ | -42 MJ | 0 MJ |
| 647 MJ | 1458 MJ | 86,00 MJ | 0 MJ | -897 MJ |
| 1057 MJ | 1073 MJ | 9,30 MJ | -25 MJ | 0 MJ |
| 415 MJ | 1073 MJ | 76,36 MJ | 0 MJ | -734 MJ |

Abbildung 18: Fassaden Übersicht

II. 4.3. Bewertung der Dachvarianten

Sechs Varianten wurden für das Dach untersucht. Die mineralische Dämmung und die Stehfalzeindeckung sind für alle Varianten gleich.

Beschreibung der Bauteile

Dach A: Brettschichtholzträger, Betonhohlkammersteine auf Stahlaufleger

Dach B: Brettschichtholzträger mittragender Backsteineinlage

Dach C: Brettschichtholzträger mit tragender Lehmsteinlage

Dach D: Brettschichtholzträger mit Brettschichtholzlage (60 mm)

Dach E: STB Träger mit Hohlkammerfertigteilen

Dach F: Stahlträger IPB Stahlträger IPB 300

Auch für die Dachvarianten ist der Anteil der unveränderlichen Bauteile relativ hoch. In der konventionellen Variante macht er 336 MJ/m² aus, in der max. Reuse 432 MJ. Der geringe Unterschied zwischen beiden Varianten liegt in dem relativ hohen Rückgewinnungspotential, das bereits in der konventionellen Methode enthalten ist. Auch nach jetzigem Stand kann davon ausgegangen werden, dass die Metalleindeckung zurückgeführt wird. Dementsprechend wirkt sich das Recyclingpotential positiv auf die Bilanz aus. Dies ist auch der Abbildung 15 zu entnehmen. Die (leeren) weißen Balken sind auch für die konventionelle Variante relativ hoch.

Die Werte für die konventionellen Varianten liegen im Bereich von 409-2036 MJ/m² Dachfläche. Die max. Reuse Ausführungen liegen darunter mit 362 – 885 MJ/m². Bei den Varianten C und D fällt auf, dass konventionell und max. Reuse sehr nah beieinander liegen. Der Aufwand, die Konstruktion zu zerlegen, hat einen geringen Gegenwert.

Das leichte Dach, eine Holzkonstruktion mit Holzverschalung, zeigt die besten Werte (Variante D). Eine Variante mit Lehmstein kommt den Werten nahe (Variante C). Die höchsten Werte zeigt Variante B. Durch den Backstein werden hohe Mengen an Energie gebunden. Zwar können wesentliche Mengen durch die kontrollierte Demontage zurück gebracht werden, diese Lösung zeigt jedoch immer noch die höchsten Werte.

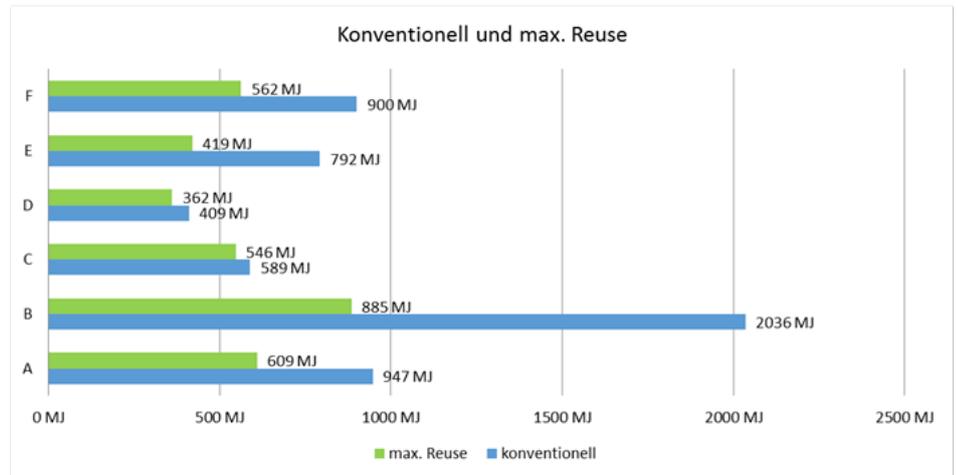


Abbildung 19: Dach: Übersicht konventionell und max. reuse

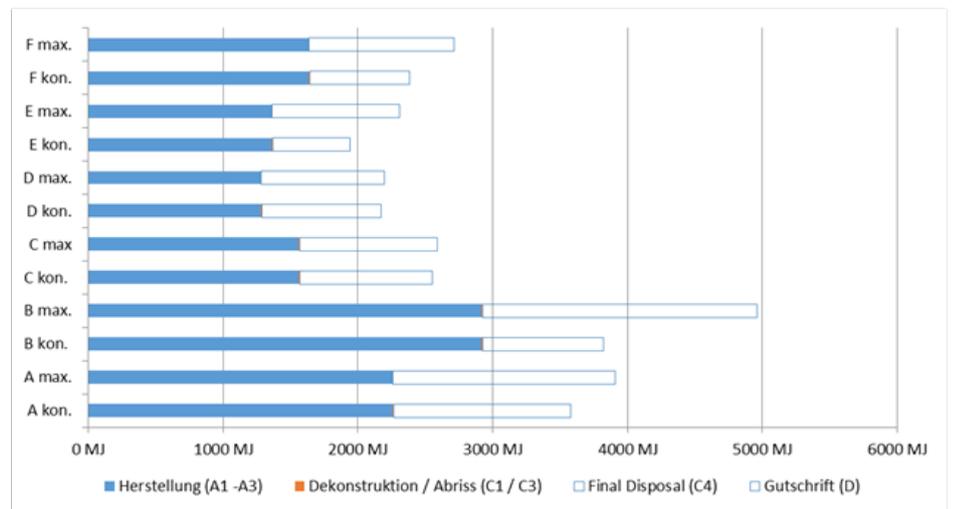


Abbildung 20: Dach: Graue Energie nach Phasen. Gutschriften werden als negative Zahlen addiert.

| Summe | Herstellung (A1-A3) | Dekonstruktion / Abriss (C1 / C3) | Final Disposal (C4) | Gutschrift (D) |
|---------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|----------------|
| 947 MJ | 2253 MJ | 9 MJ | -1315 MJ | 0 MJ |
| 609 MJ | 2253 MJ | 5 MJ | 0 MJ | -1649 MJ |
| 2036 MJ | 2918 MJ | 9 MJ | -892 MJ | 0 MJ |
| 885 MJ | 2918 MJ | 5 MJ | 0 MJ | -2039 MJ |
| 589 MJ | 1562 MJ | 9 MJ | -982 MJ | 0 MJ |
| 546 MJ | 1562 MJ | 5 MJ | 0 MJ | -1021 MJ |
| 409 MJ | 1280 MJ | 9 MJ | -880 MJ | 0 MJ |
| 362 MJ | 1280 MJ | 0 MJ | 0 MJ | -919 MJ |
| 792 MJ | 1359 MJ | 9 MJ | -576 MJ | 0 MJ |
| 419 MJ | 1359 MJ | 5 MJ | 0 MJ | -945 MJ |
| 900 MJ | 1632 MJ | 9 MJ | -741 MJ | 0 MJ |
| 562 MJ | 1632 MJ | 5 MJ | 0 MJ | -1075 MJ |

Abbildung 21: Dach: Übersicht

II. 4.4. Bewertung der Deckenvarianten

Für das horizontale Tragwerk wurden fünf Varianten betrachtet. Alle sind mit einem Fußbodenaufbau belegt (unveränderliche Bauteile).

Beschreibung der Bauteile

Decke A: STB Hohlkammerplatte als Fertigteil (300mm) auf STB Fertigteilträger 30/30

Decke B: STB Hohlkammerplatte als Fertigteil (300 mm) auf Stahlträger IPB 300

Decke C: Betonsteine (200mm) auf Stahlträger IPB 200

Decke D: Ortbeton (300mm)

Decke E: STB Hohlkammerplatte als Fertigteil (300mm) auf Holzträger (50mm)

Die Werte für die konventionellen Varianten der Deckenkonstruktion zeigen mit Werten von 564-2500 MJ/m² eine ähnlich große Bandbreite wie die Dachkonstruktionen. Die Hohlkammerplatten auf einer Holzkonstruktion ist die leichteste Konstruktion und zeigt auch in beiden Versionen die geringsten Werte. Ortbeton zeigt nur wegen seines Gewichtes die maximalen Werte.

Interessant ist, dass eine Demontage von Ortbeton in dieser Darstellung keinen Vorteil darstellt. Der Aufwand des Trennens erfordert viel Maschinenzeit und die Wiedernutzung ist eingeschränkt. Daher überschreitet die max. Reuse Variante die konventionelle.

Für den Vergleich der Decken spielt der gleichbleibende Fußbodenaufbau eine untergeordnete Rolle. Hier ist die Masse der wesentliche Parameter; so zeigen die Hohlkammerdecken gegenüber den massiven Bauteilen einen deutlichen Vorteil. (Die Umweltkennwerte der massiven Bauteile sind drei- bis viermal höher.) Ein modulares System zeigt für die Nachnutzungsszenarien deutliche Vorteile, da Bauteile anteilig für eine spätere Funktion bereitgestellt werden können.

Eine weitere Auffälligkeit ist der Einfluss der Spannweiten. Ein kleineres Raster von Trägern, vor allem als Hybridkonstruktion, erhöht die Herstellungsenergie.

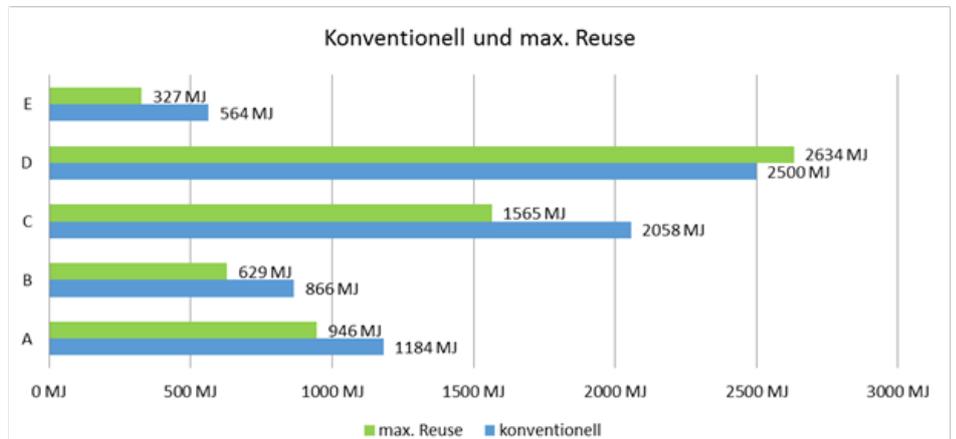


Abbildung 22: Decken: Übersicht konventionell und max. reuse

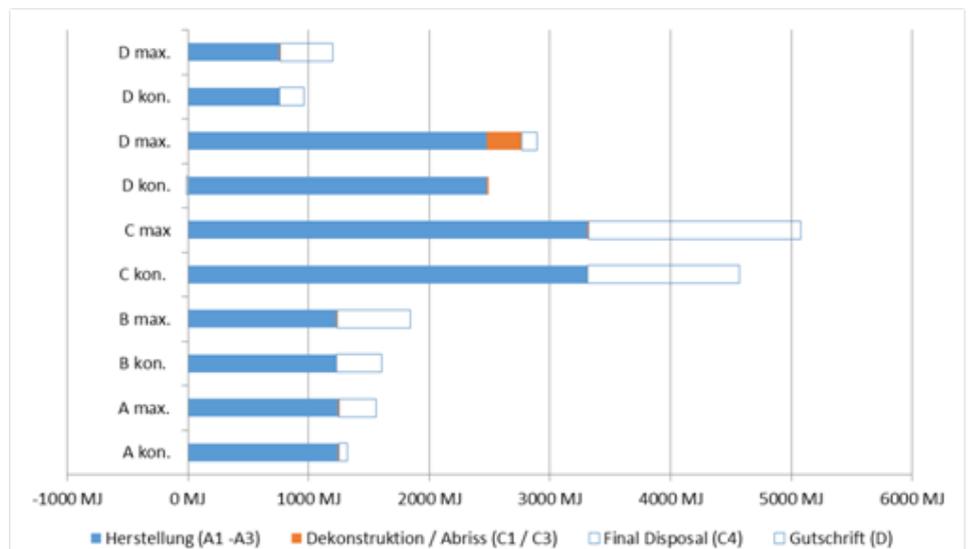


Abbildung 23: Decken: Graue Energie nach Phasen. Gutschriften werden als negative Zahlen addiert.

| Summe | Herstellung (A1 -A3) | Dekonstruktion / Abriss (C1 / C3) | Final Disposal (C4) | Gutschrift (D) |
|---------|----------------------|-----------------------------------|---------------------|----------------|
| 1184 MJ | 1243 MJ | 9 MJ | -68 MJ | 0 MJ |
| 946 MJ | 1243 MJ | 12 MJ | 0 MJ | -308 MJ |
| 866 MJ | 1224 MJ | 9 MJ | -367 MJ | 0 MJ |
| 629 MJ | 1224 MJ | 12 MJ | 0 MJ | -607 MJ |
| 2058 MJ | 3305 MJ | 9 MJ | -1257 MJ | 0 MJ |
| 1565 MJ | 3305 MJ | 16 MJ | 0 MJ | -1756 MJ |
| 2500 MJ | 2479 MJ | 9 MJ | 11 MJ | 0 MJ |
| 2634 MJ | 2479 MJ | 283 MJ | 0 MJ | -128 MJ |
| 564 MJ | 752 MJ | 9 MJ | -198 MJ | 0 MJ |
| 327 MJ | 752 MJ | 12 MJ | 0 MJ | -438 MJ |

Abbildung 24: Decken: Übersicht

III. Evaluierung

Im folgenden Kapitel wird die abstrakte Betrachtung der Bauteile hinsichtlich grauer Energie und Rezyklierbarkeit mit dem Gebäudeentwurf der Alnatura Welt zusammengeführt und bewertet.

Die Betrachtung bezieht sich auf ein vereinfachtes Modell das eine Scheibe des Gebäudes darstellt. Somit können die wesentlichen Komponenten, Dach, Decke und Fassade, überschlägig bewertet werden und mit den Ergebnissen der thermischen Simulationen zusammengeführt werden. Diese Herangehensweise ermöglicht es Varianten unter Berücksichtigung einer hohen ökologischen Effizienz zu vergleichen und ein ganzheitliches Konzept zu formulieren, welches vergleichbare Energiekennwerte zu Grunde liegt.

Alle Varianten wurden in einer mehrdimensionalen Bewertungsmatrix verglichen die folgende Faktoren parallel bewertet:

- Betriebsenergie: jährlicher Energiebedarf pro m² für den Gebäudebetrieb;
- Komfort: Prognosen zur Aufenthaltsqualität werden durch die Ergebnisse der thermischen Simulationen gestellt;
- Graue Energie: Quantifizierung der grauen Energie durch eine Lebenszyklusanalyse;
- Rezyklierbarkeit: Evaluierung der Wiederverwendbarkeit.

Dabei werden die Werte für die graue Energie als auch für die Betriebsenergie auf die Fläche der repräsentative Gebäudescheibe bezogen.

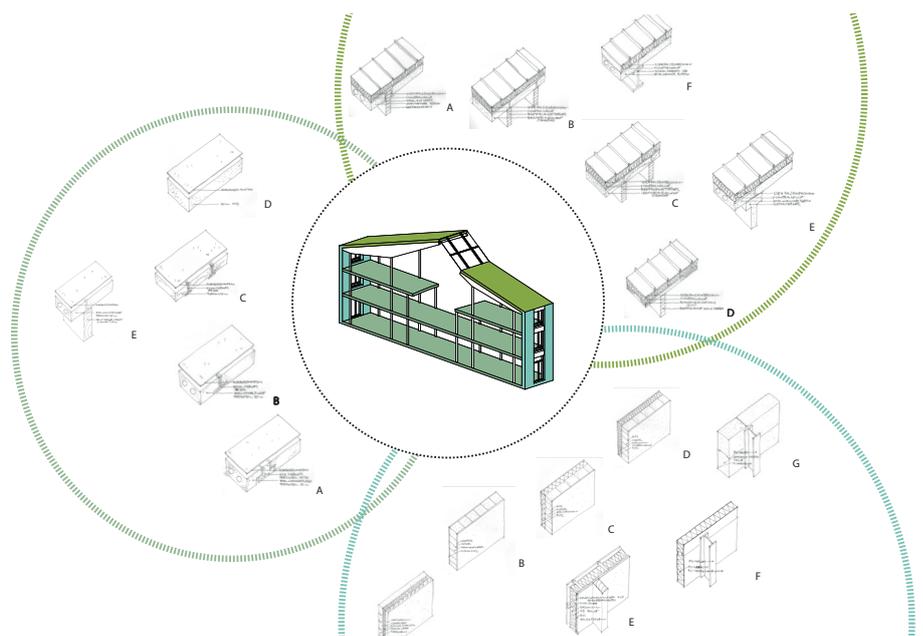


Abbildung 25: Bauteilvarianten

Durch die errechneten und gegenübergestellten Ergebnisse der grauen Energie mittels Lebenszyklusanalyse und des Betriebsenergiebedarfs mittels Simulation können der Entwurfskoordination und der Entscheidungsprozesssteuerung neue Parameter zur Verfügung gestellt werden. Diese Parameter helfen schon in einer frühen Entwurfsphase im Planungsprozess Entscheidungen hinsichtlich des benötigten Energieaufwands zu treffen und diesen positiv z.B. mittels Konstruktions- oder Materialänderungen zu beeinflussen.

Im Zuge der Entwurfsplanung für die Alnatura Arbeitswelt wurden die in Kap. II aufgeführten Auswahloptionen zu Bauteilen aufgeführt und werden nun am bestehenden Gebäudemodell angewandt. Insgesamt wurden 9 Kombinationen erstellt, in welchen die unterschiedlichen Dach-, Decken- und Fassadenbauteilvarianten berechnet wurden

Voraussetzung für diese Auswahl ist es einerseits unter dem Gesichtspunkt der Konstruktion sinnvolle Kombinationen zu untersuchen, andererseits jene zu berechnen, die in der Praxis häufig angewandt werden. Alle Kombinationen sollten mit dem bereits aus dem definierten Entwurf resultierenden Gebäudekonzept kompatibel sein.

Ein grundlegender Parameter der Entwurfsplanung ist die Tageslichtnutzung: die vorgeschlagenen Konstruktionsvarianten der Fassade sollten das vorhandene Konzept nicht verändern. Obwohl der Verglasungsanteil hohen Einfluss auf den Anteil der grauen Energie hat, ist zu Gunsten der Tageslichtnutzung für den sommerlichen Wärmeschutz der dazu resultierenden Glasanteil in der Fassade gesetzt und nicht zu verändern.

Eine weitere Vorgabe ist, das Tragwerk im geplanten Achs- und Strukturmaß nicht zu ändern. Ebenso ist die maximale Kompatibilität mit vorhandenen Raumgeometrien gefordert.

Evaluation des Entwurfsergebnisses vor dem Hintergrund der materialgebundenen Energie

Evaluierte Kombinationen:

- Kombination 1: Konventionell
- Kombination 2: Konventionell plus
- Kombination 3: Advanced
- Kombination 4: Lehmwand
- Kombination 5: Lehmbau
- Kombination 6: Holzbau
- Kombination 7: Stahlbau I
- Kombination 8: Stahlbau II
- Kombination 9: Betonbau

Die aus der Betrachtung der grauen Energie resultierende vorgeschlagenen Variantenkombinationen wurden bezüglich des thermischen Komforts untersucht. Die Materialität hat großen Einfluss auf das thermische Verhalten und somit auf das Innenraumklima. Die bereits definierten Anforderungen an die

Aufenthaltsqualität waren schon in der Entwurfsphase definiert (s. Kapitel I). Alle Kombinationen wurden auf den Grad ihrer Wirksamkeit und Synergien überprüft.

Bei der Evaluation der 9 Bauteilkombinationen wurde, wie schon bei den einzelnen Bauteilvarianten, eine große Spannweite der einzubringenden materialgebundenen Energie festgestellt. Dabei wurden nur Kombinationen berücksichtigt, welche auch eine realisierbare Gebäudekonstruktion ermöglichen. Es kann dabei in drei grundsätzliche Kategorien der Konstruktionen in den Kombinationen unterschieden werden. In der ersten Kategorie, welche eine eher konventionelle Bauweise mit Mauerwerk, Wärmedämmverbundsystemen, Putzen und Ortbeton birgt, finden sich die Kombinationen 1 – 3. Diese konventionellen Konstruktionskombinationen binden nach der Berechnung des Lebenszykluses die meiste Energie in sich und sind damit rein unter den Gesichtspunkten der materialgebundenen Energie nicht zu befürworten. Auch in den Bilanzierungszeiträumen von 50 und 100 Jahren binden die Kombinationen 1 – 3 den größten Anteil an grauer Energie.

Die zweite Kategorie der Bauteilkombinationen lässt sich als eine Art Leichtbau-Varianten beschreiben. Dabei sind vor allem in der Fassade jeweils ein tragendes System getrennt von einem flächenbildenden Element zu sehen. Hier zählen die Kombinationen 6 – 9 zu, welche in ihren Varianten Systeme aus Stahl- und Holzbau vereinen. In der ökologischen Bewertung innerhalb dieser Konstruktionskategorie sind allerdings erhebliche Unterschiede zu erkennen. So bindet beispielsweise die Kombination 6, als Holzbauvariante, am wenigsten Energie von allen zur Wahl stehenden Kombinationen und das sogar über alle Bilanzierungszeiträume hinweg. Hingegen die Kombination 7 aufgrund des relativ hohen Stahlanteils in dieser Kategorie am meisten Energie im Material bindet. Eine weitere negative Auswirkung haben flächenbildende Elemente mit hoher Masse, so wie es in der Kombination 9 gezeigt wird. Die Kategorie ökologische Baustoffe als Massivbau bindet trotz ihrer hohen eingebrachten Masse verhältnismäßig wenig Energie. Hierzu zählen die Kombinationen 4 und 5, welche als Lehmalkombinationen berechnet wurden. Dabei ist festzustellen, dass die erheblich größere Masse in Kombination 5, welche im Dach eingebracht wird, zu einem schlechteren Ergebnis hinsichtlich der materialgebundenen Energie führt.

Die Decken sind besonders bei den Kombinationen der konventionellen Bauweise ausschlaggebend für eine hohe materialgebundene Energie. In allen anderen Kombinationen sind die Werte der Decken geringer und im Vergleich zu einander nicht sonderlich ausschlaggebend. Einen zusätzlichen negativen Einfluss auf die materialgebundene Energie hat die Backsteineinlage im Dach der Kombination 3, diese führt zusammen mit der restlichen konventionellen Bauweise zu einer nicht empfehlenswerten Kombination. Nach der Feststellung der Einflüsse der Bauteilkombination vor dem Hintergrund der materialgebundenen Energie, kann bereits in der Entwurfsphase eine Entscheidung bezüglich der Höhe des ökologischen Fußabdruckes des

Gebäudes getätigt werden. Dieser Schritt ist essentiell für die weitere Vorgehensweise im Planungsprozess und kann den Entwurf, die Gestaltung, sowie Tragwerk, Bauphysik und Gebäudeklima erheblich beeinflussen. Natürlich stehen einer Entscheidung für die jeweils beste Kombination hinsichtlich der materialgebundenen Energie eine Vielzahl von anderen Parametern, wie zum Beispiel Baukosten, Gestaltung und Betriebsenergie, entgegen. Dem Planer wird ein weiteres Entscheidungskriterium für Materialien und Konstruktionen zur Verfügung gestellt.

Evaluation des Entwurfsergebnisses vor dem Hintergrund der Wiederverwendung und des Recyclings

Wie schon im vorherigen Abschnitt der materialgebundenen Energie lassen sich auch für die Wiederverwendung und das Recycling 3 unterschiedliche Kategorien feststellen. Diese haben dieselben Konstruktionsprinzipien, eher konventionelle Bauweise, Prinzipien des Leichtbaus und ökologischer Massivbau, wie ebendort.

Auch hier wiederum bilden die Kombinationen 1 – 3 mit den Konstruktionsweisen des Mauerwerks, des Ortbetons mit Wärmedämmverbundsystemen und Putz die am schlechtesten dekonstruierbaren und damit schwer recyclingfähigen Kombinationen. Auch eine Wiederverwendung ganzer Bauteile ist nur schwer realisierbar, das bedeutet, dass Baustoffe für das Recycling nur mit sehr hohem Aufwand in der Demontage durchgeführt werden kann. Anders verhält es sich bei den Konstruktionsaufbauten, welche Prinzipien des Leichtbaus oder einen Schichtaufbau aufweisen. Diese können mit wenig Aufwand in der Dekonstruktion getrennt werden und einer Wieder- oder Weiterverwertung zugeführt werden. Bei den Konstruktionen des Lehmbaus ist ein Recycling auf unterschiedliche Weise denkbar. Lehm kann beispielsweise als Recyclingbaustoff vor Ort abgebaut und in einem neuen Gebäude eingebaut werden oder in Blöcken herausgetrennt und als eine Art Fertigteil wiederverwendet werden.

Für alle Kombinationen wurde dabei immer zunächst eine konventionelle Berechnung für die Wiederverwendung im Sinne des Moduls C4 (End of life) und eine optimistische „maximal reuse“-Variante im Sinne des Moduls D berechnet. Für die Kombinationen und deren Vergleich wurden nur die max. Reuse Variante berücksichtigt.

**Gesamtübersicht der
Kombinationen: graue
Energie für eine 1-m
Scheibe in MJ**

| Kombination | 30 Jahre | 50 Jahre | 100 Jahre |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Kombination 1 | | | |
| Dach Variante A-max Reuse | 9.496,79 | 15.352,10 | 27.992,35 |
| Fassade Variante C-max Reuse | 13.928,12 | 23.497,61 | 38.980,12 |
| Decken Variante D-kon | 38.976,48 | 44.590,04 | 25.648,71 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 62.401,39 | 83.439,75 | 92.621,19 |
| Kombination 2 | | | |
| Dach Variante D-max Reuse | 5.637,11 | 11.129,10 | 27.745,29 |
| Fassade Variante D-max Reuse | 11.891,21 | 19.423,79 | 31.850,94 |
| Decken Variante C-max Reuse | 24.404,02 | 29.484,66 | 39.645,96 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 41.932,34 | 60.037,56 | 99.242,19 |
| Kombination 3 | | | |
| Dach Variante B-max Reuse | 13.798,29 | 19.653,60 | 34.696,29 |
| Fassade Variante B-max Reuse | 10.364,20 | 14.628,51 | 22.117,94 |
| Decken Variante A-max Reuse | 14.758,84 | 19.839,49 | 30.000,79 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 38.921,33 | 54.121,60 | 86.815,02 |
| Kombination 4 | | | |
| Dach Variante D-max Reuse | 5.637,11 | 11.129,10 | 27.745,29 |
| Fassade Variante A neu-max Reuse | 5.884,07 | 8.130,32 | 12.362,01 |
| Decken Variante B-max Reuse | 9.804,15 | 14.884,80 | 34.696,29 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 21.325,33 | 34.144,22 | 74.803,59 |
| Kombination 5 | | | |
| Dach Variante C-max Reuse | 8.520,71 | 14.376,02 | 29.452,65 |
| Fassade Variante A neu-max Reuse | 5.884,07 | 8.130,32 | 12.362,01 |
| Decken Variante B-max Reuse | 9.804,15 | 14.884,80 | 34.696,29 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 24.208,93 | 37.391,14 | 76.510,95 |
| Kombination 6 | | | |
| Dach Variante D-max Reuse | 5.637,11 | 11.129,10 | 27.745,29 |
| Fassade Variante E-max Reuse | 10472,537 | 12602,781 | 17792,264 |
| Decken Variante E-max Reuse | 5096,9686 | 10177,616 | 20338,912 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 21.206,62 | 33.909,50 | 65.876,47 |
| Kombination 7 | | | |
| Dach Variante F-max Reuse | 8.765,87 | 14.621,18 | 27.261,43 |
| Fassade Variante F-max Reuse | 10088,96 | 12335,207 | 20276,655 |
| Decken Variante B-max Reuse | 9804,1502 | 14884,798 | 25046,094 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 28.658,98 | 41.841,19 | 72.584,18 |
| Kombination 8 | | | |
| Dach Variante F-max Reuse | 8.765,87 | 14.621,18 | 27.261,43 |
| Fassade Variante G-max Reuse | 6999,993 | 9803,0802 | 15148,454 |
| Decken Variante B-max Reuse | 9804,1502 | 14884,798 | 25046,094 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 25.570,01 | 39.309,06 | 67.455,98 |
| Kombination 9 | | | |
| Dach Variante E-max Reuse | 6.539,67 | 12.394,98 | 25.035,23 |
| Fassade Variante G-max Reuse | 6999,993 | 9803,0802 | 15148,454 |
| Decken Variante A-max Reuse | 14758,845 | 19839,493 | 30000,789 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 28.298,50 | 42.037,55 | 70.184,47 |

Abbildung 26: Kombinationen Berechnung: Wiederverwendung und Recycling

Evaluation des Entwurfsergebnisses vor dem Hintergrund des thermischen Komforts und der Betriebsenergie

Basierend auf den vorangegangenen Simulationen zur Ermittlung des Gebäudeentwurfes, wurden Randbedingungen hinsichtlich der Fassade festgelegt. Diese werden auch in der Betrachtung der 9 Kombinationen als Anforderung beibehalten. Diese Anforderungen beziehen sich auf wärmetechnischen Standard der Fassade sowie die Tageslichtnutzung und stellen sich wie folgt dar:

Anforderungen an die Fassade

Hinsichtlich der Anforderungen an die Gebäudehülle ist zwischen den opaken und den transparenten Hüllflächen zu unterscheiden. Grundsätzlich werden im Rahmen des Komfortkonzepts Anforderungen an folgende physikalischen Eigenschaften gestellt:

- Wärmedämmqualität der Hülle zur Bewertung der U-Werte;
- Licht- und Energiekennwerte für Glasflächen als Lichttransmissions- bzw. g-Werte;
- Luftdichtigkeiten von Fenstern, Türen und Festverglasungen;
- Verschattungssystemen durch Betrachtung des Abminderungsfaktoren F_c .

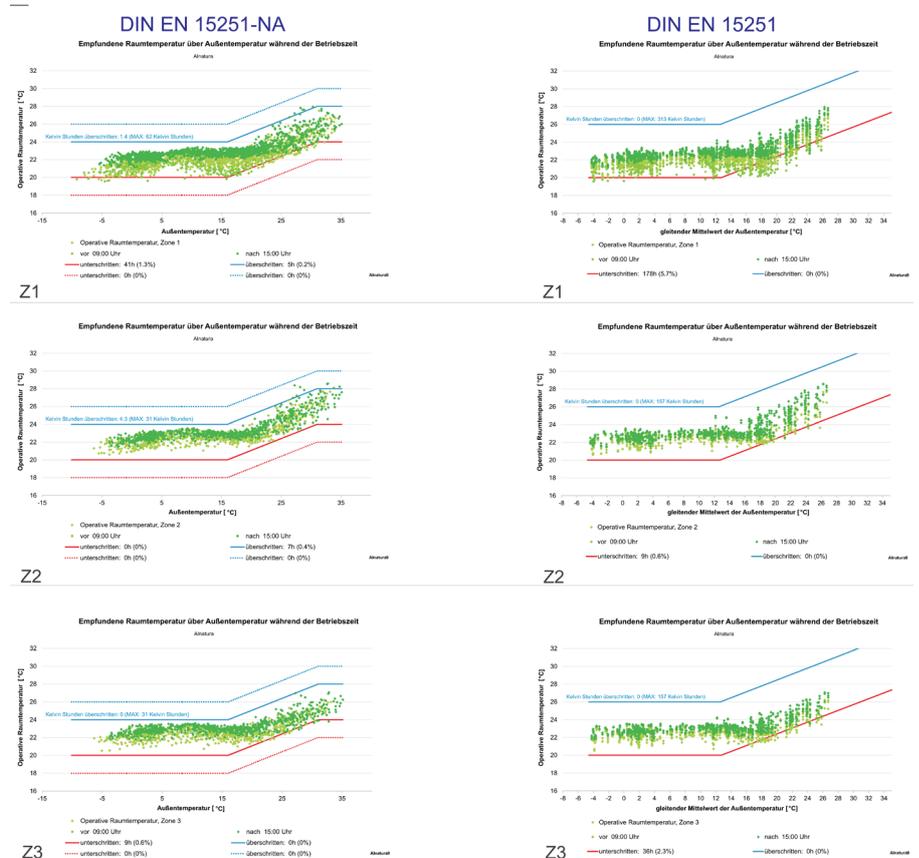


Abbildung 27: Mehrzonensimulation

Die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle und die Dämmqualitäten der Bauteile haben entscheidenden Einfluss auf das spätere thermische und akustische Komfortempfinden innerhalb des Hauses - insbesondere bei tiefen Außentemperaturen und / oder bei Luv-Lee-seitiger Winddruckbeaufschlagung der unterschiedlichen Fassadenseiten. Zudem bestimmen sie maßgeblichen den Heizenergiebedarf des Gebäudes.

Wärmedämmqualitäten, Wärmebrücken

Im Falle der opaken Hüllflächen wie erdberührte Außenflächen, Fassaden- und Dachflächen wird auf den EnEV-Nachweis verwiesen. Die hier vorgenommenen Festlegungen zu den U-Werten gelten als Mindestanforderungen, die an die Ausführung der opaken Hüllflächen gestellt werden. Analoges gilt für Wärmebrücken der Hüllkonstruktionen, die auf ein unvermeidbares Maß zu reduzieren sind.

Tageslichtsimulation

Die Tageslichtnutzung hat bereits in einem frühen Stadium der Gebäudekonzeption eine entscheidende Rolle eingenommen. Daher haben die ermittelte Werte eine hohe Priorität. Folgende Untersuchung bildet die Grundlage der definierten Anforderung.

Randbedingungen und normative Grundlagen Tageslicht:

Als Kriterium zur Bewertung der Tageslichtqualität wurde das Tageslichtquotient (%) als Größe für regelmäßig besetzte Zonen benutzt.

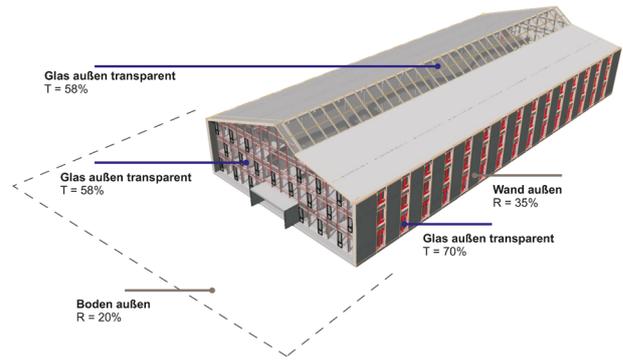
Normative Vorgaben werden in der DIN 5034 „Tageslicht in Innenräumen“ Allgemeine Anforderungen und in DIN EN 12464-1 (Licht und Beleuchtung) beschrieben.

Damit die Raumnutzer ihre Aufgaben genau und effizient durchführen können, muss ausreichend Licht vorgesehen werden. Dafür definiert diese Norm die Beleuchtungsanforderungen im Innenraum. Sie quantifiziert die angebrachte Beleuchtung der Innenräume mittels Lux-Werten und empfiehlt gute Beleuchtungskonzepte. Sie stärkt dabei nicht nur die Verwendung von Kunstlicht sondern auch die Nutzung von Tageslicht. Die Beleuchtung kann mittels Tageslicht, Kunstlicht oder einer Kombination aus beidem bereitgestellt werden. Diese Regelungen stärkt außerdem die Bedeutung des Tageslichts im Kontext der Energieeinsparung. Die Zertifizierung nach DGNB vergibt die höchste Punktzahl sofern mehr als 50% der Fläche einen Tageslichtquotient $> 2\%$ hat. Die Arbeitsstättenverordnung gibt einen Zielwert des Tageslichtquotients $> 2\%$ an Arbeitsplätzen vor.

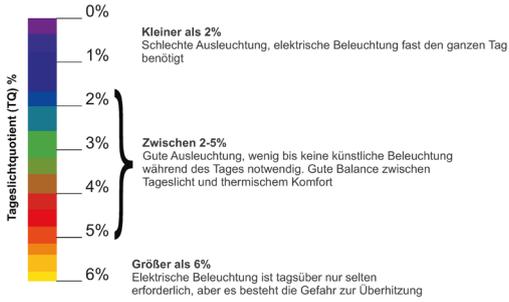
Zusammenfassung

Die Ergebnisse zeigen dass die Anforderungen der DGNB Zertifizierung hinsichtlich des Tageslichtquotients mit der höchsten Punktzahl erreicht werden.

Entwicklung von Strategien zur Implementierung des grauen Energieaufwands in den iterativen integrierten Entwurfsprozess von Gebäuden



Der Tageslichtquotient (TQ) wird auf einer Skala von 1-6 bei Transsolar bewertet:



| | |
|--|-----|
| Opake Materialien Lichtreflexion: | |
| Boden außen | 20% |
| Boden innen | 20% |
| Wand außen | 35% |
| Wand innen | 50% |
| Decke | 70% |
| Transparent/transluzent Materialien Lichttransmission: | |
| Glas außen transparent | 70% |
| Glas außen transparent | 58% |
| Glas innen transparent | 90% |

Abbildung 28: Tageslichtsimulation - Bewertungsskala 1-6

Abbildung 29: Tageslichtsimulation - Oberflächeneigenschaften

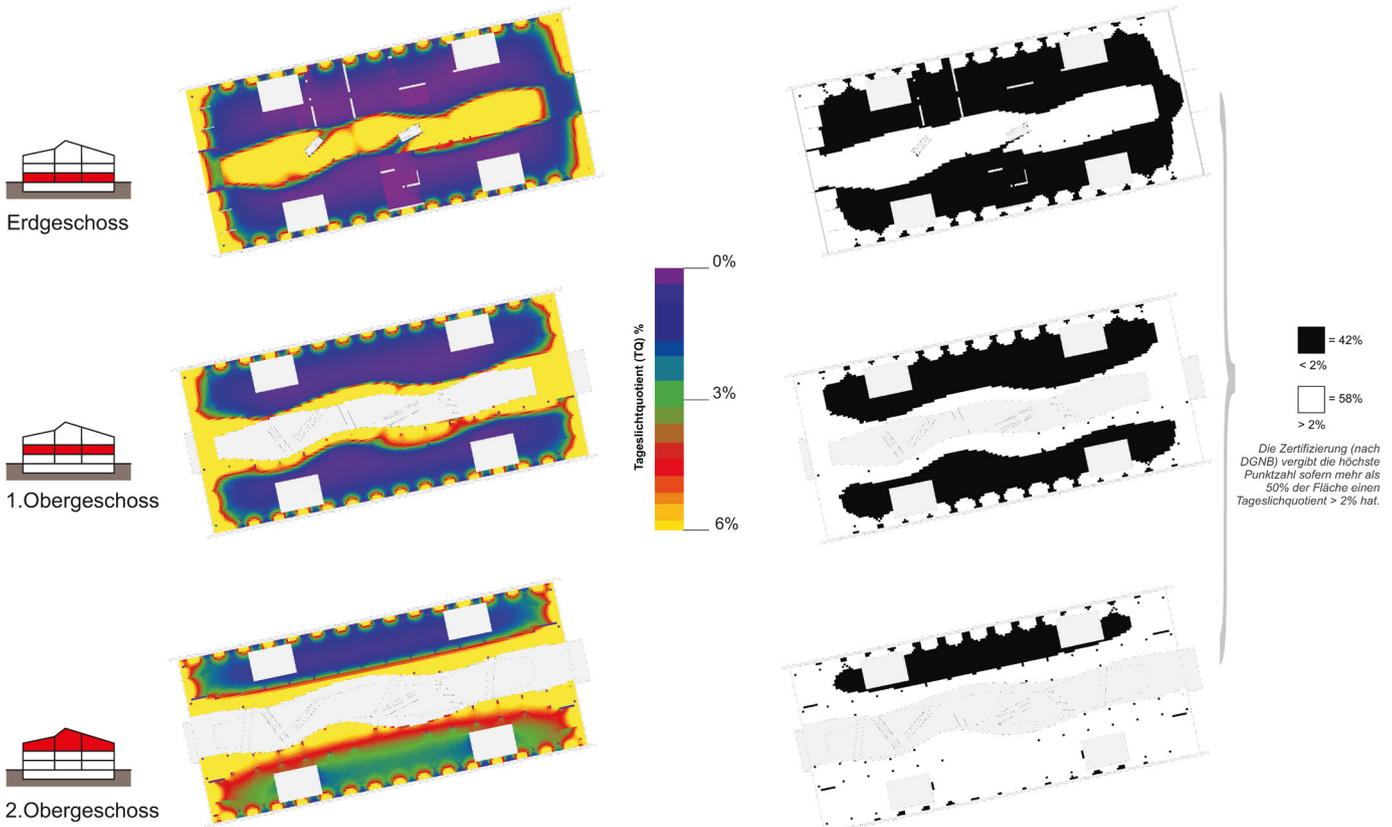


Abbildung 30: Tageslichtsimulation - Tageslichtquotient in %

Unter der Berücksichtigung der beschriebenen und festgelegten Randbedingungen wurden die 9 Kombinationen im weiteren Schritt mittels thermischen Simulationen hinsichtlich Betriebsenergie evaluiert.

Ziel dieser Untersuchung ist die Komfortbedingungen und den Energiebedarf in den Hauptnutzungsbereichen für das beschriebene Energiekonzept aufzuzeigen und im den Einfluss der verschiedenen Konstruktionskombinationen zu eruieren.

Für die oberirdischen Hauptnutzungsbereiche wurde basierend auf den vorher beschriebenen Randbedingungen ein Mehrzonengebäudemodell erstellt. Bei der Komfortdarstellung werden zwei unterschiedliche Darstellungen aufgeführt unter dem Hintergrund dass zu einem späteren Zeitpunkt ggfs. eine DGNB Zertifizierung durchgeführt wird, die sowohl die eine als auch die andere Art der Auswertung akzeptiert.

Die Ergebnisse zeigen dass die Komfortbedingungen in nahezu allen Bereichen weitestgehend im dargestellten Komfortbereich gehalten werden. Im Dachgeschoss ist aber darauf hinzuweisen, dass die max. erlaubten Temperaturen der DIN 15251-NA (nationaler Anhang) von 30°C in zum Beispiel 24 Stunden in Zone 12 (~3 Arbeitstage) überschritten wird. Dennoch werden die sommerlichen Temperaturanforderungen der DIN 15251-EN eingehalten, welche wie vorher beschrieben die gleiche Punktzahl hinsichtlich des Komfort bei der Zertifizierung nach der DGNB liefert. Des Weiteren wurden die Räume hinsichtlich der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz untersucht und gezeigt dass die Anforderungen in allen Räumen eingehalten werden.

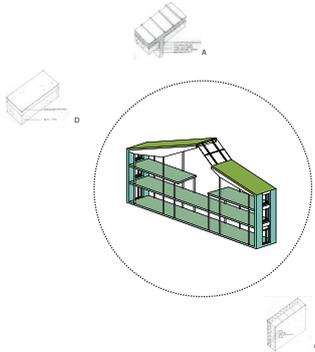
Einfluss der thermischen Masse

Die Konstruktion hat großen Einfluss auf das thermische Verhalten der gebäude thermischen Masse, die mit dem Raum in direktem Kontakt steht ermöglicht eine Phasenverschiebung von Lasten. Diese erweist sich im Zusammenhang mit einer Büronutzung als besonders vorteilhaft.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Bewertung der Unterschiede, die sich unter Einsatz eines „leichten“ Daches im Vergleich zu einem Dach mit freiliegender thermischen Masse als Einlage ergeben.

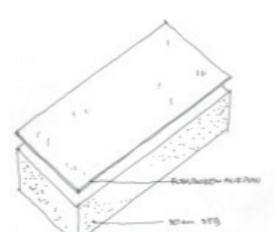
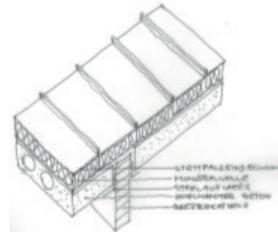
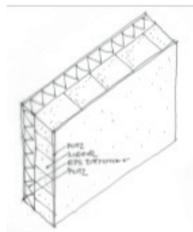
Basierend auf der thermisch-dynamischen Gesamtgebäudesimulation wurde der Energiebedarf zum Heizen, Kühlen und der Strombedarf des Gebäudes für diese beiden Varianten ermittelt. Die sommerlichen Temperaturen wurden in beiden Varianten zur Vergleichbarkeit auf einen gleichen max. Temperaturwert von 26°C limitiert und daraus der Unterschied in der Kühlleistung und dem Kühlenergiebedarf ermittelt. Der Mehrkühlbedarf wird in einer heißen Sommerwoche dargestellt und die jährliche Kühlereinsparung angegeben. Im Anschluss wird zur Verdeutlichung angegeben welche technische Alternative stattdessen installiert werden kann, um einen vergleichbaren Komfort zu erzielen.

Kombination 1 Konventionell



Die Kombination 1 stellt eine konventionelle Bauweise dar. Es wurden Bauteile so zusammengestellt dass die im derzeitigen Bauprojekten günstigsten und meistverwendeten Konstruktionen für Wand, Decke und Dach kombiniert wurden – jedoch ohne Berücksichtigung von Potentialen in der Wiederverwertung und Materialeinsparung

| Wand | Dach | Decke |
|--|---|---|
| Variante C Putz, Ziegel, EPS Dämmung, Putz | Variante A Stehfalzeindeckung, Mineralwolle, Stahlaufleger, Hohlkammer Beton, Brettschichtholz | Variante D Fußbodenaufbau, STB Ortbeton 30 cm |



Graue Energie für eine 1-m Scheibe in MJ

| Kombination 5 | 30 Jahre | 50 Jahre | 100 Jahre |
|--|------------------|------------------|------------------|
| Dach Variante C-max Reuse | 8.520,71 | 14.376,02 | 29.452,65 |
| Fassade Variante A neu-max Reuse | 5.884,07 | 8.130,32 | 12.362,01 |
| Decken Variante B-max Reuse | 9.804,15 | 14.884,80 | 34.696,29 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 24.208,93 | 37.391,14 | 76.510,95 |

Abbildung 31: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Gesamtenergiebedarf 1-m Scheibe

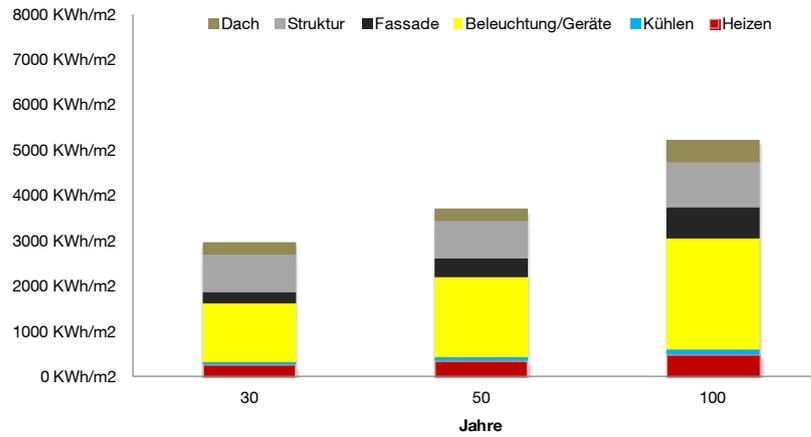
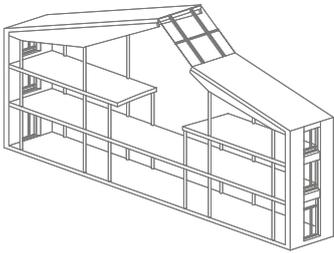


Abbildung 32: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie

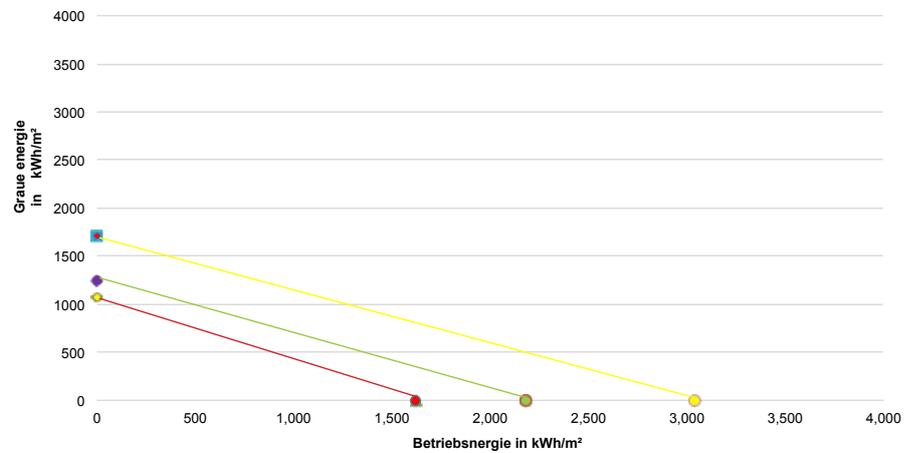
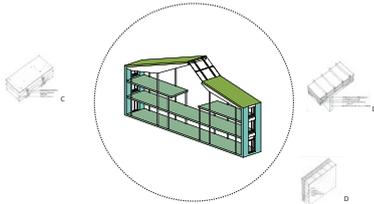


Abbildung 33: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

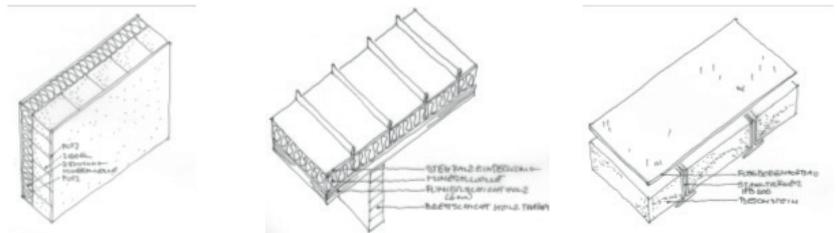
— 30 Jahre
— 50 Jahre
— 100 Jahre

Kombination 2 Konventionell Plus

Kombination 2 stellt als eine hinsichtlich der Materialverwertung verbesserte Kombination, da der Bodenaufbau der Geschossdecke mittels Stahlträger dünner und damit leichter ausgeführt werden kann – dennoch handelt es sich weiterhin um eine konventionelle Bauweise. Außerdem wurde das WDVS mit Mineralwolle anstatt EPS ausgeführt.



| Wand | Dach | Decke |
|--|--|---|
| Variante D Putz, Ziegel, Mineralwoll-Dämmung, Putz | Variante D Stehfalzeindeckung, Mineralwolle, Funierschichtholz (6cm), Brettschichtholzträger | Variante C Fußbodenaufbau, Stahlträger IPB 200, Betonstein |



Graue Energie für eine 1-m Scheibe in MJ

| Kombination 2 | 30 Jahre | 50 Jahre | 100 Jahre |
|--|------------------|------------------|------------------|
| Dach Variante D-max Reuse | 5.637,11 | 11.129,10 | 27.745,29 |
| Fassade Variante D-max Reuse | 11.891,21 | 19.423,79 | 31.850,94 |
| Decken Variante C-max Reuse | 24.404,02 | 29.484,66 | 39.645,96 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 41.932,34 | 60.037,56 | 99.242,19 |

Abbildung 34: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Gesamtenergiebedarf 1-m Scheibe

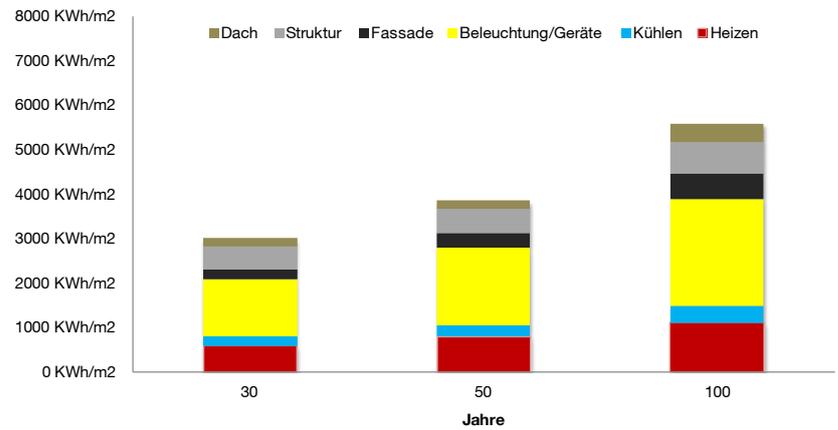
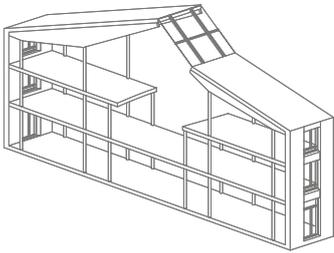


Abbildung 35: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie

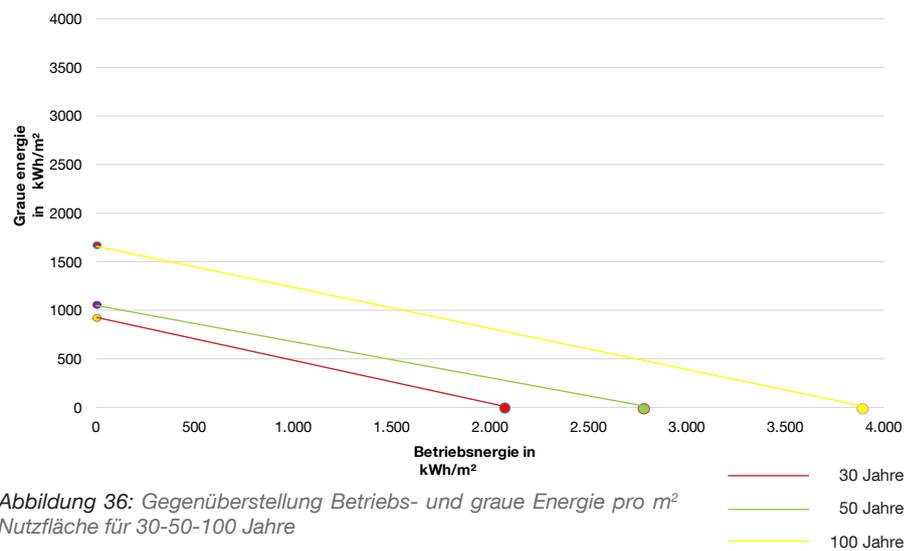
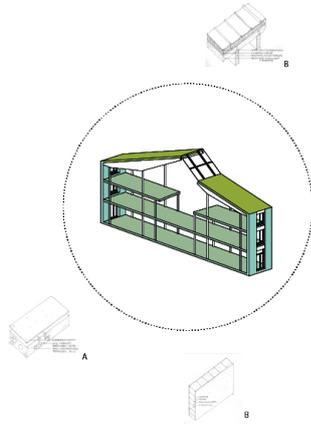


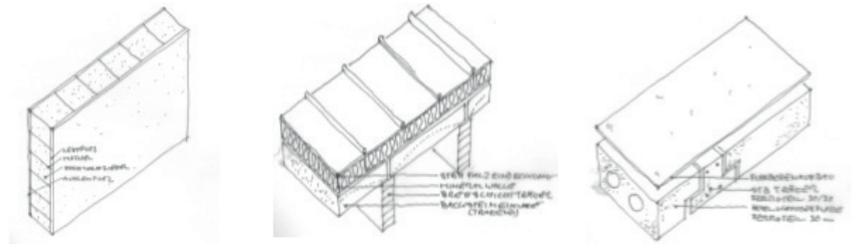
Abbildung 36: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Kombination 3 Advanced



Bei der Kombination 3 wurden als Wandkonstruktion Hochlochziegel sowie Lehmputz eingesetzt, um Dämmeigenschaften zu verbessern. Die Decke wurde als rein mineralische Lösung konzipiert, um in einem Materialsystem zu bleiben und damit das Recycling zu vereinfachen.

| Wand | Dach | Decke |
|---|--|--|
| Variante B Lehmputz, Hochlochziegel und Mörtel, Außenputz | Variante B Stehfalzeindeckung, Mineralwolle, Brettschichtträger, Backsteineinlage (tra- gend) | Variante A Fußbodenaufbau, STB Träger Fertigteil 30/30, STB Hohlkammerplat- te Fertigteil 30 cm |



Graue Energie für eine 1-m Scheibe in MJ

| Kombination 3 | 30 Jahre | 50 Jahre | 100 Jahre |
|--|------------------|------------------|------------------|
| Dach Variante B-max Reuse | 13.798,29 | 19.653,60 | 34.696,29 |
| Fassade Variante B-max Reuse | 10.364,20 | 14.628,51 | 22.117,94 |
| Decken Variante A-max Reuse | 14.758,84 | 19.839,49 | 30.000,79 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 38.921,33 | 54.121,60 | 86.815,02 |

Abbildung 37: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäude-
scheibe in MJ

Gesamtenergiebedarf 1-m Scheibe

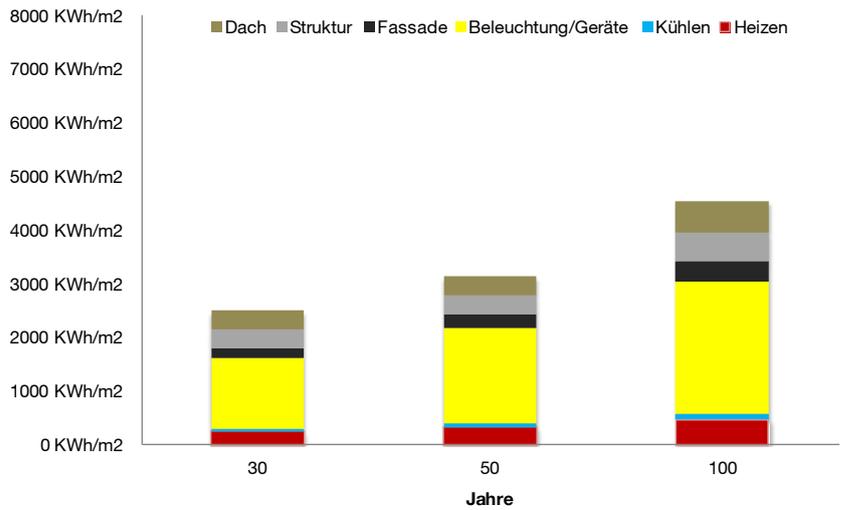
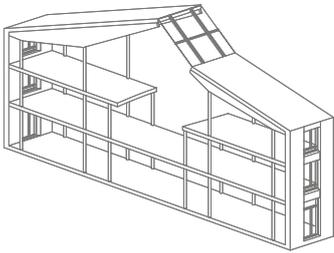


Abbildung 38: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie

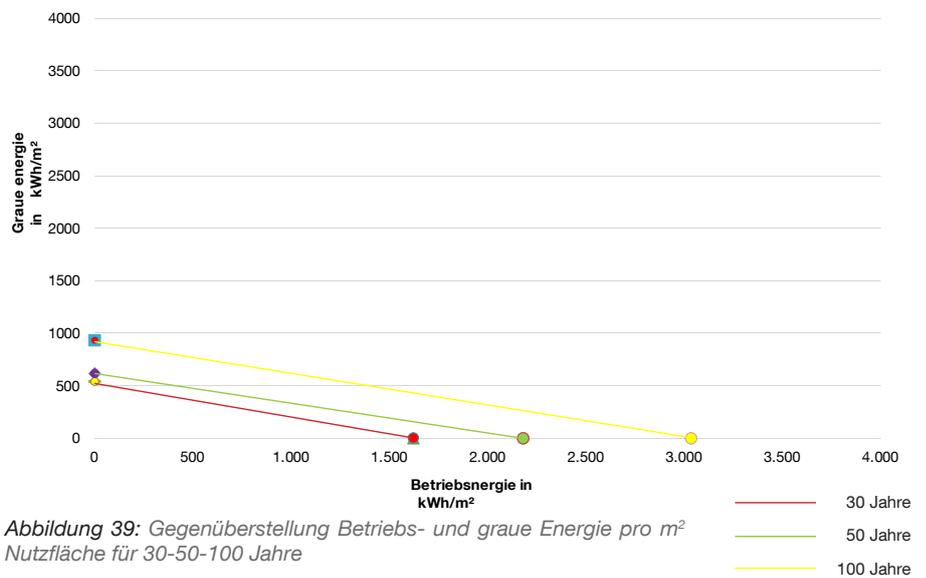
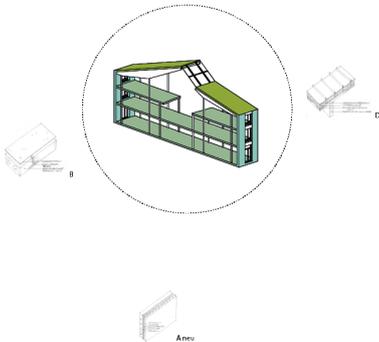


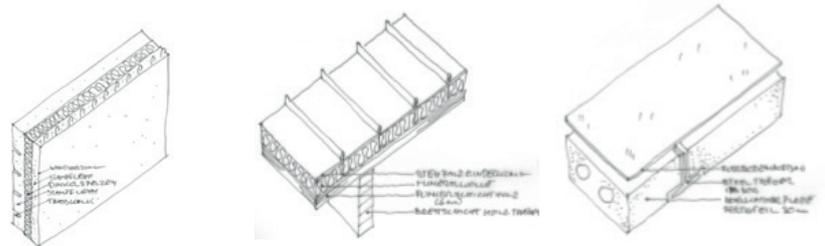
Abbildung 39: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Kombination 4 Lehmwand

Kombination 4 verwendet als erstes eine Lehmkonstruktionen für den Wandaufbau, Dach und Deckenkonstruktion bleiben konventionell.



| Wand | Dach | Decke |
|--|---|--|
| Variante Aneu Stampflehm mit Blähton, Dinkelspelzen mit Bimsstein, Lavaschotter und Lehmschlämme vermischt, Stampflehm, Trasskalk | Variante D Stehfalzeindeckung, Mineralwolle, Funierschichtholz (6cm), Brettschichtholzträger | Variante B Fußbodenaufbau, Stahlträger IPB 300, STB Hohlkammerplatte Fertigteil 30 cm |



Graue Energie für eine 1-m Scheibe in MJ

| Kombination 4 | 30 Jahre | 50 Jahre | 100 Jahre |
|--|------------------|------------------|------------------|
| Dach Variante D-max Reuse | 5.637,11 | 11.129,10 | 27.745,29 |
| Fassade Variante A neu-max Reuse | 5.884,07 | 8.130,32 | 12.362,01 |
| Decken Variante B-max Reuse | 9.804,15 | 14.884,80 | 34.696,29 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 21.325,33 | 34.144,22 | 74.803,59 |

Abbildung 40: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Gesamtenergiebedarf 1-m Scheibe

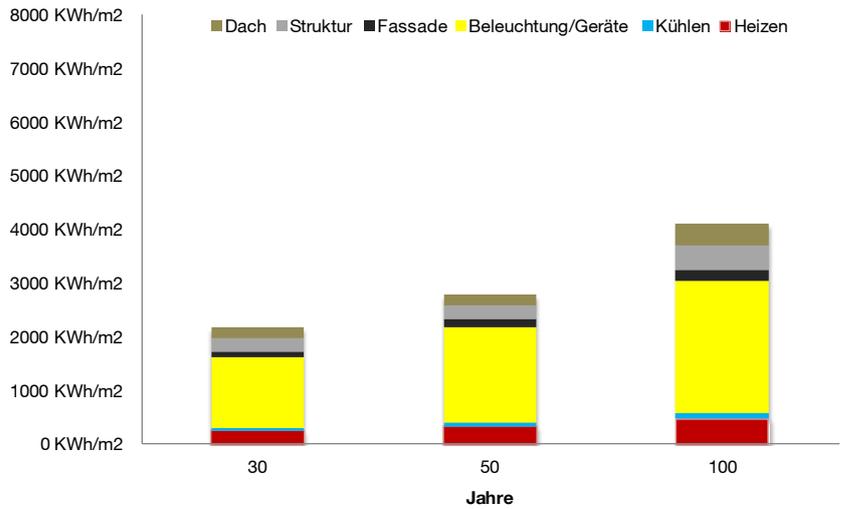
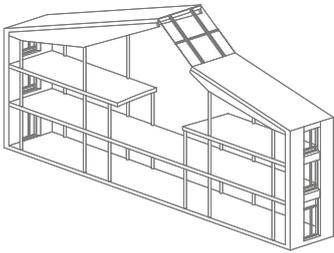


Abbildung 41: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie

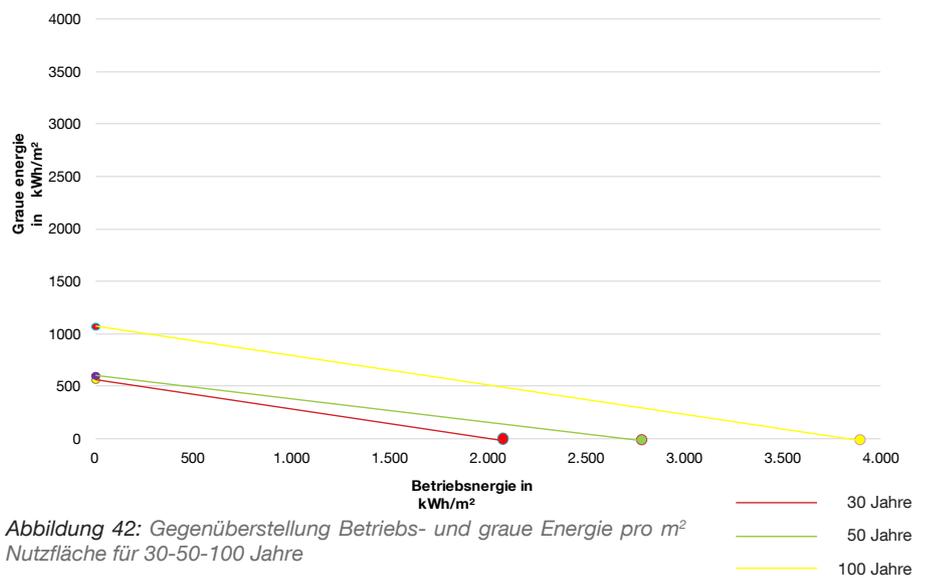
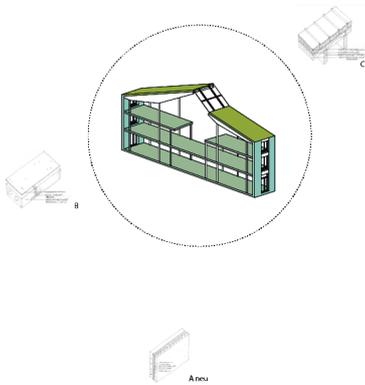


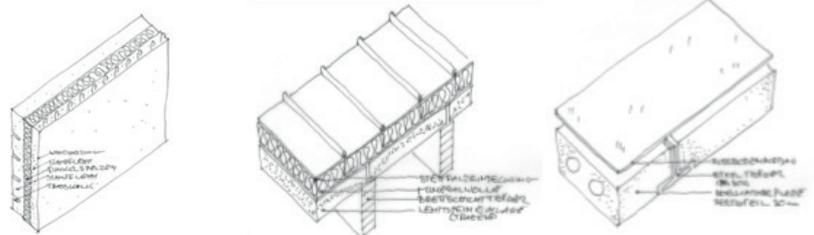
Abbildung 42: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Kombination 5 Lehmbau

Kombination 5 integriert gegenüber der Kombination 4 thermische Maße in das Dach und ermöglicht so eine „schweres Dach“



| Wand | Dach | Decke |
|--|--|--|
| Variante Aneu Stampflehm mit Blähton, Dinkelspelzen mit Bimsstein, Lavaschotter und Lehmschlämme vermischt, Stampflehm, Trasskalk | Variante C Stehfalzeindeckung, Mineralwolle, Brettschichtträger, Lehmsteineinlage (tragend) | Variante B Fußbodenaufbau, Stahlträger IPB 300, STB Hohlkammerplatte Fertigteil 30 cm |



Graue Energie für eine 1-m Scheibe in MJ

| Kombination 5 | 30 Jahre | 50 Jahre | 100 Jahre |
|--|------------------|------------------|------------------|
| Dach Variante C-max Reuse | 8.520,71 | 14.376,02 | 29.452,65 |
| Fassade Variante A neu-max Reuse | 5.884,07 | 8.130,32 | 12.362,01 |
| Decken Variante B-max Reuse | 9.804,15 | 14.884,80 | 34.696,29 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 24.208,93 | 37.391,14 | 76.510,95 |

Abbildung 43: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Gesamtenergiebedarf 1-m Scheibe

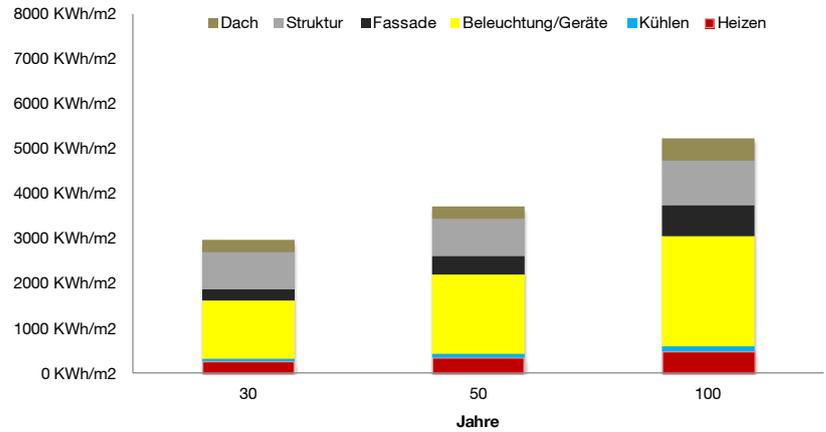
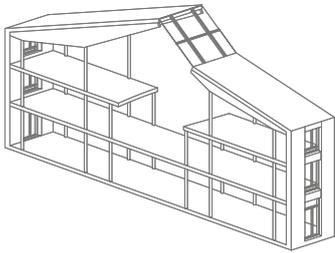


Abbildung 44: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie

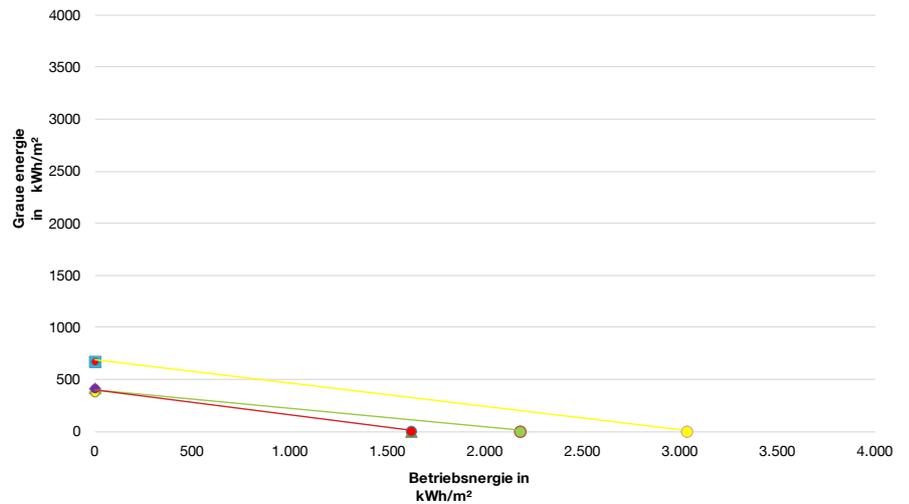
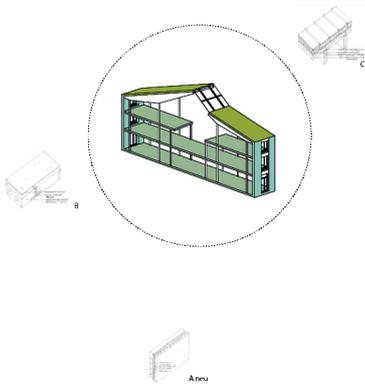


Abbildung 45: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

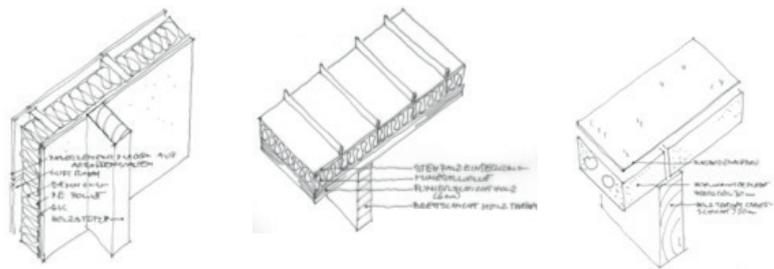
— 30 Jahre
— 50 Jahre
— 100 Jahre

Kombination 6 Holzbau

Mit der Kombination 6 wurde ein einfacher Holzbau konzipiert. Wand und Dach wurden in im Holzbau üblichen „leichten“ Lösungen vorgesehen, lediglich für die Decken wurden als thermische Masse Hohlkammerplatten vorgesehen.



| Wand | Dach | Decke |
|---|--|---|
| Variante E Holzträger, Gipskarton, PE Folie, Mineralwolle, Luftraum, Faserzementplatten auf Agraffensystem | Variante D Stehfalzeindeckung, Mineralwolle, Furnierschichtholz (6cm), Brettschichtholzträger | Variante E Fußbodenaufbau Hohlkammerplatte Fertigteil 30 cm, Holzträger (Brett- schicht) 50 cm |



Graue Energie für eine 1-m Scheibe in MJ

| Kombination 6 | 30 Jahre | 50 Jahre | 100 Jahre |
|---|------------------|------------------|------------------|
| Dach Variante D-max Reuse | 5.637,11 | 11.129,10 | 27.745,29 |
| Fassade Variante E-max Reuse | 10472,537 | 12602,781 | 17792,264 |
| Decken Variante E-max Reuse | 5096,9686 | 10177,616 | 20338,912 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 21.206,62 | 33.909,50 | 65.876,47 |

Abbildung 46: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäude-
scheibe in MJ

Gesamtenergiebedarf 1-m Scheibe

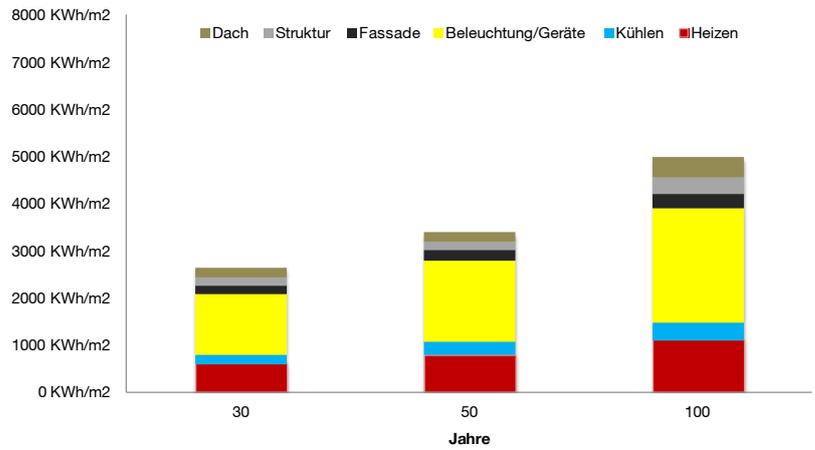
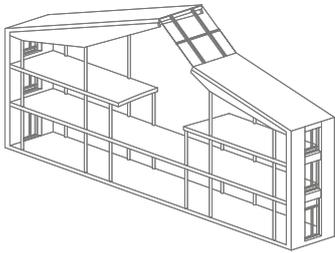


Abbildung 47 Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie

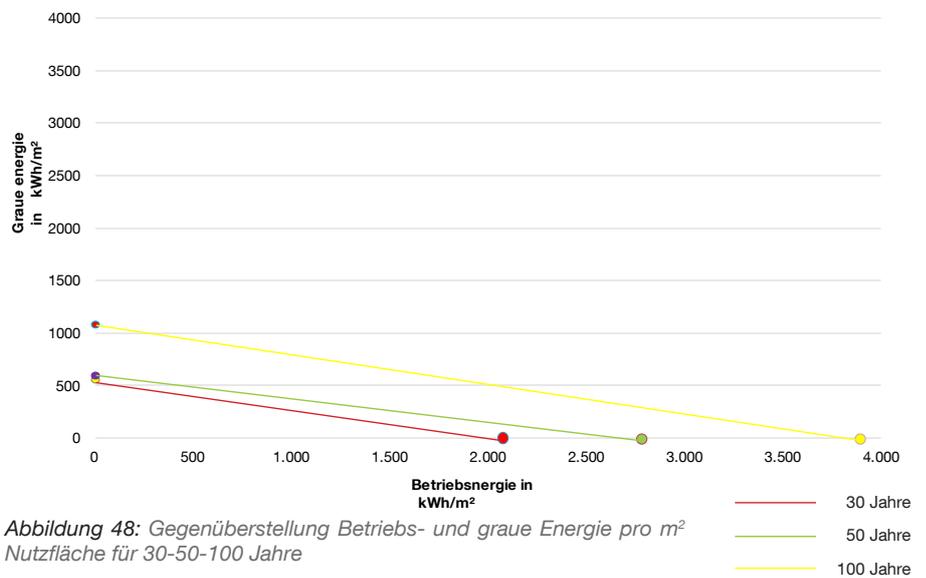
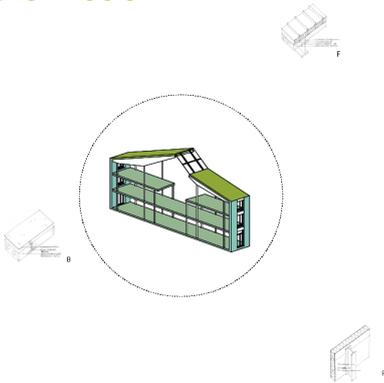


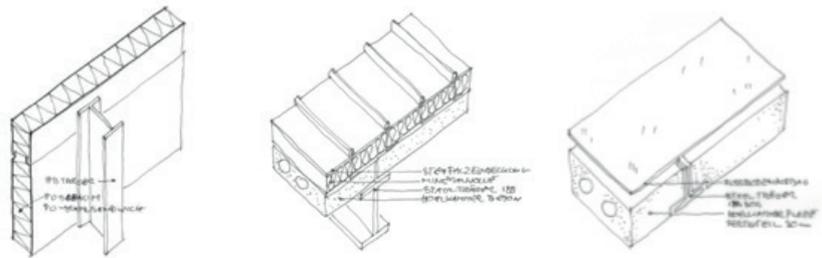
Abbildung 48: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Kombination 7 Stahlbau I



Die Kombination 7 stellt einen Stahlbau in konventioneller Bauweise dar. Hierbei wurden üblichen PU Sandwich System für die Wände vorgesehen. Abweichend zu übliche Hallenkonstruktionen wurden für Dach und Decken schwere System vorgeschlagen, um thermische Masse zu generieren.

| Wand | Dach | Decke |
|---|---|---|
| Variante F IPB Stahlträger, PU-Blech Sandwich | Variante F Stehfalzeindeckung, Mineralwolle, Hohlkammerbeton, IPB-Stahlträger | Variante B Fußbodenaufbau, Stahlträger IPB 300, STB Hohlkammerplatte Fertigteil 30 cm |



Graue Energie für eine 1-m Scheibe in MJ

| Kombination 7 | 30 Jahre | 50 Jahre | 100 Jahre |
|--|------------------|------------------|------------------|
| Dach Variante F-max Reuse | 8.765,87 | 14.621,18 | 27.261,43 |
| Fassade Variante F-max Reuse | 10088,96 | 12335,207 | 20276,655 |
| Decken Variante B-max Reuse | 9804,1502 | 14884,798 | 25046,094 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 28.658,98 | 41.841,19 | 72.584,18 |

Abbildung 49: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäude-scheibe in MJ

Gesamtenergiebedarf 1-m Scheibe

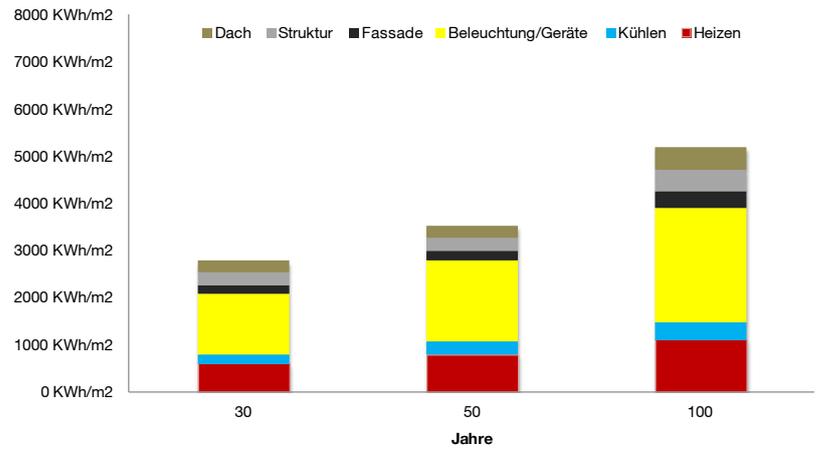
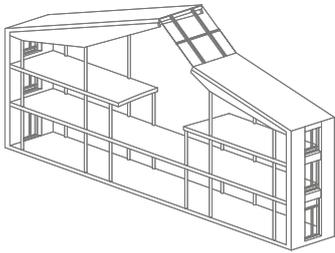


Abbildung 50: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie

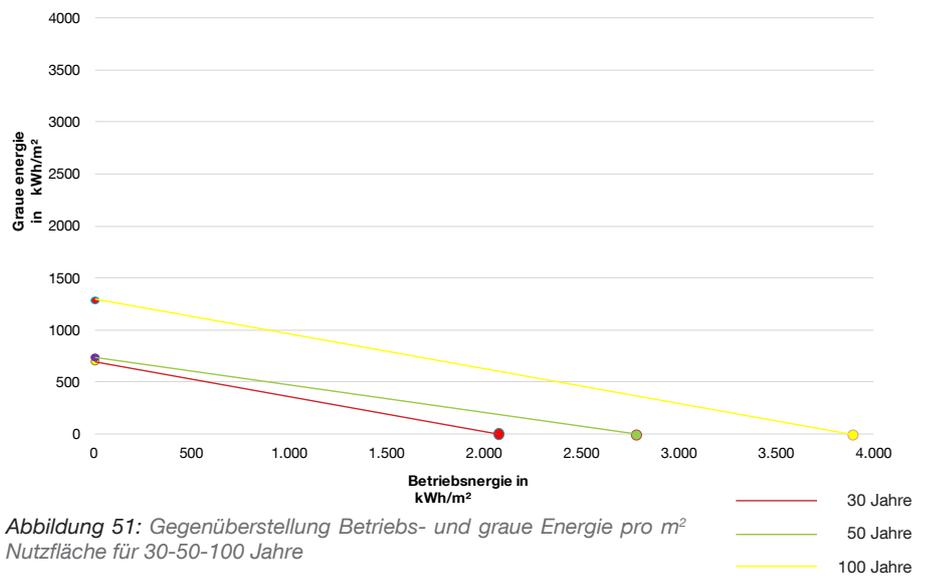
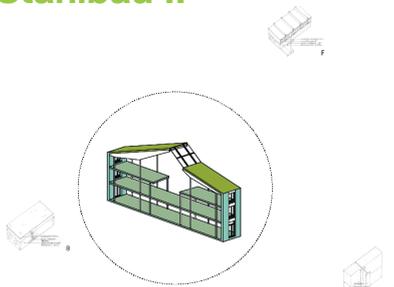


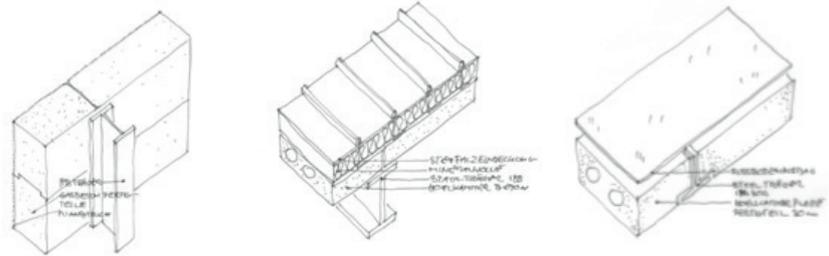
Abbildung 51: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Kombination 8 Stahlbau II



Kombination 8 besteht aus einer Stahlbaulösung, welche anstatt mit PU-Sandwich System mittels Gasbetonfertigteilen als Wandkonstruktion versehen wurde. Hierdurch wird eine im einfachen Hallenbau üblich Alternative abgebildet.

| Wand | Dach | Decke |
|--|---|--|
| Variante G IPB Stahlträger Gasbetonfertigteil PU Anstrich | Variante F Stehfalzeindeckung, Mineralwolle, Hohlkammerbeton, IPB-Stahlträger | Variante B Fußbodenaufbau, Stahlträger IPB 300, STB Hohlkammerplatte Fertigteil 30 cm |



Graue Energie für eine 1-m Scheibe in MJ

| Kombination 8 | 30 Jahre | 50 Jahre | 100 Jahre |
|--|------------------|------------------|------------------|
| Dach Variante F-max Reuse | 8.765,87 | 14.621,18 | 27.261,43 |
| Fassade Variante G-max Reuse | 6999,993 | 9803,0802 | 15148,454 |
| Decken Variante B-max Reuse | 9804,1502 | 14884,798 | 25046,094 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 25.570,01 | 39.309,06 | 67.455,98 |

Abbildung 52: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Gesamtenergiebedarf 1-m Scheibe

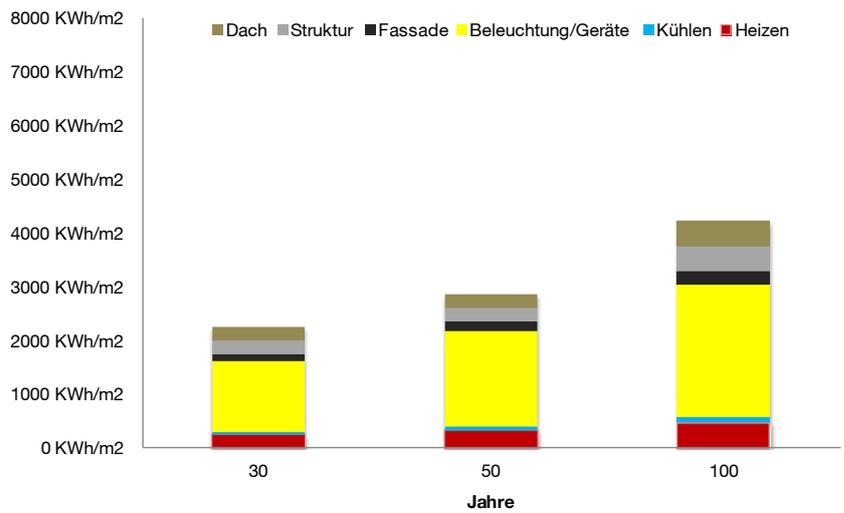
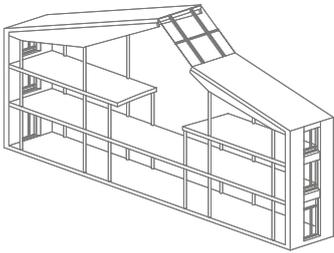


Abbildung 53: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie

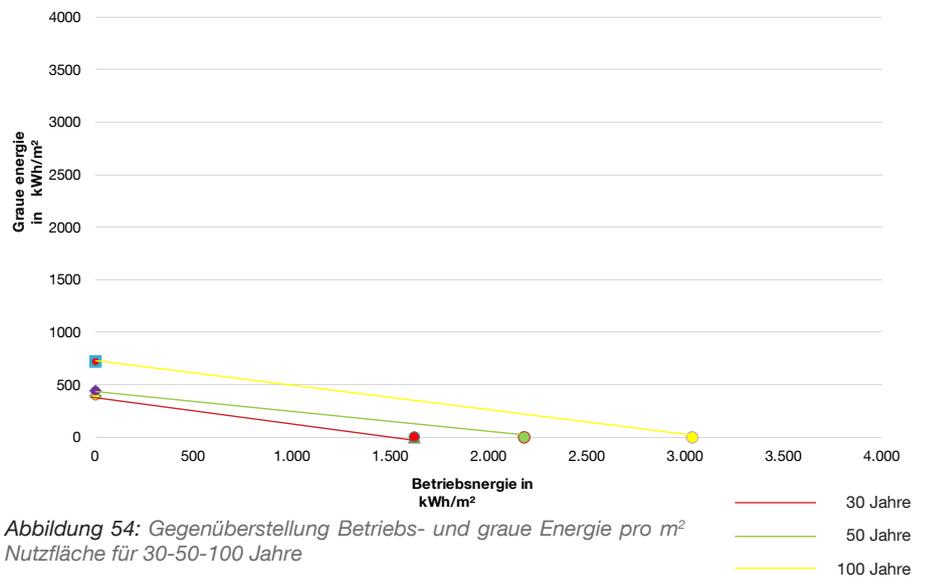
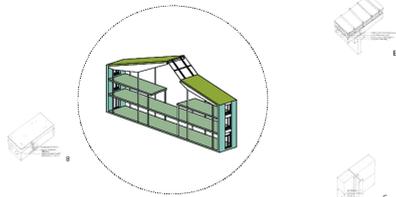


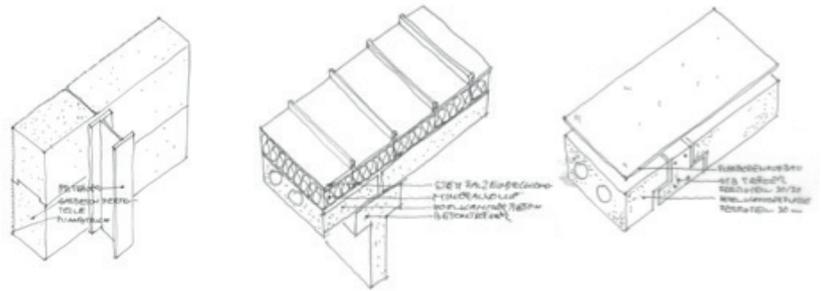
Abbildung 54: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Kombination 9 Betonbau



Mit der Kombination 9 wird ein üblicher Betonbau abgebildet. Wände als Gasbetonsystem auf einer Skelettkonstruktion, Decken und Dach als Fertigteile auf einen Betonskelett als Tragwerk. Dämmung und Eindeckung im Dach als separater Aufbau.

| Wand | Dach | Decke |
|--|---|--|
| Variante G IPB Stahlträger Gasbetonfertigteil PU Anstrich | Variante E Stehfalzeindeckung, Mineralwolle, Hohlkammerbeton Stahlbetonträger | Variante A Fußbodenaufbau, STB Träger Fertigteil 30/30, STB Hohlkammerplatte Fertigteil 30 cm |



Graue Energie für eine 1-m Scheibe in MJ

| Kombination 9 | 30 Jahre | 50 Jahre | 100 Jahre |
|--|------------------|------------------|------------------|
| Dach Variante E-max Reuse | 6.539,67 | 12.394,98 | 25.035,23 |
| Fassade Variante G-max Reuse | 6999,993 | 9803,0802 | 15148,454 |
| Decken Variante A-max Reuse | 14758,845 | 19839,493 | 30000,789 |
| SUMME: für 1m Gebäudescheibe | 28.298,50 | 42.037,55 | 70.184,46 |

Abbildung 55: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäude-scheibe in MJ

Gesamtenergiebedarf 1-m Scheibe

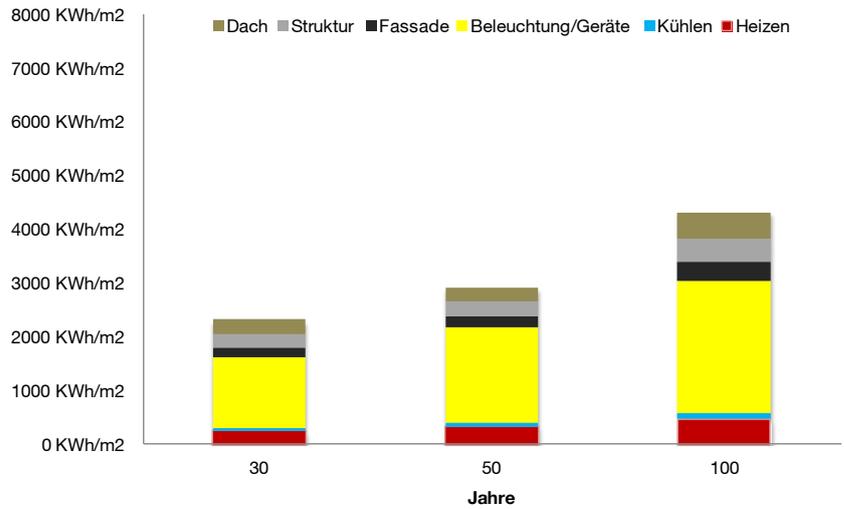
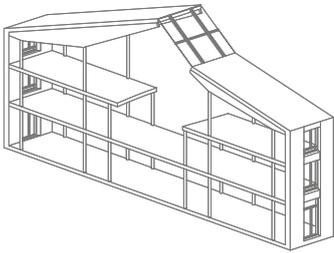


Abbildung 56: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie

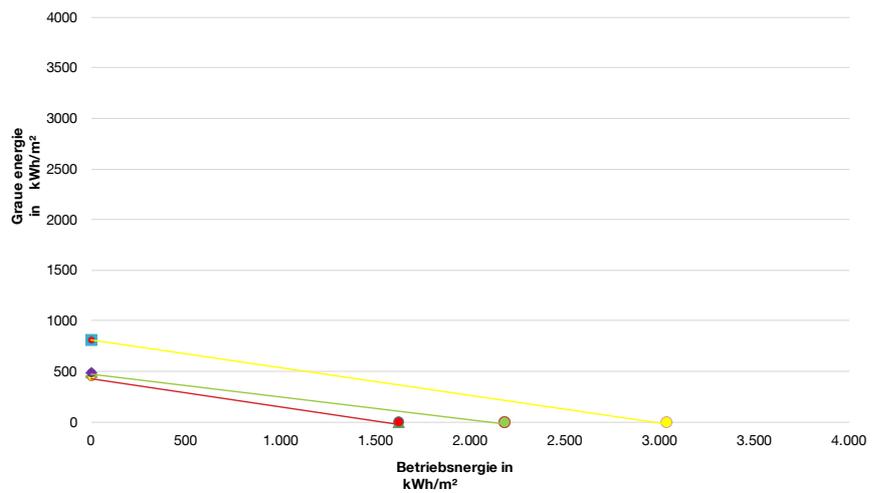


Abbildung 57: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

— 30 Jahre
— 50 Jahre
— 100 Jahre

IV. Durchführung

Gewählte Variantenkombination:

Die Kombination 4 wurde im Planungsprozess als endgültige Lösung zur Umsetzung ausgewählt.

Kombination 4 verwendet als Fassade eine Stampflehmfassade. Für das Dach wurde eine leichte Holzkonstruktion gewählt, für die Deckenkonstruktion Ortbeton.

Die Technologie der gewählten Fassadenkonstruktion wurde von Martin Rauch bereits in dem Ricola Kräuterlager in Laufen, der Architekten Herzog De Meuron realisiert. Die Variante für die „Alnatura Arbeitswelt“ sieht im Vergleich zur realisierten Variante eine zusätzliche Kerndämmung aus Dinkelpelzen vor, die den Anforderungen der EnEV dient.

In der Betrachtung der grauen Energie erweist sich die Fassadenvariante aus Stampflehm deutlich besser als die anderen evaluierten Fassadenaufbauten. Dies ist auf der geringen zur Herstellung notwendigen Energiemenge zurückzuführen. Darüber hinaus trägt die Lehmkonstruktion - durch die hohe thermische Masse des Materials - zu einem extrem Vorteilhaftem thermischen Verhalten: Wärmelasten können gespeichert und durch Phasenverschiebung zeitversetzt wieder dem Raum abgegeben werden. So werden Spitzen in der Kühllast ohne zusätzlichen Energieaufwand abgefangen und durch Nachtauskühlung abgetragen werden. Zusätzlich trägt der Lehmputz dazu bei, dass Feuchtespitzen gespeichert werden und somit nicht im Raum zum Tragen kommen. Durch diese Lösung wird der Nutzerkomfort im Raum deutlich erhöht.

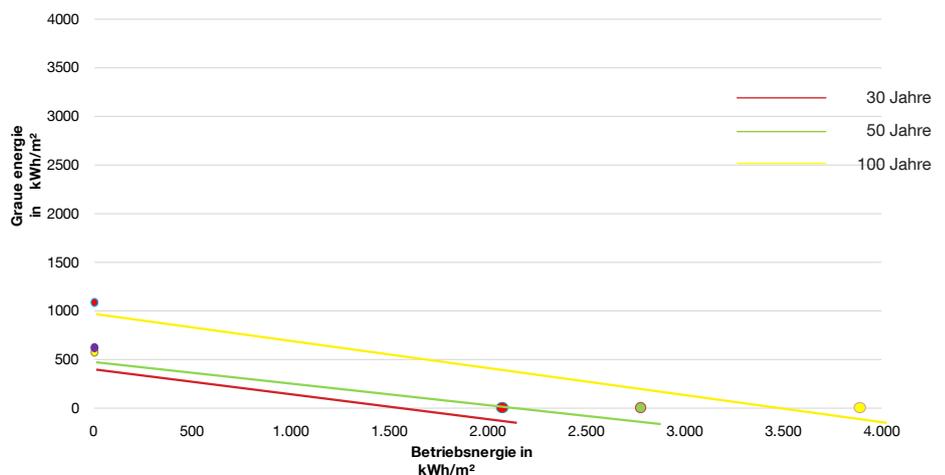


Abbildung 58: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Aufgrund der gewählten Dachkonstruktion, die eine leichte Bauweise vorsieht, wurden Simulationen durchgeführt um das thermische Verhalten in den Dachräumen zu ermitteln. Basierend auf dynamischen thermischen Gesamtgebäudesimulationen (ohne Küche, Kerne, Aufzüge und Verbraucher im Untergeschoss) wurde der Energiebedarf zum Heizen, Kühlen und der Strombedarf des Gebäudes für diese Variante ermittelt. Die sommerlichen Temperaturen wurden, wie für alle anderen Simulationen, auf einen gleichen maximalen Temperaturwert von 26°C limitiert und daraus der Bedarf für die Kühlleistung und dem Kühlenergiebedarf ermittelt. Der Mehrkühlbedarf wird in einer heißen Sommerwoche dargestellt und die jährliche Kühlenergieeinsparung angegeben. Im Anschluss wird zur Verdeutlichung angegeben welche technische Alternative stattdessen installiert werden kann um einen vergleichbaren Komfort zu erzielen. Für die gewählte Kombination soll zur Gewährleistung der Anforderungen an das Raumklima ein Kühlbalken eingesetzt werden.

Die gewählte Lösung stellt für den Gesamtenergiebedarf nicht eine Optimum dar, denn sie verlangt nach zusätzlicher Anlagentechnik und hat einen höheren Kühlbedarf im Vergleich zu einem Dach der mit thermischen Masse versehen ist. Bezogen auf die Dachgeschossfläche inklusive dem Atrium, resultieren ca. 20 KW Kühlleistungsbedarf als Ausgleich für die fehlende thermische Masse. Dies entspricht dem Einsatz von ca. 80 lauf Meter Kühlbalken.

Abbildung 59: Verlauf der spezifischen Kühlleistungsdifferenz bezogen auf die Dachgeschossfläche

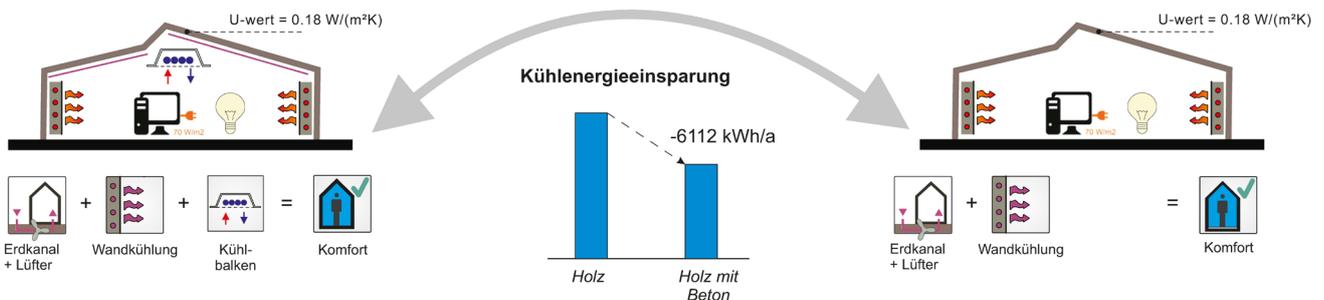
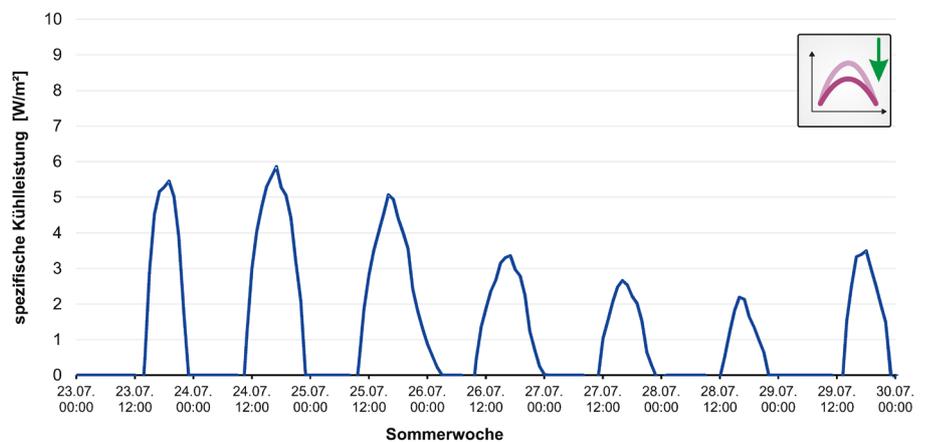
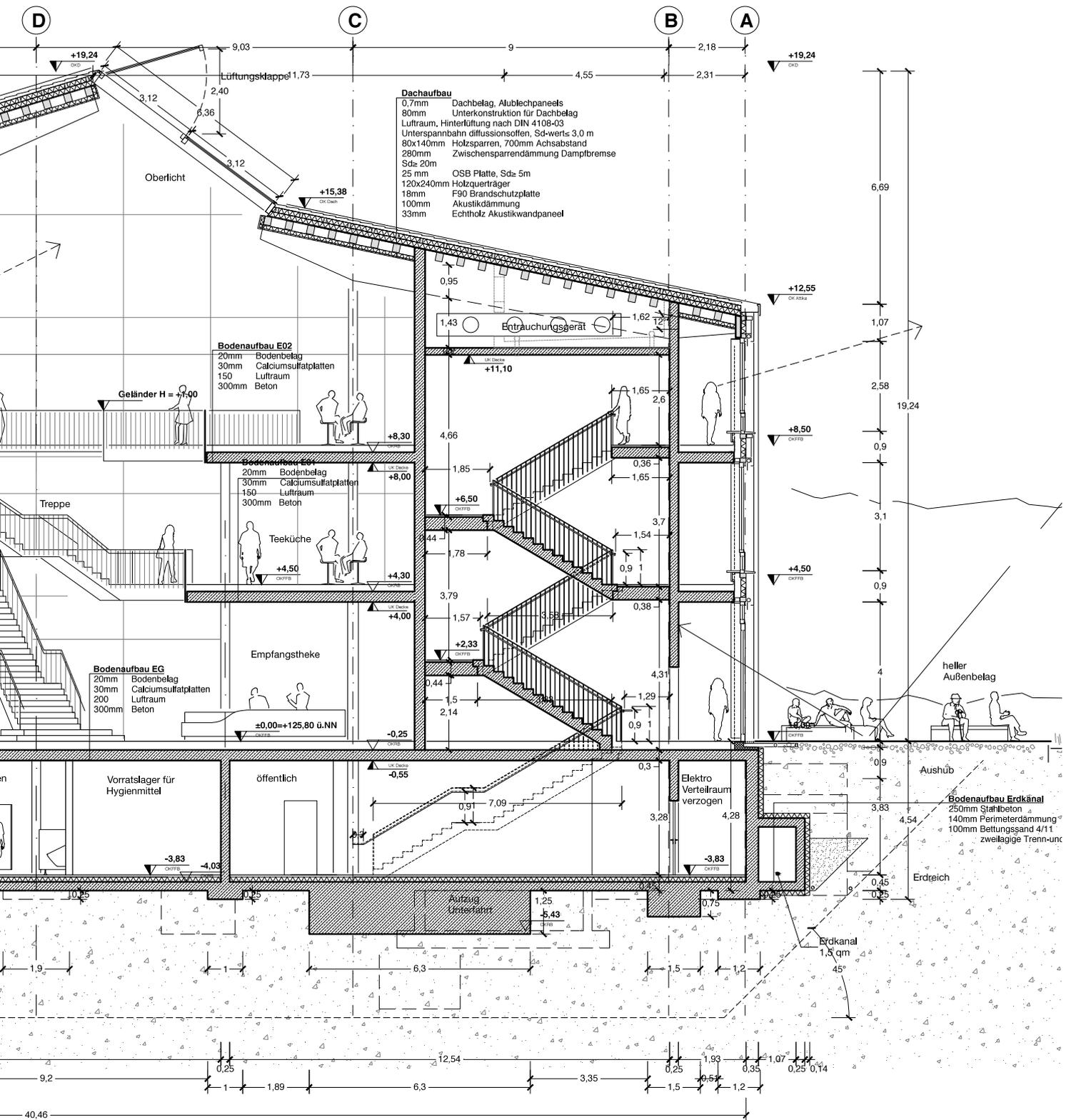


Abbildung 60: Graphische Darstellung des Vergleichs zwischen einer „leichten“ und „schweren“ Dachkonstruktion



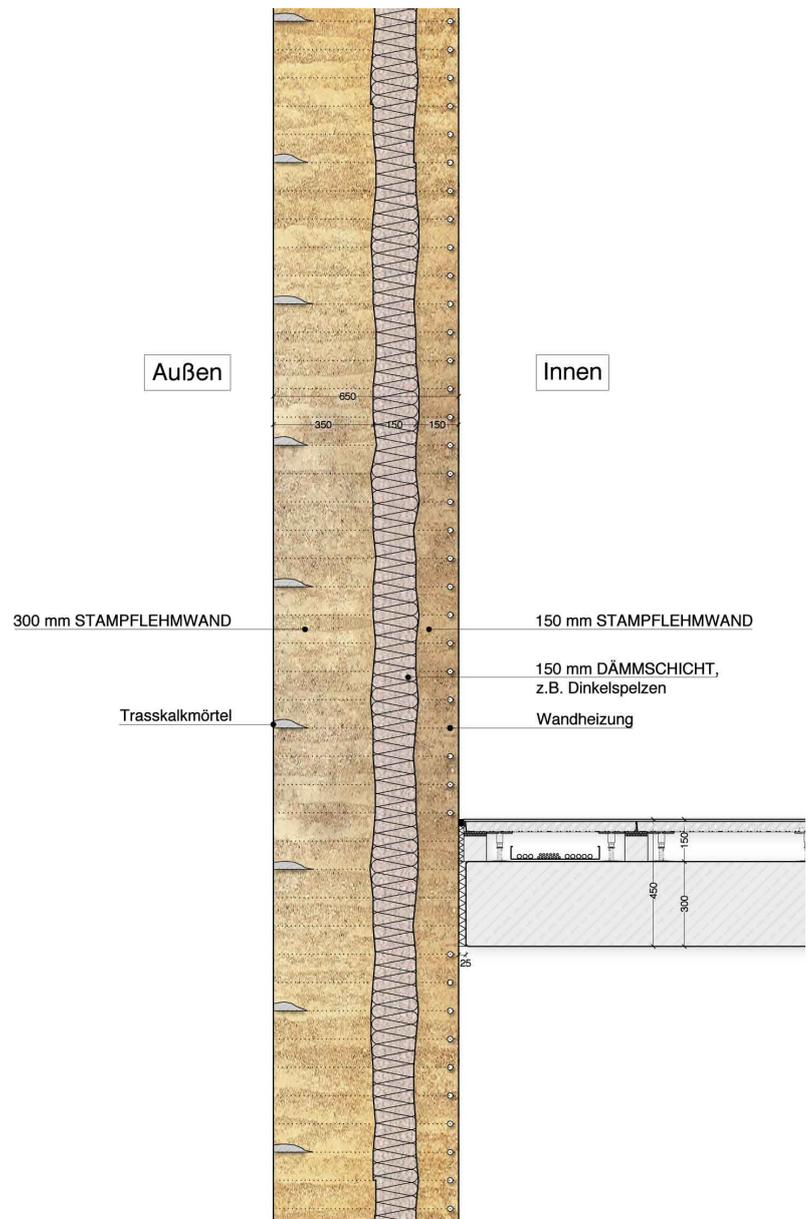


Abbildung 62: Alnatura-Welt, Detail der gewählten
Fassadenkonstruktion

Konstruktionswahl vor dem Hintergrund der Gesamt- konstruktion und des Klimakonzeptes

Zur Bewertung der Material- und Konstruktionswahl vor dem Hintergrund der Betrachtung materialgebundener Energie und Verbrauchsenergie, wird vorgeschlagen eine abschließende Matrix zu verwenden, in dieser Maximalwerte aufgeführt werden: zur Erstellung von Gebäuden und zum zeitlich begrenzten Betrieb. Angegeben werden Kennwerte für Konstruktion, und den Betrieb, aufgeteilt nach Nutzungsdauern. Somit können verschiedene Lebenszyklen im Vergleich dargestellt werden.

Als Konsequenz ergibt sich eine Effizienzfläche, innerhalb derer die Bandbreite des Energieeinsatzes für das Gebäude dargestellt wird.

Die vorgestellte Matrix ist als eine qualitative Lösung zu verstehen. Es bedarf vertiefender Untersuchungen hinsichtlich des Startpunktes der Linie im Bereich der materialgebundenen Energie – hier ist derzeit keine finale Aussage über einen anzunehmenden Maximal Einsatz von Energie zu treffen. Gleiches gilt für den Endpunkt im Bereich der Verbrauchsenergie. Eine Verwendung der durch in Deutschland zur Anwendung kommenden maximal zulässigen Verbräuche für Gebäude ist hier nur begrenzt sinnvoll, da auch Lösungen mit geringer materialgebundener Energie bei gleichzeitig hoher Verbrauchsenergie für kurzzeitige Nutzungen möglich sein müssen.

Abschließend ist die Steigung der Geraden zu definieren. Hier bedarf es weiterer Untersuchungen hinsichtlich der derzeit erreichbaren Effizienz im Verhältnis von materialgebundener Energie zur Verbrauchsenergie. Es ist hier sinnvoll, sowohl verschiedene Projekte als auch Planungszwischenstände zusammenzustellen und daraus Verdichtungswolken zu erzeugen, die zur Kalibrierung der Kurve dienen können.

Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie, Einzelauflistung

Einzelauflistung 30 Jahre, Kom. 1-9

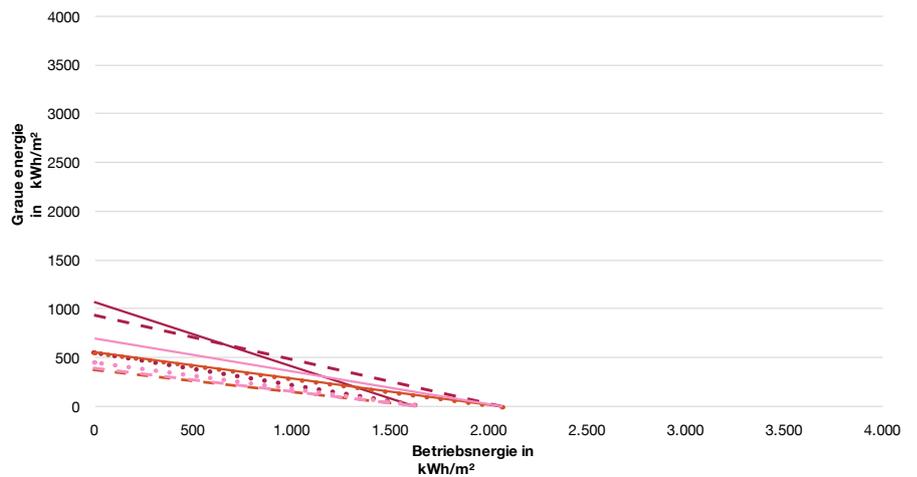
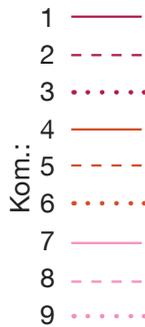


Abbildung 63: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen für ein Lebenszyklus von 30 Jahren

Einzelauflistung 50 Jahre, Kom. 1-9

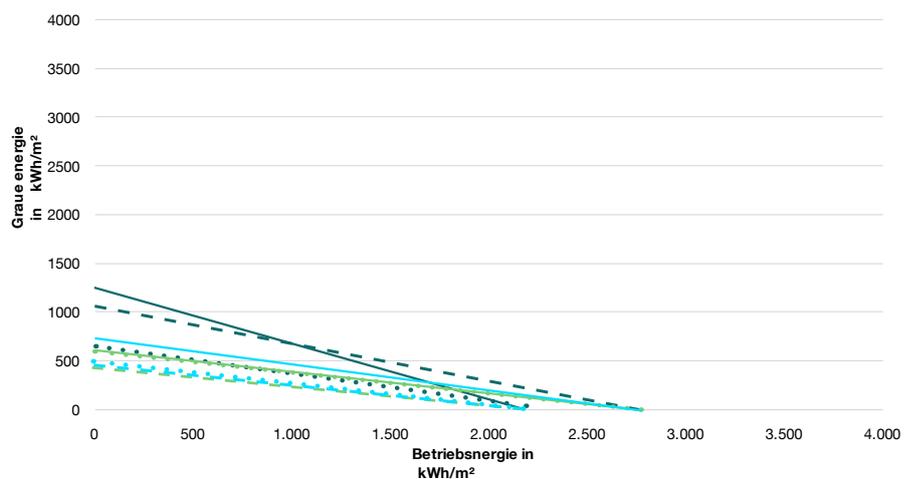
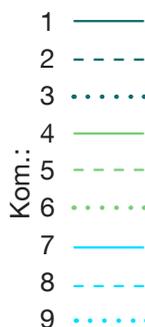


Abbildung 64: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen für ein Lebenszyklus von 50 Jahren

Einzelauflistung 100 Jahre, Kom. 1-9

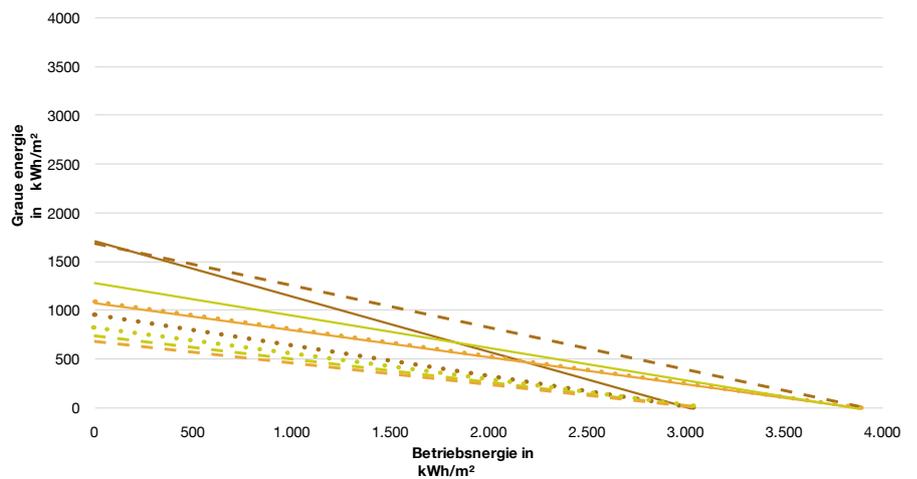


Abbildung 65: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen für ein Lebenszyklus von 100 Jahren

Überlagerung 30/50/100 Jahre, Kom. 1-9

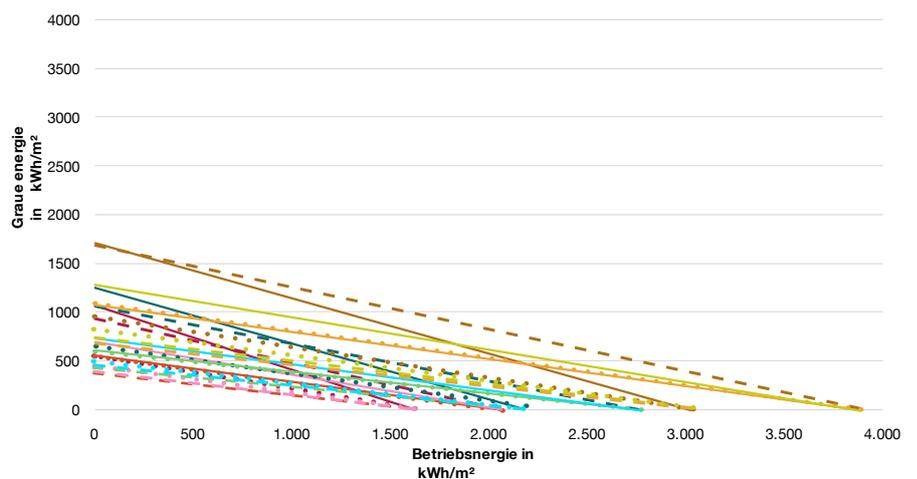
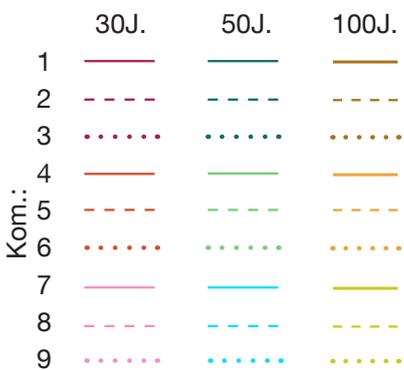


Abbildung 66: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen kombiniert

Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie, Interpolation

Interpolation 30 Jahre, Kom. 1-9

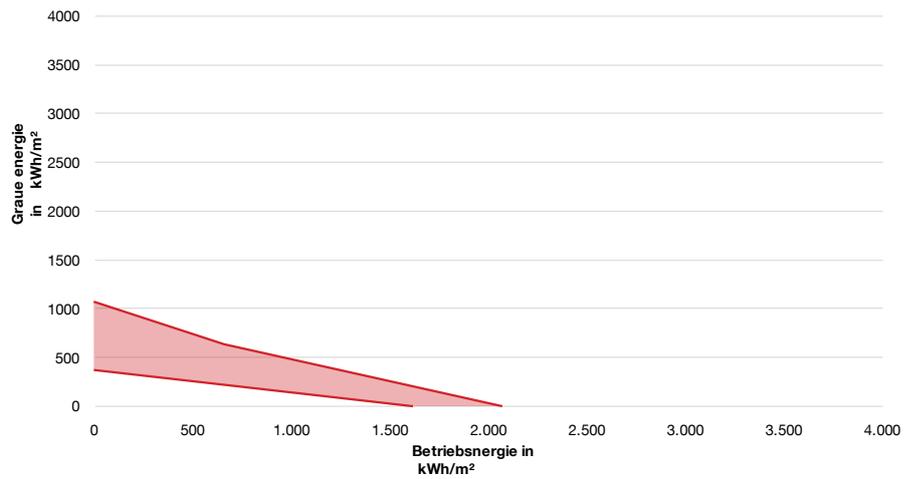


Abbildung 67: Gesamtenergiebedarf: Interpolation aller Kombinationen für ein Lebenszyklus von 30 Jahren

Interpolation 50 Jahre, Kom. 1-9

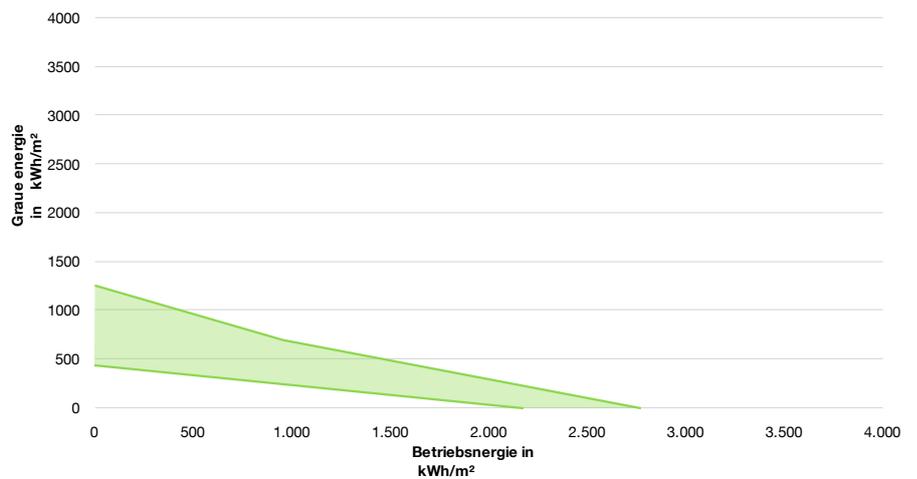


Abbildung 68: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen für ein Lebenszyklus von 50 Jahren

Interpolation 100 Jahre, Kom. 1-9

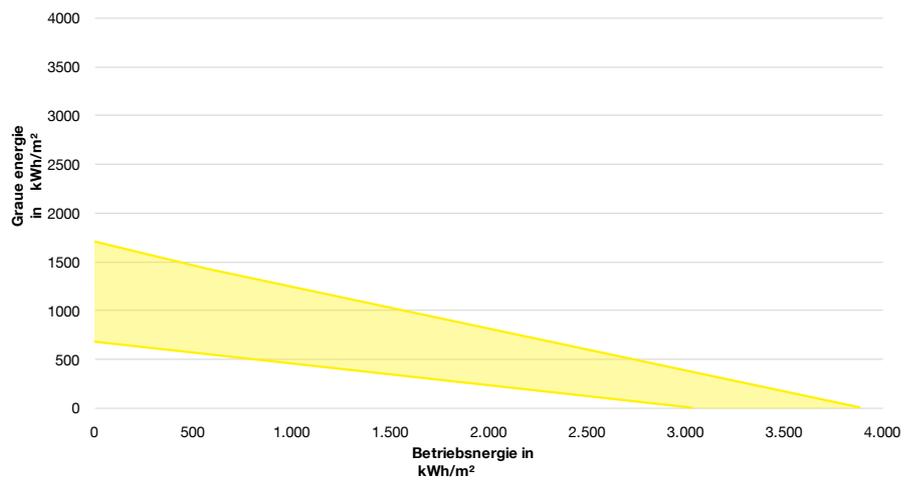


Abbildung 69: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen für ein Lebenszyklus von 100 Jahren

Überlagerung 30, 50, 100 Jahre, Kom. 1-9

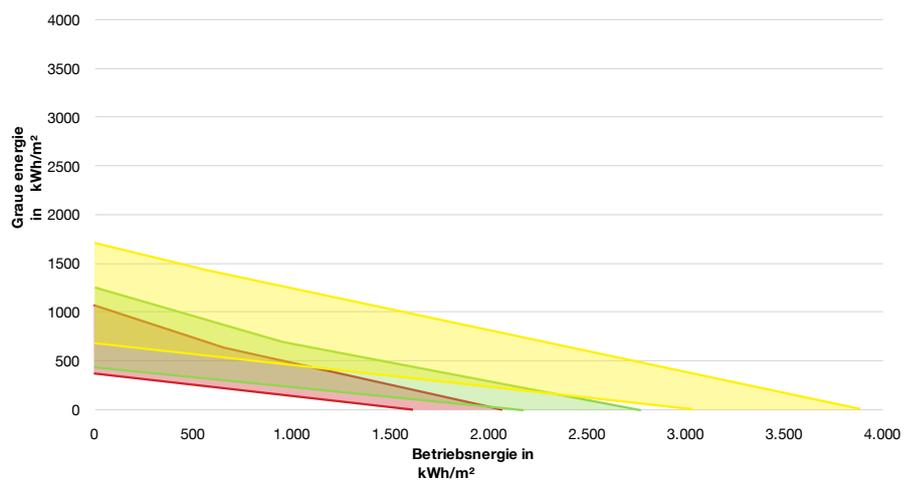


Abbildung 70: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen kombiniert

V. Ausblick

Die vorliegende Studie hat am Beispiel der „Alnatura Welt“ Ergebnisse gezeigt, die zusammenfassend im Kapitel IV. aufgezeigt werden. Im Sinne der Forschung haben sich Bereiche herausgestellt, die Potential zur umfassenden Betrachtungen aufweisen.

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) und die aktuelle Praxis im Bereich energieeffizientem und nachhaltigem Bauen fokussieren sich derzeit überwiegend auf die Minimierung von Betriebsenergie während der Nutzungsphase. Dabei steht als Prognose der theoretisch ermittelte Bedarf im Fokus der Betrachtung. Tatsächlicher Verbrauch und Betrieb werden in den seltensten Fällen evaluiert. Die Größe der in der Konstruktion gebundenen grauen Energie hingegen, die als stabile Größe über den Lebenszyklus des Gebäudes erhalten bleibt, findet derzeit keine Betrachtung im Entwurfsprozess.

Diese materialinhärente Energie gewinnt aber vor dem Hintergrund der knapp werdenden fossilen Energieträger für eine integrale Betrachtungsweise an Bedeutung; so zeigt auch der vorliegende Beispiel. Daher soll die in der Planung berücksichtigte verbrauchsorientierte Betrachtung während der Nutzung des Gebäudes auf eine Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus ausgeweitet werden. Das Ziel ist eine ganzheitliche gebäudebezogene Optimierung der grauen Energie und der Betriebsenergie in der Vorentwurfsphase. Hinsichtlich der grauen Energie ist hier ein offensichtliches bisher in weiten Teilen ungenutztes Chancenpotenzial vorhanden.

Wie bereits erwähnt, verursacht die zunehmende Umstellung auf regenerative Energieträger eine Reduzierung der Primärenergiefaktoren, insbesondere für Strom. Diese Tendenz verspricht also eine Veränderung des Einflusses der regulierten Betriebsenergie. Damit verliert das Thema der reinen Effizienz im Bereich Betriebsenergie zunehmend an Bedeutung. Viel stärker hingegen wird die Bedeutung der grauen Energie und deren Abhängigkeit zur Lebensdauer von Gebäuden an Relevanz gewinnen.

Die vorliegende am Beispiel erarbeitete Methodik stellt exemplarisch einen integralen Bewertungsprozess dar, der es ermöglicht, die bisher evaluierten Parameter der Energieeffizienz um das Thema der grauen Energie zu ergänzen. Die Berechnung der grauen Energie in der Vorentwurfsphase lässt Entscheidungen zum Thema Material nicht nur aus ästhetischen Gründen und bauphysikalischen Eigenschaften treffen. Durch die Evaluierung der grauen Energie ergibt sich ein neuer Parameter der das Verhalten des Gebäudes beeinflusst. Somit stellt sich das Fokus von der für den Betrieb notwendigen Energiemenge auf das allgemeine Thema der Ressourcen um. Das Thema der Ressourcenenergie verlangt in diesem Zusammenhang nach genaueren Prognosen zu der Lebensdauer der Gebäude und ihrer Veränderbarkeit. Je

länger der Lebenszyklus eines Gebäudes ist, desto wahrscheinlicher sind Eingriffe notwendig um neue Funktionen zu implementieren oder neuen Anforderungen zu genügen. Der Fußabdruck dieser Maßnahmen ist von zentraler Bedeutung. Das heißt, Ressourcen werden wichtiger und somit sollte man das Thema Nachhaltigkeit in enger Verbindung mit Ressourceneffektivität betrachten.

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Abbildung 0: Methodik

Abbildung 1: Außenperspektive „Alnatura Welt“ - neue Firmenzentrale Darmstadt

Abbildung 2: Innenraumperspektive „Alnatura Welt“ - neue Firmenzentrale Darmstadt

Abbildung 3: Grundriss EG „Alnatura Welt“

Abbildung 4: Grundriss 1.OG „Alnatura Welt“

Abbildung 5: Grundriss 2.OG „Alnatura Welt“

Abbildung 6: Raumprogramm „Alnatura Welt“ - 1/2

Abbildung 7: Raumprogramm „Alnatura Welt“ - 2/2

Abbildung 8: Schema Energiekonzept

Abbildung 9: Übersicht der Beeinflussung der Planungsentscheidungen in den einzelnen Planungsphasen – ergänzt um das Thema Klima und graue Energie

Abbildung 10: Schematische Darstellung von Grauer Energie und Betriebsenergie auf Zeit[1]

Abbildung 11: Matrix 2 für 30 Jahre

Abbildung 12: Matrix 2 für 10, 20 und 30 Jahre

Abbildung 13: Lebenszyklusphasen. Grüne Punkte zeigen bereits berücksichtigte Phasen, gelb die neu mit einbezogene.

Abbildung 14: Lebenszyklusphasen nach EN 15804:2012

Abbildung 15: Dekonstruktionsvergleich: Abrissenergie / Zeitaufwand

Abbildung 16: Fassaden: Übersicht konventionell und max. reuse

Abbildung 17: Fassaden: Graue Energie nach Phasen. Gutschriften werden als negative Zahlen addiert.

Abbildung 18: Fassaden Übersicht

Abbildung 19: Dach: Übersicht konventionell und max. reuse

Abbildung 20: Dach: Graue Energie nach Phasen. Gutschriften werden als negative Zahlen addiert.

Abbildung 21: Dach: Übersicht

Abbildung 22: Decken: Übersicht konventionell und max. reuse

Abbildung 23: Decken: Graue Energie nach Phasen. Gutschriften werden als negative Zahlen addiert.

Abbildung 24: Decken: Übersicht

Abbildung 25: Bauteilvarianten

Abbildung 26: Kombinationen Berechnung: Wiederverwendung und Recycling

Abbildung 27: Mehrzonensimulation

Abbildung 28: Tageslichtsimulation - Bewertungsskala 1-6

Abbildung 29: Tageslichtsimulation - Oberflächeneigenschaften

Abbildung 30: Tageslichtsimulation - Tageslichtquotient in %

Abbildung 31: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Abbildung 32: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Abbildung 33: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Abbildung 34: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Abbildung 35: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Abbildung 36: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Abbildung 37: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Abbildung 38: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Abbildung 39: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Abbildung 40: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Abbildung 41: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Abbildung 42: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Abbildung 43: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Abbildung 44: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Abbildung 45: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Abbildung 46: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Abbildung 47 Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Abbildung 48: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Abbildung 49: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Abbildung 50: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Abbildung 51: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Abbildung 52: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Abbildung 53: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Abbildung 54: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Abbildung 55: Berechnung der grauen Energie für eine 1-m Gebäudescheibe in MJ

Abbildung 56: Gesamtenergiebedarf einer Gebäudescheibe pro m² für 30 - 50 - 100 Jahre

Abbildung 57: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Abbildung 58: Gegenüberstellung Betriebs- und graue Energie pro m² Nutzfläche für 30-50-100 Jahre

Abbildung 59: Verlauf der spezifischen Kühlleistungsdifferenz bezogen auf die Dachgeschossfläche

Abbildung 60: Graphische Darstellung des Vergleichs zwischen einer „leichten“ und „schweren“ Dachkonstruktion

Abbildung 61: Alnatura-Welt, Schnitt

Abbildung 62: Alnatura-Welt, Detail der gewählten Fassadenkonstruktion

Abbildung 63: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen für ein Lebenszyklus von 30 Jahren

Abbildung 64: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen für ein Lebenszyklus von 50 Jahren

Abbildung 65: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen für ein Lebenszyklus von 100 Jahren

Abbildung 66: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen kombiniert

Abbildung 67: Gesamtenergiebedarf: Interpolation aller Kombinationen für ein Lebenszyklus von 30 Jahren

Abbildung 68: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen für ein Lebenszyklus von 50 Jahren

Abbildung 69: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen für ein Lebenszyklus von 100 Jahren

Abbildung 70: Gesamtenergiebedarf: Gegenüberstellung aller Kombinationen kombiniert

Literaturverzeichnis

1. Abramjuk M, Puschel D (2013) Umweltgerechte Baustoffe. Graue Energie und Nachhaltigkeit von Gebäuden. Fraunhofer IRB Verl., Stuttgart
2. <http://www.bosch-professional.com/de/de/handwerk-industrie-101271-ocs-c/>, zuletzt besucht am 6.7.15
3. Betrieblicher Umweltschutz in Baden-Württemberg (2015) Wärmedamm-Verbundsysteme (WDVS). <http://www.bubw.de/?lvl=2352>. Zugegriffen: 15. Oktober 2015
4. https://www.hilti.de/#/stage1/topnavigation-link-1_foldout/, zuletzt besucht am 6.7.15
5. <http://www.liebherr.com/de/deu/start/startseite.html>, zuletzt besucht am 6.7.15
6. Bundesamt für Energie BFE Energiestatistiken. <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/index.html?lang=de>.

Zugegriffen: 10. September 2015

7. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit Nutzungsdauer von Bauteilen. <http://www.nachhaltigesbauen.de/bausstoff-undgebaeuedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html>. Zugegriffen: 03. September 2015

8. Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) - Büro- und Verwaltungsgebäude. Kriterium: Rückbau, Trennung und Verwertung; Kriteriengruppe: Technische Ausführung; Hauptkriteriengruppe: Technische Qualität Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) - Büro- und Verwaltungsgebäude, BNB_BN 4.1.4

9. Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude. Ökologische Qualität - Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt - Treibhauspotential. <http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/RunderTisch/steckbriefe-2010/111.pdf>. ugegriffen: 21. September 2015

10. <http://www.boels.de/>, zuletzt besucht am 6.7.15
<http://www.volvoce.com/CONSTRUCTIONEQUIPMENT/EUROPE/DE-DE/Pages/introduction.aspx>, zuletzt besucht am 6.7.15

11. <http://www.roll-gmbh.de/roll-maschinen-und-werkzeug/strippermaschinen-zur-bodenbelagsentfernung.html>, zuletzt besucht am 6.7.15

12. Deutsche Bundestag (2012) Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen. Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG

13. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen DGNB Kriterium TEC1.6 - Rückbau- und Demontagefreundlichkeit. Nutzungsprofil: Neubau Bildungsbauten Version 2012 (Upgrade:31.07.2013). Themenfeld: Technische Qualität Kriteriensteckbriefe DGNB Neubau Bildungsbauten 2012, TEC1.6
60

14. Deutscher Bundestag Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Energieeinsparverordnung - EnEV

15. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2006) Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006); 13.020.10(DIN EN ISO 14044). Beuth Verlag, Berlin. http://www.bifne.de/fileadmin/bifne/userdata/Bilder_und_Grafik/DIN-ENISO_14040_-_2006.pdf. Zugegriffen: 02. September 2015

16. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2011) Energetische Bewertung

von Gebäuden –Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung 91.120.10; 91.140.01(DIN V 18599). Beuth Verlag

17. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2012) Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode ICS 91.040.99(DIN EN 15978). Beuth Verlag, Berlin

18. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2006) Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006) 13.020.10(DIN EN ISO 14040). Beuth Verlag, Berlin.
http://www.bifne.de/fileadmin/bifne/userdata/Bilder_und_Grafik/DIN-EN-ISO_14040_-_2006.pdf. Zugegriffen: 02. September 2015

19. UMWELTBUNDESAMT UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT; Forschungskennzahl 3709 33 317 UBA-FB 001676

20. Weimann, K. , Matyschik J., Adam C., Optimierung des Rückbaus/Abbaus von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung - Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
Dipl.-Ing. Tabea Schulz Dr.-Ing. Elske Linß Prof.Dr.-Ing. habil. Anette Müller Bauhaus-Universität Weimar Im Auftrag des Umweltbundesamtes

21. Hartwig J (2011) Ökobilanzierung von Gebäuden. <http://www.baulinks.de/architektur/oekobilanz-oekobilanzierung.php>. Zugegriffen: 21. September 2015

22. Kasser U, Poll M (1999) Ökologische Bewertung mit Hilfe der Grauen Energie. =Analysieren, Bewerten, Entwerfen, Überprüfen und Vereinfachen von Ökobilanzen. Schriftenreihe Umwelt, Bd 307. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern

23. Khouli SE, John V, Zeumer M (2014) Nachhaltig konstruieren: Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl - Gebäude ökologisch bilanzieren und optimieren. Detail Green Books.

24. König H, Köhler N, Kreisig J, Lutzkendorf T (2009) Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung. Grundlagen Berechnungen Planungswerkzeuge. Detail Green Books, Regensburg

25. Lutzkendorf T (2013) „Graue Energie“ in Dämmstoffen – ein Teilaspekt. Lohnt sich Dämmung aus Sicht von Ökobilanzen ? KIT- Karlsruher Institut für Technologie, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Lehrstuhl Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus. <http://www.waermeschutztag.de/>

media/pdf/wtag2013/ltzkendorf_fiw_wst2013.pdf.

Zugegriffen: 10. September 2015

26. Ökobau.dat (29.08.214) Grundsätze zur Aufnahme von Ökobilanzdaten in die Online- Datenbank ÖKOBAUDAT

27. Paal M Anwendbarkeit der Berechnungsregeln. aus dem Gutachten AZ 100501/-02, der TU Berlin, Fakultat VI, Institut für Bauingenieurwesen, Fachgebiet Bauphysik und Baukonstruktion, vom 23.6.2010 aufgestellt durch Univ.-Prof. Dr.-Ing. Vogdt und Dip.-Ing. Jan Bredemeyer. <http://www.viktoria-bausanierung.de/forschungsentwicklung/grundlagen-u-wert-be-rechnung.html>. Zugegriffen: 28. Oktober 2015

28. Zeumer M, John V, Hartwig J (2009) Nachhaltiger Materialeinsatz. Graue Energie im Lebenszyklus. Detail Green. <http://www.ibi.ethz.ch/sc/people/assistance/vjohn/>

29. Energy Design for Tomorrow / Energy Design für morgen – 2009 von Klaus Daniels (Autor), Ralph Hammann (Autor); Verlag: Edition Axel Menges; Auflage: Bilingual (2009) Sprache: Englisch ISBN-10: 3936681252 ISBN-13: 978-3936681253

30. Sustainable Materials - With Both Eyes Open (Without the Hot Air) by Julian M. Allwood (Author), Jonathan M. Cullen (Author) Publisher: UIT Cambridge Ltd. (April 1, 2012) ISBN-10: 190686005X ISBN-13: 978-1906860059

31. Energie Atlas: Nachhaltige Architektur (Konstruktionsatlanten) von Manfred Hegger (Autor), Matthias Fuchs (Autor), Thomas Stark (Autor), Martin Zeumer (Autor) Birkhäuser GmbH; Auflage: 1. Auflage (19. Oktober 2007) ISBN-10: 3764383852 ISBN-13: 978-3764383855

32. C.-A. Graubner, Martina Clanget-Hulin: Analyse der Trennbarkeit von Materialschichten hybrider Außenbauteile bei Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen Erstellung einer praxisnahen Datenbank für die Nachhaltigkeitsbeurteilung Fraunhofer IRB Verlag F 2837

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie hat am Beispiel der „Alnatura Welt“ Ergebnisse gezeigt, die Potential zur umfassenden Betrachtung aufweisen. Die Energieeinsparverordnung (EnEV) und die aktuelle Praxis im Bereich energieeffizientem und nachhaltigem Bauen fokussieren sich derzeit überwiegend auf die Minimierung von Betriebsenergie während der Nutzungsphase. Dabei steht als Prognose der theoretisch ermittelte Bedarf im Fokus der Betrachtung. Tatsächlicher Verbrauch und Betrieb werden in den seltensten Fällen evaluiert. Die Größe der in der Konstruktion gebundenen grauen Energie hingegen, die als stabile Größe über den Lebenszyklus des Gebäudes erhalten bleibt, findet derzeit keine Betrachtung im Entwurfsprozess.

Diese materialinhärente Energie gewinnt aber vor dem Hintergrund der knapp werdenden fossilen Energieträger für eine integrale Betrachtungsweise an Bedeutung. Daher soll die in der Planung berücksichtigte verbrauchsorientierte Betrachtung während der Nutzung des Gebäudes auf eine Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus ausgeweitet werden. Das Ziel ist eine ganzheitliche gebäudebezogene Optimierung der grauen Energie und der Betriebsenergie in der Vorentwurfsphase.

Darüber hinaus, verursacht die zunehmende Umstellung auf regenerative Energieträger eine Reduzierung der Primärenergiefaktoren, insbesondere für Strom. Diese Tendenz verspricht also eine Veränderung des Einflusses der regulierten Betriebsenergie. Damit verliert das Thema der reinen Effizienz im Bereich Betriebsenergie zunehmend an Bedeutung. Viel stärker hingegen wird die Bedeutung der grauen Energie und deren Abhängigkeit zur Lebensdauer von Gebäuden an Relevanz gewinnen.

Die vorliegende am Beispiel der Alnatura Arbeitswelt erarbeitete Methodik stellt exemplarisch einen integralen Bewertungsprozess dar, der es ermöglicht, die bisher evaluierten Parameter der Energieeffizienz um das Thema der grauen Energie zu ergänzen. Die Innovation dieses Vorhabens liegt in der radikalen Vereinfachung von Bau- und Herstellungsprozessen. Dabei steht neben Energieeffizienz auch im Fokus ein ressourcenoptimiertes Gebäude zu entwickeln. Die Berechnung der grauen Energie in der Vorentwurfsphase lässt Entscheidungen zum Thema Material nicht nur aus ästhetischen Gründen und bauphysikalischen Eigenschaften treffen. Durch die Evaluierung der grauen Energie ergibt sich ein neuer Parameter der das Verhalten des Gebäudes beeinflusst. Somit stellt sich das Fokus von der für den Betrieb notwendigen Energiemenge auf das allgemeine Thema der Ressourcen um. Das Thema der Ressourcenenergie verlangt in diesem Zusammenhang nach genaueren Prognosen zu der Lebensdauer der Gebäude und ihrer Veränderbarkeit. Je länger der Lebenszyklus eines Gebäudes ist, desto wahrscheinlicher sind Eingriffe notwendig um neue Funktionen zu implementieren oder neuen Anforderungen zu genügen. Der Fußabdruck dieser Maßnahmen ist von zentraler Bedeutung. Das heißt, Ressourcen werden wichtiger und somit sollte man das Thema Nachhaltigkeit in enger Verbindung mit Ressourceneffektivität betrachten.

Bewilligungsempfänger

Campus 360 GmbH

Alexander Link
Darmstädter Straße 63
64404 Bickenbach
Christiane.Meyer@alnatura.de

Projektleitung

Dipl.-Ing. Arch. M. Sc. Daniele Santucci
E-Mail: Daniele.Santucci@lrz.tum.de
Technische Universität München

Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen

Prof. Thomas Auer

Autoren

Prof. Dipl.-Ing. Thomas Auer
Dipl.-Ing. Arch. M. Sc. Daniele Santucci
Technische Universität München

Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen

Prof. Thomas Auer

Prof. Dipl.-Ing. Ulrich Knaack
Technische Universität Darmstadt
Lehrstuhl für Fassadentechnik

Prof. Linda Hildebrand
M.A. (Arch) Max Ernst
Rheinisch Westfälische Technische Hochschule Aachen
Lehrgebiet Rezykliergerichtetes Bauen

Haas Cook Zemmrich - STUDIO2050

Martin Haas
E-Mail: alnatura@haascookzemmrich.com

Transsolar

Christian Frenzel
E-Mail: Frenzel@transsolar.com