



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

DIPLOMARBEIT

BIM-ECO: Evaluierung von semi-automatisierten BIM-Workflows für die Berechnung von
Energieausweisen und Ökobilanzen

**ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung**

**Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Iva Kovacic
Univ.Ass. Dipl.-Ing. Julia Reisinger BSc**

E234 – Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Industriebau und interdisziplinäre Bauplanung

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Leonard Donkor

01025696

Wien, am 27.03.2020

KURZFASSUNG

Energetisch relevante Analysen und Berechnungen sowie die ökologische, ökonomische und soziokulturelle Betrachtung von Gebäuden in ihrem Lebenszyklus sind wichtige Ansätze in Richtung umweltbewussten Bauens. In diesem Kontext setzt diese Diplomarbeit an und greift das Thema von Energieausweisberechnungen und Lebenszyklusanalysen von Gebäuden auf. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der BIM-basierten Unterstützung zur Berechnung und Erstellung von Energieausweisen (EPC) und Ökobilanzen (LCA). Der Fokus wird hierbei vor allem auf den Arbeitsprozess semi-automatisierter BIM-Workflows gelegt.

Den Hauptteil der Arbeit bildet eine Variantenstudie, bei der unterschiedliche BIM-basierte Workflows für die Erstellung von EPC und LCA verglichen, evaluiert und optimiert werden. Zudem wird neben der Optimierung der Workflows auch die Gebäudeperformance untersucht und optimiert. Der Variantenstudie zu Grunde liegt ein Projekt-Entwurf, der als Ausgangsprojekt für die weiteren Analysen und Berechnungen definiert wird. Aufbauend auf einem Ausgangsobjekt werden drei idente digitale Gebäudemodelle in unterschiedlicher Software generiert. Die Modellierarbeit in ArchiCAD, Revit und Allplan schafft dabei die Basis für den Variantenvergleich der drei Workflows. Ein Ergebnisvergleich wird anhand ausgewerteter Kriterien wie der Gebäudegeometrie (Geschossfläche und Volumen) oder bauphysikalischen Energiekennzahlen wie dem Heizwärmebedarf durchgeführt. Ein anschließender Optimierungsvergleich erfolgt durch Verbesserung der Gebäudeperformance, um so alternative Szenarien gegenüber dem Ausgangsprojekt zu liefern.

Die Untersuchung im BIM-basierten Workflow erstreckt sich über den disziplinübergreifenden, digitalen Austausch im Planungsprozess. Auf Seiten der Auswertung und Ergebnisberechnung kommt das in Österreich zertifizierte Tool ArchiPHYSIK zum Einsatz. Durch die Evaluierung der Workflows werden vor allem Vor- und Nachteile in der Schnittstellen-Anwendung zwischen Modellerstellungs- und Modellauswertungs-Software hervorgehoben.

Eine entscheidende Beobachtung in den Workflows ist die Ergänzung teils automatisierter Befehlsflüsse durch manuelle Dateneingaben. Der Begriff „semi-automatisiert“ findet hier seine Anwendung und zeigt zugleich die Grenzen von BIM-basierten Workflows zum derzeitigen Stand der Technik auf. Zudem zeigen die Ergebnisse in der vergleichenden Auswertung eine Unschärfe von teilweise bis zu 18 Prozent.

Die Evaluierung der Workflows für die Erstellung und Berechnung semi-automatisierter, BIM-basierter Workflows für EPC und LCA soll durch die Variantenstudien veranschaulicht und dokumentiert werden. Darüber hinaus sollen die Workflowbeschreibungen eine Unterstützung in der Anwendung und Erstellung von Energieausweisen und Ökobilanzen durch BIM bieten.

ABSTRACT

Energy-technically relevant analyses and calculations, the ecological, economic and sociocultural consideration of buildings in their life cycle form important means towards environmentally conscious building in the building sector. In this context this Diploma Thesis takes up the topic of energy performance calculations and life cycle analysis of buildings. The focus thereby lies on the BIM-based support dealing with the calculation and generation of energy performance certificates (EPC) and life cycle assessments (LCA). Main emphasis hereby is also put on the work process of semi-automated BIM workflows.

The main part of this Thesis is a variant study, in which different BIM-based workflows for the creation of EPC and LCA are compared, evaluated and optimized. In addition to optimizing the workflows, the building performance is also examined and improved. The variant study is based on a project design, which is defined as a initial project for further analyses and calculations. Based on an initial object, three identical building models are generated in different software. The modelling work in ArchiCAD, Revit and Allplan marks the basis for the comparison of the three workflow variants.

The variants are compared based on evaluated criteria such as the building geometry (floor area and volume) or building physics indicators such as the heating requirement. A subsequent optimization is carried out by improving the building performance in order to provide alternative scenarios compared to the initial project. The investigation in the BIM-based workflows covers the interdisciplinary, digital exchange in the planning process. The tool ArchiPHYSIK which is certified in Austria is used for evaluating and calculating methods. The evaluation of the workflows emphasizes advantages and disadvantages of the interface application between model creation and model evaluation software.

A crucial observation in the workflows is the support of partly automated command flows through manual data entry. The term “semi-automation” finds its application at this point and at the same time shows the limits of BIM-based workflows at the current state of the art. In some cases, the results also show a difference of up to 18 % in the comparative evaluations.

The evaluation of the workflows for the creation and calculation of semi-automated, BIM-based workflows for EPC and LCA shall be illustrated and documented by the variant study. In addition, the workflow descriptions should provide support in the application and creation of energy performance certificates and life cycle assessments through BIM.

ERLÄUTERUNG – ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Fachbegriffe

- 3D: Drei dimensional
- AEC: Architecture, Engineering, Construction
- ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
- BEM: Building Energy Modeling *oder* Building Energy Model
- BG: Bilanzgrenze
- BGF: Brutto-Grundfläche bzw. Brutto-Geschossfläche
- BIM: Building Information Modeling *oder* Building Information Model
- BREP: Boundary Representation
- BRI: Brutto-Rauminhalt
- CAD: Computer Aided Design
- DGNB: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
- EA: Energieausweis
- EU: Europäische Union
- EPC: Energy Performance Certificate (Energieausweis)
- FEM: Finite Element Method (Festkörperberechnung)
- IBO: Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (Verein) und Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
- IFC: Industry Foundation Classes
- LCA: Life Cycle Assessment (Ökobilanz)
- LOD: Level of Detail
- NCM: National Calculation Method
- NFL: Netto-Fläche
- OI: Ökoindex
- ÖGNI: Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft
- ÖN: Österreichische Norm
- ÖN A: österreichische Allgemeine Normen
- ÖN B: österreichische Norm für Bauwesen
- PDF: Portable Document Format
- STB: Stahlbeton
- U-Wert: Wärmedurchgangskoeffizient

Einheiten

- % Prozent
- \emptyset Durchschnitt
- $^{\circ}$ Grad, Breitengrad, Längengrad
- $^{\circ}\text{C}$ Grad Celsius
- CO₂ Kohlenstoffdioxid
- ' Minuten
- " Sekunden
- a Jahr
- h Höhe
- m Meter
- m² Quadratmeter
- m³ Kubikmeter
- m ü. A. Meter über Adria (Höhe über dem Meeresspiegel)
- MJ Megajoule
- K Kelvin
- kW Kilowatt
- kWh Kilowattstunden
- kWh/m² Kilowattstunden per Quadratmeter
- kWh/m² a Kilowattstunden per Quadratmeter und Jahr
- l_c charakteristische Länge (Verhältnis von Volumen zu Oberfläche), gemessen in Meter
- MJ Megajoule
- SO₂ Schwefeldioxid
- W/m²K Watt pro Quadratmeter Kelvin

INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung / Abstract

Erläuterung - Abkürzungsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
1.1. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)	2
1.2. BEDARFSANALYSE	3
1.3. PROBLEMSTELLUNG	5
1.4. STAND DER TECHNIK	7
1.4.1. LITERATURRECHERCHE BIM ZU BEM	7
1.4.2. LITERATURRECHERCHE BIM ZU EPC	11
1.4.3. LITERATURRECHERCHE BIM ZU LCA	13
1.5. FORSCHUNGSZIEL	16
1.6. VORGEHENSWEISE	17
2. METHODIK	18
2.1. VERFAHREN ENERGIEAUSWEIS (EPC – ENERGY PERFORMANCE CERTIFICATE)	19
2.1.1. ENERGIEAUSWEISERSTELLUNG IN ÖSTERREICH	20
2.1.2. EPC MIT ARCHIPHYSIK	24
2.2. VERFAHREN ÖKOBILANZ (LCA – LIFE CYCLE ASSESSMENT)	27
2.2.1. UMWELTINDIKATOREN AUS DER SACHBILANZ	30
2.2.2. DATENSÄTZE FÜR ÖKOBILANZEN VON GEBÄUDEN	32
2.2.3. ÖKOBILANZEN UND LCA MIT ARCHIPHYSIK	33
2.2.4. BILANZGRENZEN	34
2.2.5. OI3 ÖKOINDIKATOR	34
2.3. ERKLÄRUNG BIM-BASIERTER WORKFLOW	35
2.4. PROJEKT VORGESCHICHTE UND ENTWURF	37
2.4.1. GEBÄUDE- UND STATIK-KONZEPT	40
2.4.2. ENERGIEKONZEPT	42
2.4.3. ENTWURFSDATEN	43
2.5. SYSTEMGRENZEN UND FESTLEGUNG DES AUSGANGSPROJEKTES	44

2.5.1.	RAHMENBEDINGUNGEN UND GEBÄUDEGEOMETRIE AUSGANGSPROJEKT	44
2.5.2.	AUFBAUTEN UND BAUTEILE DER THERMISCHEN HÜLLE	47
2.6.	FORSCHUNGSDESIGN	49
2.6.1.	EPC VARIANTENSTUDIE	51
2.6.2.	LCA VARIANTENSTUDIE	53
2.7.	RAHMENBEDINGUNGEN UND PARAMETER FÜR EPC UND LCA	55
2.7.1.	QUELLE DATENSÄTZE UND INDIKATOREN FÜR DIE LCA AUSWERTUNG	56
2.8.	MODELLIERUNG UND MODELLERGEBNISSE	58
2.8.1.	MODELLIERUNG IN ARCHICAD	58
2.8.2.	MODELLIERUNG IN REVIT	59
2.8.3.	MODELLIERUNG IN ALLPLAN	60
2.9.	VORGEHENSWEISE IN DER OPTIMIERUNG	60
2.9.1.	VARIANTENVERGLEICH IN DER ERGEBNISOPTIMIERUNG – VARIANTE OPTI 1 UND OPTI 2	61
3.	SOFTWARE WORKFLOWS – VERGLEICHENDE STUDIE	62
3.1.	BIM BASIERTE WORKFLOWS FÜR DIE ENERGIEAUSWEISBERECHNUNG (EPC)	62
3.1.1.	EPC AUSGANGSPROJEKT – WORKFLOW	63
3.1.2.	VARIANTE EPC 1 – WORKFLOW MIT ARCHICAD UND ARCHIPHYSIK	65
3.1.3.	VARIANTE EPC 2 – WORKFLOW MIT REVIT UND ARCHIPHYSIK	70
3.1.4.	VARIANTE EPC 3 – WORKFLOW MIT ALLPLAN UND ARCHIPHYSIK	75
3.2.	BIM-BASIERTE WORKFLOWS FÜR DIE ÖKOBILANZ (LCA)	77
3.2.1.	VARIANTE LCA 1 – WORKFLOW MIT ARCHICAD ZU ARCHIPHYSIK, DATENSATZ BAUBOOK 2018	78
3.2.2.	VARIANTE LCA 2 – WORKFLOW MIT MS EXCEL, DATENSATZ BAUBOOK 2018	82
3.2.3.	VARIANTE LCA 3 – WORKFLOW MIT ARCHIPHYSIK, DATENSATZ IBO 2013/08	85
4.	BIM-BASIERTE BERECHNUNGEN – VERGLEICHENDE STUDIE	86
4.1.	ERGEBNISAUSWERTUNG DER EPC-VARIANTEN	86
4.1.1.	ERGEBNIS AUSGANGSPROJEKT	86
4.1.2.	ERGEBNIS VARIANTE EPC 1 – WORKFLOW ARCHICAD	87
4.1.3.	ERGEBNIS VARIANTE EPC 2 – WORKFLOW REVIT	87
4.1.4.	ERGEBNIS VARIANTE EPC 3 – WORKFLOW ALLPLAN	88
4.1.5.	ERGEBNISGEGENÜBERSTELLUNG DER EPC VARIANTENSTUDIE	88
4.2.	ERGEBNISAUSWERTUNG DER LCA-VARIANTEN	90
4.2.1.	ERGEBNISGEGENÜBERSTELLUNG BERECHNUNGEN VARIANTE LCA 2 UND LCA 1	90

4.2.2.	GRAPHISCHE ERGEBNISDARSTELLUNG LCA 2	92
4.2.3.	GRAPHISCHE ERGEBNISDARSTELLUNG LCA 1	93
4.2.4.	ERGEBNISGEGENÜBERSTELLUNG BERECHNUNGEN VARIANTE LCA 2 UND LCA 3	94
4.2.5.	GRAPHISCHE ERGEBNISDARSTELLUNG LCA 3	96
4.2.6.	OI3 INDEX BEWERTUNG MIT ARCHIPHYSIK FÜR VARIANTE LCA 1	97
4.3.	AUSWERTUNG WORKFLOWS - NUTZBARKEIT	97

5. OPTIMIERUNG **99**

5.1.	OPTIMIERUNG DER SOFTWARE WORKFLOWS	101
5.2.	OPTIMIERTER SEMI-AUTOMATISIERTER BIM-WORKFLOW FÜR EPC UND LCA	103
5.3.	OPTIMIERUNG DER GEBÄUDEPERFORMANCE	104
5.3.1.	OPTIMIERUNG DER GEBÄUDEPERFORMANCE DURCH PRODUKTVERBESSERUNGEN – OPTI 1	104
5.3.2.	OPTIMIERUNG DER GEBÄUDEPERFORMANCE DURCH ÄNDERUNG DER AUFBAUTEN – OPTI 2	105

6. SCHLUSSFOLGERUNG **107**

6.1.	BIM ≠ BEM	109
6.2.	BEDARF VS. VERBRAUCH	110
6.3.	ZUKUNFTSVISION: ZENTRALISIERTER, AUTOMATISIERTER BIM-BASIERTER WORKFLOW FÜR EPC UND LCA	111
6.4.	ZUKUNFTSBlick	114

7. VERZEICHNISSE **115**

7.1.	LITERATURVERZEICHNIS	115
7.2.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	118
7.3.	TABELLENVERZEICHNIS	120

Anhang

1. EINLEITUNG

Architektur als Baustein unseres Seins setzt sich nicht nur mit dem gebauten Raum rund um uns auseinander, sondern umfasst darüber hinaus wesentliche Bestandteile unserer Existenz. Sie breitet sich großflächig jenseits der Grenzen der gebauten vier Wände in unser aller Leben aus und versucht, den Bedürfnissen im Alltag zu begegnen.

Der stetig ansteigende Bedarf an physisch errichteten Raum, vorwiegend bedingt durch demographische Faktoren wie dem Bevölkerungswachstum, bringt jedoch auch neue Herausforderungen, nicht nur für den Menschen allein, sondern auch für die Umwelt mit sich. Umfangreiche, ressourcenintensive Entwicklungen im Bausektor führen zu einem enormen Verbrauch an Energie und haben diesen zu einem der größten Energiekonsumenten heranwachsen lassen. Im Lebenszyklus von Gebäuden und baulichen Anlagen werden im Zuge der Herstellung bis hin zur Bewirtschaftung große Energie- und Stoffströme und deren Wirkungen auf die Umwelt verursacht. Derzeit schätzt man lt. Röck et al. (2018), dass zirka 40 % der verbrauchten Rohstoffe in der Lithosphäre und grob 50 % der globalen Treibhausgasemissionen auf die gebaute Umwelt zurückzuführen sind.

Ein zunehmendes Bewusstsein in den vergangenen Jahren in der Politik, der Industrie und der globalen Bevölkerung sowie der Drang nach innovativen Lösungen zur Reduktion des Energieverbrauchs im Gebäudesektor zeigen nicht zuletzt eine gesellschaftsübergreifende Trendwende. Zahlreiche internationale Abkommen und Konventionen hinsichtlich dem Weltklima und dem Entgegenwirken der globalen Erderwärmung verdeutlichen, die Wichtigkeit und Bedeutung welche dem Thema der Ressourcenschonung und der Umweltentlastung zugemessen wird.

Die Reduktion des Energieverbrauchs sowie der damit einhergehenden Emissionen sind daher prioritäre und zukunftsverheißende Planungsziele. Bereits in frühen Planungsphasen werden die Parameter für Ressourcen und Energieeffizienz definiert. Somit gilt es für Planer* fundamentale Grundsatzentscheidungen hinsichtlich Ökologie und Umweltfreundlichkeit in der Konzeptionierung zu berücksichtigen. Gebräuchliche Themen bei der Konzeptionierung wie beispielsweise Materialität oder Flächeneffizienz können hierbei um Faktoren zur Steuerung des Energieverbrauchs oder der CO₂ Bilanzierung ergänzt werden. Eine diesbezügliche Erfassung und Bewertung durch den Energieausweis und die Ökobilanz eines Gebäudes zeigen neue Planungstools mit planerischen Aspekten auf, die im frühen Stadium der Planungsphase eingesetzt werden können.

Die digitale Methode Building Information Modeling (in weiterer Folge dieser Arbeit auch mit BIM abgekürzt) ermöglicht in diesem Zusammenhang bahnbrechende Lösungen. Von der Geometrieermittlung bis hin zu der Auswertung von Bauteildaten bietet BIM eine Vielzahl an Tools und Möglichkeiten an, um die

* Die im Verlauf der Arbeit verwendeten Berufsgruppenbezeichnungen sind grammatisch bewusst im generischen Maskulinum gehalten und sind daher stets geschlechtsunabhängig zu verstehen.

Informationsgewinnung für und die Erstellung von Energieausweisen und Ökobilanzen durch computerunterstützte Software zu erleichtern.

An dieser Stelle setzt auch der Schwerpunkt dieser Arbeit an. Der Einsatz von BIM für die Generierung eines Energieausweises und einer Ökobilanzberechnung soll in einem semi-automatisierten BIM-Prozess untersucht und evaluiert werden.

1.1. Building Information Modeling (BIM)

Building Information Modeling (auf Deutsch wörtlich übersetzt: Bauwerksdatenmodellierung; in weiterer Folge dieser Arbeit kurz genannt als: BIM) beschreibt eine Methode der optimierten Planung, die eine bauliche Struktur samt ihren physikalischen sowie funktionsbedingten Eigenschaften betrachtet. Die Erzeugung räumlicher Strukturen erfolgt durch eine objektorientierte Modellierung, bei der Attribute ergänzt und Eigenschaften in Datenbanken hinterlegt werden können. Ein digitales und virtuell erzeugtes Modell kann dadurch im gesamten Gebäudelebenszyklus, von der Planung bis hin zum Rückbau in allen Phasen eingesetzt werden. (Tautschnig, Fröch & Gächter, 2014)

Austrian Standards International (früher: Österreichisches Normungsinstitut) definiert BIM demnach wie folgt:

„Unter Building Information Modeling (BIM) oder Gebäudedatenmodellierung versteht man die optimierte Planung und Ausführung von Gebäuden mit Hilfe entsprechender Software. BIM ist ein intelligentes digitales Gebäudemodell, das es allen Projektbeteiligten - vom Architekten und Bauherrn über den Haustechniker bis hin zum Facility Manager - ermöglicht, gemeinsam an diesem integralen Modell zu arbeiten und dieses zu realisieren.“

BIM wird in der Bauwirtschaft als neue gemeinsame Sprache gesehen. Eine neue Planungstechnologie der „interagierenden, ganzheitlichen Planung“, die sich über den gesamten Lebenszyklus eines Projekts erstreckt. Grundlage dafür ist ein zentralisiertes, projektbezogenes und virtuelles Gebäudemodell. Diesem Gebäudemodell, oft auch virtueller oder digitaler Zwilling genannt, werden zusätzlich zu seiner Geometrie, bauteilbeschreibende Eigenschaften in Form von alphanummerischen Informationen zugeordnet. 3D Planung allein ist jedoch nicht automatisch als BIM zu sehen, denn BIM umfasst vielmehr einen umfangreichen Entwicklungsvorgang um Planungs- bzw. Bauprozesse, sowie auch Betreiberprozesse optimiert abwickeln zu können (Tautschnig, Fröch & Gächter, 2014).

Mit Hilfe von BIM wird vor allem ein intelligentes Gebäudemodell erstellt, auf das von allen beteiligten Akteuren zugegriffen und das zentral bearbeitet werden kann. Eine vernetzte digitale Erfassung und Kombination aller Gebäudedaten erlaubt eine ständige Aktualisierung und Synchronisierung des Modells. Hiermit wird die Basis für einen optimierten Informationsaustausch aller Beteiligten gelegt, worauf projektspezifische Arbeitsprozesse, sogenannte „Workflows“, für die integrale Arbeitsweise und -abläufe aufbauen. In Folge

dessen kann hinsichtlich Kosten, Abläufe und Qualität die Produktivität in einem Planungsprozess effektiv gesteigert werden.

Laut Austrian Standards International werden die Standards für die digitale Modellierung in Österreich künftig in einer eigenen Normengruppe, der ÖNORM A 6241 zusammengefasst. International wird für den modellbasierten Datenaustausch im Bauwesen der offene Standard *Industry Foundation Classes* (IFC) verwendet.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird der Einsatz von BIM in Bereichen der Energieausweisberechnung (EPC) sowie der Lebenszyklusanalyse (LCA, Ökobilanz) untersucht. Einen Teil der Untersuchung stellt die Evaluierung eines optimierten Workflows für EPC (Energy Performance Certificate) und LCA (Life Cycle Assessment) dar.

1.2. Bedarfsanalyse

Mit Ihrer Klima- und Energiepolitik strebt die Europäische Union (EU) eine langfristige Reduktion des Energieverbrauchs und den damit einhergehenden Emissionen an. Die EU definiert im Rahmen ihrer Klimaschutzziele bis 2030 drei große Schwerpunkte:

- Senkung der Treibhausgasemissionen um mindestens 40 % (gegenüber dem Stand von 1990)
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energiequellen auf mindestens 27 %
- Steigung der Energieeffizienz um mindestens 27 %

Dieser Rahmen wurde im Oktober 2014 festgelegt. Die Ziele bauen auf dem Klima- und Energiepaket 2020 auf und stehen daher auch im Einklang mit den längerfristigen Zielvorgaben des Energiefahrplans der EU für 2050.

Am 12. Dezember 2015 fand die internationale Klimakonferenz in Paris (auch „COP 21“ genannt) statt, bei der sich erstmals alle Staaten dazu verpflichteten, die Weltwirtschaft auf klimafreundliche Weise zu ändern. Das Pariser Abkommen wurde von 195 Länder verbindlich unterzeichnet, um einen internationalen, globalen Aktionsplan in die Wege zu leiten, der eine globale Erderwärmung unter 2 °C anstrebt.

Die Zeichen der Weltpolitik und -wirtschaft setzen auf einen gemeinsamen, unabdingbaren Trend der „umweltfreundlichen Revolution“, die ein globales Ziel zum Schutz der Umwelt und unseres Lebensraumes vorsehen. (EU-Kommission, Online Artikel Zugriff am 12.03.2019)

In der Europäischen Union zählt der Bausektor mit 40 % des gesamten End-Energieverbrauchs zu einem der größten Energieverbraucher. Den Verbrauch zu reduzieren ist nach A. Fouquier et al. (2013) auch ein soziologisches, technisches und wissenschaftliches Thema. Neue Methoden müssten entwickelt werden, um Experten im Bauwesen und in ihren Herangehensweisen zur Optimierung von Entwürfen zu unterstützen und die Energieeffizienz zu fördern. In diesem Zusammenhang hat die Europäische Union beispielsweise eine

Richtlinie, in der aktuell überarbeiteten Fassung vom 30. Mai 2018, über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Energieeffizienz veröffentlicht. Zahlreiche internationale und nationale Regelungen sehen die Notwendigkeit von Maßnahmen, die eine energetische Performance im Bausektor beschleunigen und verbessern.

Der Bausektor steht somit unter Druck all diesen Neuerungen auf Gesetzesebene, den ökonomischen Forderungen und Erwartungen, aber auch dem zunehmenden globalen Umweltbewusstseinswandel von Bauherren und Nutzern auf einer pragmatischen, zeit- und kosteneffektiven Art und Weise gerecht zu werden.

Beinahe so revolutionär wie die internationalen Ereignisse rund um die Klima- und Umweltschutzziele, scheint der Vorstoß von Building Information Modeling in der Baubranche zu sein. Wie bereits erwähnt geht BIM weit über die 3D Planung hinaus und bietet eine Vielzahl an fortschrittlichen Möglichkeiten, um technische Prozesse der Gebäudeplanung und darüber hinaus zu revolutionieren. Viele Planungsbüros der AEC Industrie setzen derzeit auf den Einsatz von „BIM-Authoring Tools“ wie ArchiCAD von Graphisoft oder Autodesk® Revit, um verwertbare 3D-Modelle zu erzeugen.

Um jene Modelle für den Gebrauch von Energiesimulationen oder Lebenszyklusanalysen heranziehen zu können, bedarf es einer effizienten Auswertungslösung von BIM Modellen, denen in Fragen rund um den Energieverbrauch letztendlich ein Building Energy Model (BEM) gegenübersteht. Der Bedarf an Effizienz liegt jedoch nicht nur in der Auswertung der Modelle allein, sondern auch in der grundlegenden Modellierung von Architektur- beziehungsweise Gebäudemodellen, um diese in Korrespondenz mit den zahlreichen beteiligten Professionisten und Planern effektiv austauschen und bearbeiten zu können. Eine Vereinfachung der Schnittstellen, beispielsweise zwischen Architekten und Bauphysikern bei der Erstellung, Bearbeitung und Pflege eines Gebäudeenergiemodells (BEM), sei wünschenswert, um die interdisziplinäre Zusammenarbeit zu erleichtern.

C.E. Barbour et al. sieht in einem 2016 veröffentlichten Entwurf zum „Fahrplan für Building Energy Modeling“ Möglichkeiten zur Ausweitung der Anwendung von BEM vor. BEM findet in den Vereinigten Staaten nur in 20 % von neuen Geschäfts- und Bürobauten Verwendung, bei Wohnbauten vermutlich noch weniger. Der Gebrauch von BEM würde zukünftig bei der Unterstützung von Bauprozessen an Bedeutung gewinnen. Dies sei zum einen auf den Reduktionsbedarf des Energieverbrauchs zurückzuführen, zum anderen aber vor allem auf die zunehmenden Bauherrenentscheidungen für den Einsatz von BEM. Das Bewusstsein der Bauherren werde durch die finanziellen Vorteile, die ein Gebäudeenergiemodell mit sich bringe gestärkt. Dies geschehe nicht nur um das Modell effektiv zu bewirtschaften, sondern auch daran aktiv teilzunehmen, den Gebäudeenergiebedarf in Zukunft nachhaltig zu steuern (Barbour et al., 2016).

Die Beschäftigung mit dem Thema der Nachhaltigkeit führt in einem erweiterten Kontext zum Ausbau der räumlichen und zeitlichen Systemgrenzen. Während im Baubereich bis vor einiger Zeit nur die tatsächlichen, direkt verwerteten Investitionen und das Aufkommen von Energie für den Neubau gewertet und berücksichtigt

wurden, sind neue Systemgrenzen wie die Schnittstelle zur Natur (Entnahme von Rohstoffen und die Rückführung von Emissionen) sowie der Lebenszyklus in die ganzheitliche Betrachtung und Bewertung von Gebäuden hinzugekommen. Die Betrachtung eines Bauwerks im Bilde seines Lebenszyklus beginnt bei der Rohstoffgewinnung und -aufbereitung, über die Herstellung und Nutzung und reicht bis hin zum Abriss und Recycling, sozusagen von der Wiege bis zur Bahre. Zertifizierungssysteme zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden beruhen unter anderem auf Ökobilanzen und beziehen gewonnene Informationen in eine Gesamtbewertung von Einzelbauwerken ein (König et al., 2009).

Es zeigt sich, dass der Einsatz von EPC und LCA mit Unterstützung von BIM, auf der Metaebene der umweltbewussten Gebäudeplanung am Vormarsch ist und angesichts der globalen ökologischen und ökonomischen Entwicklungen an Bedeutung in der Bauwirtschaft gewinnt.

Es besteht ein großer Handlungsbedarf einerseits im globalen umweltbezogenen Kontext, andererseits im technischen Bereich bei der Optimierung von neuauftkommenden Möglichkeiten durch BIM. Der Druck, der aus diesen zwei großen Spannungsfeldern der Gesellschaft entsteht und von umweltökologischer und technischer Natur geprägt ist, ist zugleich auch Triebfeder für weitere Ansätze in der Beantwortung von Fragen bezogen auf Ökologie und Technik.

Der Gebrauch von EPC und LCA im Bausektor kann hier als Grundstein für einen wissenschaftlichen Lösungsansatz und Beitrag zur Verbesserung der Lebensqualität herangezogen werden. Durch BIM-unterstützte Arbeitsprozesse ist gar eine nachhaltig ökonomische Anwendung durch einen kosten- und zeitoptimierten Einsatz dieser Planungstools möglich.

Das umweltbewusste Bauen, insbesondere im Sinne ressourcenschonender und nachhaltiger Planung ist ein wichtiger Schritt in Richtung einer gerechteren Gesellschaftsordnung und sollte mit Bedacht in der Praxis des Alltags berücksichtigt und eingepflegt werden.

1.3. Problemstellung

„Bautätigkeiten ermöglichen materielle Lebensgrundlagen und schaffen zugleich Lebensraum sowie Arbeitsumgebungen. Zugleich erzeugen sie die größten von Menschenhand bedingten Stoffflüsse und tragen entscheidend zur Versiegelung von Böden bei. Gebäudebetriebe haben durch ihren laufenden Energieverbrauch erhebliche Einwirkungen auf die Umwelt und tragen zu hohen Umweltbelastungen bei. Der Bestand an Gebäuden birgt unterdessen das größte finanzielle, physische und kulturelle Kapital der industriellen Gesellschaften.“ Der Frage der nachhaltigen Entwicklung für den Baubereich kommt nach König et al. (2009) deshalb eine ganz besondere Bedeutung zu.

Laut C.E. Barbour et al. (2016) zeigen die meisten Bauherren nicht genug Wertschätzung gegenüber BEM. Der Wunsch einer sowohl raschen als auch kosteneffizienten Abwicklung und Durchführung von Projekten steht an erster Stelle. Dies hat zur Folge, dass Architekten und Planer stets gefordert sind, den zeitlichen Aufwand, der in ökologische Planungsthemen investiert werden soll, zu minimieren.

Eine Verbesserung in der Interoperabilität der Design- und Auswertungstools könnte das Problem des erforderlichen zeitlichen Aufwands und den damit einhergehenden Kostenaufwand reduzieren. Direkte Übertragungen und Verwertungen von Daten aus einem zentralen Modell könnten die zeitintensive, erneute Eingabe von Daten zur Auswertung reduzieren. Idealerweise sollten Software-Hersteller ein Kontinuum an interoperablen Tools, im besten Falle sogar einheitlich individuell angepasste Tools bereitstellen, die von der Entwurfsmodellierung bis hin zur Ausführung, die Erfordernisse für baurechtliche Energiegesetze und Green Building Zertifizierungen erfüllen (Barbour et al., 2016).

Neben diesen teils paradigmatischen, ökologischen und ökonomischen Aspekten treten im Rahmen der Anwendung von BIM für LCA und EPC unterschiedlichste technisch-bedingte Probleme auf. Dies ist vor allem auf den letzteren Punkt zurückzuführen, dass eine vereinheitlichte Interoperabilität der zahlreichen Softwareprodukte für modellbasierte Zusammenarbeit am Markt noch nicht vollständig ausgereift ist. Somit gibt es in der Praxis nach wie vor Problematiken im Zusammenhang mit der Implementierung und der Effektivität von BIM-basierten Tools.

Nach S. Beazley et al. (2017) wären Authoring-Tools für Architekten mit unzureichenden integralen Verbindungsstellen zur Software für thermische und umweltbezogene Analysen ausgestattet. Diesem Umstand zu Schulden, leide das ohnehin geringe Wissen über erforderliche Daten von anderen Professionisten in beiderlei Richtungen, stromauf und -abwärts.

Um mit BIM einen Import, Export oder eine Anpassung von Information vornehmen zu können, ist ein kontinuierlicher Austausch zwischen allen Projektbeteiligten über den gesamten Zyklus eines Gebäudes erforderlich. Doch zeigt die Praxis, dass nach wie vor viele Planer mit der manuellen Eingabe von unzähligen Daten und der Adaptierung von Parametern in den Energieberechnungstools, zusätzlich zu den aus BIM und BEM erhaltenen Informationen, konfrontiert sind.

Wie auch diese Arbeit noch zeigen wird, ist ein BIM-basierter Prozess zur Erstellung von EPC und LCA derzeit noch nicht vollautomatisch funktionsbereit und ohne manuelle Nacharbeit nicht anwendbar. Der Begriff „semi-automatisiert“ tritt an dieser Stelle in den Fokus und weist darauf hin, dass Automatismen innerhalb von Entwicklungsprozessen nur im begrenzten Rahmen funktionsfähig sind. Das Arbeitsprinzip der Semi-Automatik zeigt eine anteilige Unterstützung durch den Nutzer, bei der dieser in den (automatisierten) Prozess eingreifen muss, beispielsweise um Daten manuell zu bearbeiten. Solche Eingriffe entstehen oftmals beim Verlassen von Systemgrenzen der eigenen Kompetenz und sind Großteils auf eine Schnittstellenproblematik zurückzuführen. Man könnte hierbei das Beispiel der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Architektur

und Bauphysik aufgreifen (wird in dieser Arbeit noch ausführlich behandelt), um diese Thematik theoretisch zu veranschaulichen:

Für die Erstellung energetischer Analysen eines Gebäudemodells stellt die Architektur der Bauphysik automatisch generierte Geometriedaten eines BEM Modells mittels Exports zur Verfügung. Die Bauphysik kann diese wiederum in der Bauphysik-Software zur Berechnung der Analysen automatisch importieren. Für die Berechnung und Auswertung der bauphysikalischen Ergebnisse benötigt die Bauphysik jedoch zusätzliche semantische, bauphysikalische Daten, die durch den Export beziehungsweise Import des BEM Modells nicht mitgeliefert werden konnten. Eine manuelle Ergänzung dieser bauphysikalischen Daten ist daher erforderlich, um eine entsprechende Ergebnisauswertung durch die Bauphysik erzielen zu können.

Dieses Theorie-Beispiel zeigt, dass in diesem konkreten Fall die Schnittstelle zwischen Architektur und Bauphysik auf geometrischer Modelldatenübertragungsebene automatisiert funktionieren kann, aber außerhalb des Systems der Architektur durch zusätzliche Informationen manuell ergänzt werden muss. Der Automationsprozess wird somit an der Schnittstelle der beiden unterschiedlichen Fachdisziplinen gekappt und durch manuelle Eingriffe komplettiert. Die kompetenzübergreifende, integrale Zusammenarbeit funktioniert in diesem Beispiel somit semi-automatisiert.

Die Gefahr des Datenverlusts bei der gewerkeübergreifenden Zusammenarbeit stellt eine heikle Problemzone dar. Mangelnde Kommunikation, unzureichende Fachkenntnis außerhalb der eigenen Disziplin oder technische Lücken können dazu führen, dass Dateninformationen im Austausch versickern. Das automatische Auslesen und die Bereitstellung von Geometriedaten sowie auch Bauteildaten über BIM ist dennoch ein großer Vorteil in der Erstellung von EPC und LCA. Es gilt daher diesen Vorteil in den Prozessen von semi-automatisierten BIM-Workflows gezielt einzusetzen und möglichst nahe an die Vollautomation zu führen.

1.4. Stand der Technik

In den nachstehenden Unterkapiteln werden gängige Methoden aus der Literatur aufgegriffen, die sich mit den BIM bezogenen Themen rund um Building Energy Modelling (BEM), der Energieausweisberechnung (EPC) und der Lebenszyklusanalyse (LCA) beschäftigen.

1.4.1. Literaturrecherche BIM zu BEM

Georgios Gourelis und Iva Kovacic gehen in ihrem Paper „*Building Information Modelling for analysis of energy efficient industrial buildings*“ (2016) auf die Anpassung eines Building Information Model zum Building Energy Model ein. Die BIM zu BEM Methode sei eine weitestgehend neue Anwendung im Planungssektor, da Energieoptimierung von Gebäuden noch nicht allzu lange im Fokus von Bauherren und Planern stehe. Vor allem

im Industriesektor sei der gebäudebezogene Energieaufwand verhältnismäßig gering im Vergleich zum prozessorientierten Energieverbrauch, weshalb einer Energieoptimierung im Vorfeld nur geringe Aufmerksamkeit geschenkt werde. Zudem herrsche in der Planungsphase oft ein hoher Zeitdruck, der nebst gebundenen finanziellen Ressourcen die Prioritätenverteilung in eine andere Richtung lenke.

Generell sei die Anwendung von BIM für Gebäudeperformance-Modellierung und Analyse ein stark untersuchtes Recherchethema, da BIM ein großes Potenzial für die Verarbeitung von Geometrie-, Material-, sowie technischer, baulicher und HKLS bezogener Daten biete.

Nach G. Gourlis und I. Kovacic würde Autodesk REVIT als häufigste Software zum Modellieren von Industriegebäuden herangezogen werden. REVIT biete den Vorteil, dass es so zu sagen als „*One-Platform-BIM*“ zugleich unterschiedliche Module für Architekten, Ingenieure und Haustechniker beinhalte und den Schnittstellen bezogenen Datentransfer dadurch verringere. Zudem habe Autodesk für Revit einen prototypischen „*Design Performance Viewer*“ entwickelt, der für die Bedarfsberechnung von Energie und Exergie in den frühen Planungsphasen herangezogen werden kann.

Im Gegensatz zu den One-Platform-BIM Lösungen habe das Lawrence Berkeley National Laboratory beispielsweise das Space Boundary Tool (SBT) entwickelt, um über einen open-BIM Ansatz mittels IFC-Schnittstelle und semi-automatisierten Prozessen BEM Modelle zu generieren. Auf die Studie des Berkeley National Laboratory „*Transforming BIM to BEM*“ von O'Donnell et al. (2013) wird in einem weiteren Abschnitt dieses Kapitels noch näher eingegangen.

Welle et al. (2011) und Ahn et al. (2014) haben ebenfalls IFC-basierte Tools entwickelt, um automatisierte thermische Simulationen mit EnergyPlus zu ermöglichen. Dies sei durch sogenannte „*input data files*“ (IDF) gelungen, welche Geometrie, thermische Zonierung und Materialinformationen beinhalten, mit dem Ziel die Genauigkeit und den Modellieraufwand von BEM Modellen zu verbessern.

In den meisten Studien werde vor allem die Interoperabilität und der Daten-Transfer sowie die Benutzerfreundlichkeit für BIM zu BEM Systemen hervorgehoben, um Neumodellierungen zu vermeiden und BEM Modelle auf eine einfachere Weise zu erzeugen. Das Hauptthema liege nach Clarke and Hensen (2015) im Bereich vom Informationsaustausch zwischen unterschiedlichen Tools, ohne dadurch unterschiedliche BIM Modelle zu benötigen. Die Datenübertragung von BIM zu BEM Software erfolge in den meisten Fällen über die bereits genannte IFC Schnittstelle und über das gbXML (green building extensible markup language) Datenformat, das für Energiesimulationen entwickelt wurde und durch viele Analyse Softwaretools unterstützt werde.

Softwaretools für thermische Berechnungen wie IES-VE, EnergyPlus, eQUEST und ähnliche würden auf das gbXML Format zurückgreifen, da es ein einfach und leicht zu verstehendes Format darstelle. IFC würde

hingegen das einzige offene ISO standardisierte Format bieten, das hauptsächlich im Gebäudedatenaustausch seine Anwendung finde und zur primären BIM Sprache entwickelt werde.

Die Potenziale von BIM für die Entwurfs- und Energieoptimierung von Industriegebäuden haben G. Gourlis und I. Kovacic (2016) anhand einer Fallstudie untersucht. In zwei Fällen wurde je ein Architektur BIM Modell in ein BEM Modell umgewandelt. Auf Seiten von BIM wurde im Modellierungsprozess Autodesk REVIT verwendet und EnergyPlus via SketchUP und OpenStudio Plug-in für BEM. Die BIM Modelle wurden durch Erzeugung von Building Energy Modellen, bzw. durch Re-Modellierung der Gebäudemodelle in die thermische Simulations-Software transportiert.

Die Resultate der Fallstudie zeigten, dass die größten Herausforderungen im Bereich der Vereinfachung des Architekturmodells, in der thermischen Zonierung und dem Transfer der Material- und Bauteildaten lagen.

Das BIM Modell wurde mit der nötigen Geometrieinformation via dem gbXML Format im OpenStudio Plug-in für SketchUP exportiert, welches eine direkte Verbindung mit zur Auswertungssoftware EnergyPlus besitzt. In einigen Fällen wurde eine manuelle Nachbearbeitung erforderlich, um Informationen über Geometrie und Systemgrenzen zu korrigieren. Materialeigenschaften wurden direkt in den EnergyPlus Modellen manuell eingegeben, da diese nicht über gbXML vom BIM Modell exportiert, beziehungsweise importiert werden konnten.

Die Untersuchungen von G. Gourlis und I. Kovacic (2016) zeigten, dass die BIM zu BEM Anwendungen für den alltäglichen Gebrauch nach wie vor nicht vollständig ausgereift seien und zumal erhebliche (manuelle) Anpassungen und Remodellierung erfordern.

Um auf die Studie von O'Donnell et al. zurückzukommen wird an dieser Stelle das Paper „*Transforming BIM to BEM: Generation of Building Geometry for the NASA Ames Sustainability Base BIM*“ (2013) näher erläutert. Das Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) habe sich demnach mit der Thematik von typischen BEM-Prozessen beschäftigt und einen semi-automatisierten Prozess entwickelt, der es ermöglicht Umwandlungen von Gebäude Geometrien aus BIM Modellen zu reproduzieren und in verwertbare Formate für BEM zu übertragen. Diese Methode soll dem teils fehleranfälligen, zeit- und arbeitsintensiven Gesamtprozess von BEM entgegenkommen. Die Studie demonstriert dabei die einzelnen Schritte in der Gewinnung von Geometriedaten eines Gebäudes mit ArchiCAD (Graphisoft, 2012) und EnergyPlus als Tool zur Energiesimulation.

Um BIM Modelle für eine Gebäudesimulation zu nutzen benötigte BEM grundsätzlich eine vereinfachte Definition und Darstellung von Geometriedaten. Der gesamte technische Prozess des semi-automatisierten Datenaustausches von Geometrie Gebäudedaten wird in vier Schritten beschrieben. In einem ersten Schritt werde ein BIM Gebäudemodell in einem CAD Tool erstellt beziehungsweise bearbeitet, ehe es in einem zweiten Schritt mittels Model Checking Tool überprüft werde. Dann setze in einem weiteren Schritt die Verarbeitung

der Geometrie ein, mittels neuer Methode des „Space Boundary Tool“ (SBT-1). Daraufhin werde die für die Simulation benötigte Geometrie final in einem CAD Programm geprüft und bestätigt.

Im ersten Schritt der Erstellung und Bearbeitung des BIM in einem CAD Tool werde grundsätzlich vorgeschlagen in einer Ebenen-Hierarchie mit CAD Ebenen zu arbeiten. Über das Ein- und Ausblenden von Ebenen als eine Art Gruppierungsmechanismus würde somit ein gewisser Modellstatus gespeichert und vordefiniert. Wichtig seien auch die Eingabe der Standortdaten im CAD File, da EnergyPlus direkt auf diese vom CAD Tool zugreife. Zudem seien die thermischen Eigenschaften von Bauteilen für die Energiesimulation sehr wichtig und je CAD Tool unterschiedlich definiert und verwertbar. Zusätzlich werde eine Materialbibliothek mit allen relevanten Bauteil- und Materialeigenschaften im CAD-Datenaustauschformat IDF (Intermediate Data Format) erstellt, da von den CAD Tools nicht alle thermischen Eigenschaften dem IFC Format zugeschrieben würden. Im CAD BIM Tool erfolge auch die Zonierung des digitalen Gebäudemodells in unterschiedliche thermische Zonen sowie die Vorgabe von Verschattungen, die für die thermische Simulation von Relevanz seien.

Der semi-automatisierte Prozess ende durch einen IFC-Export. In einem zweiten Schritt werde das IFC File durch ein gängiges Modell Checking Tool wie Solibri Model Checker (Solibri, 2012) überprüft. Hier wird das IFC Modell auf Fehler überprüft, um diese anschließend in der CAD Software beheben zu können.

Der dritte Schritt im Gesamtprozess umfasse die Geometrieverarbeitung durch die SBT-1 Methode. SBT-1 sei ein Tool, das IFC Files für BEM Zwecke in zwei Unterschritten verarbeite. Der erste Unterschritt umfasse demnach das Hinzufügen von Raumgrenzen im IFC File. Der zweite Unterprozess beschäftige sich daraufhin mit der Umwandlung der Raumgrenzen hin zur Geometrirepräsentation. Über die Raumgrenzen würde demnach eine vereinfachte und für die BEM Simulation angemessene Geometrie erzeugt. Das Ergebnis von diesem Prozess ist das spätere Input-File für die Simulation, in diesem Fall im IDF Format für EnergyPlus.

Im abschließenden vierten Schritt des Gesamtprozesses wird das Modell auf Kompatibilität mit EnergyPlus überprüft, um mögliche geometriebezogene Fehler und Warnungen zu vermeiden.

Entwicklungen von BIM-basierten Kriterien zur Unterstützung semi-automatisierter Prozesse sollen zuletzt Verbesserungen und Zeitersparnis in der gesamtheitlichen Erstellung von Gebäudeenergiemodellen und Energiesimulationen erzielen. Das BIM Modell solle zudem mit BEM im Hinterkopf entwickelt werden, gestützt durch einen präzisen Prozess, der auf Regeln und Konventionen basiert, um eine ungenaue und ad-hoc Darstellung eines herkömmlichen BIM zu vermeiden.

1.4.2. Literaturrecherche BIM zu EPC

Ibrahim Motawa und Kate Carter (2012) identifizieren in Ihrem Paper „*Sustainable BIM-based Evaluation of Buildings*“ (nachhaltige BIM-basierte Evaluation von Gebäuden) eine Problemstellung im Datenfluss zwischen BIM Modellen und Energieauswertungstools. Während die Entwurfsdaten von einem 3D Gebäudemodell sehr einfach zur Auswertungssoftware, beispielsweise mittels IFC transportiert werden können, hat dieser Prozess nach wie vor einige Schwierigkeiten im Fluss rückwärts.

Von den gegenwärtig gängigen Methoden für die Energieausweis- und Ökobilanzberechnung beschreiben sie zudem eine vereinfachte Arbeitsweise nach der britischen Methode „*National Calculation Method*“ (Abb 1.)

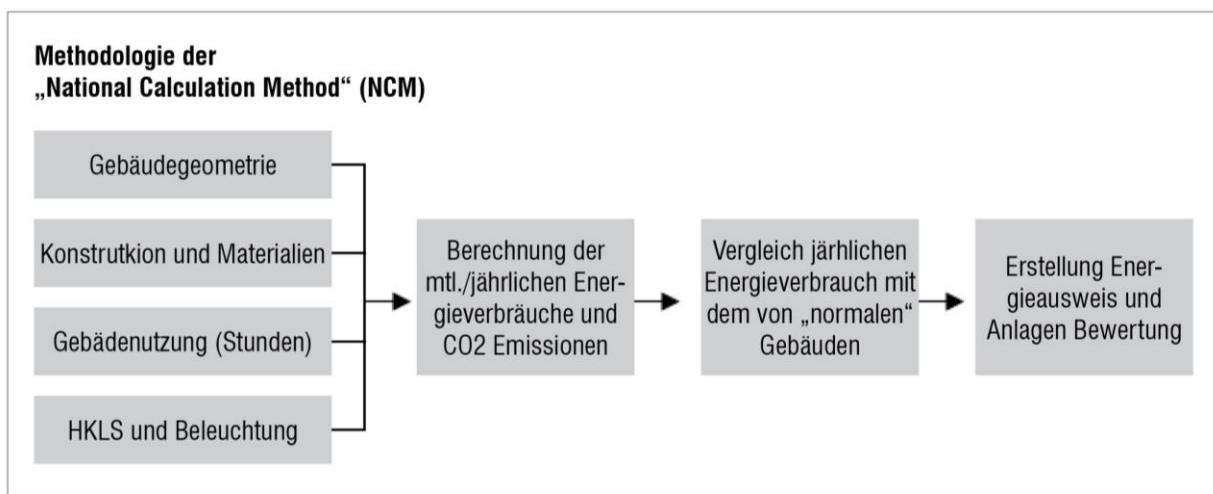


Abbildung 1: Methodologie der „National Calculation Method“ (NCM nach I. Motawa u. K. Carter, 2012)

Wie in Abb. 1 ersichtlich umfasst diese Methode die Anwendung der Parameter der Gebäudegeometrie, Konstruktion und Materialien, Gebrauchsmuster in der Nutzung sowie HKLS und Beleuchtung. Diese Parameter werden zudem weitestgehend über ein digitales Gebäudemodell bezogen. Die parametrischen Daten aus dem Gebäudemodell werden daraufhin manuell in eine Kalkulationstabelle transkribiert, von wo aus sie dann in ein Energieauswertungsprogramm übertragen werden.

In der derzeitigen Praxis weisen die Autoren dennoch darauf hin, dass selbst beim Vorhandensein eines CAD Gebäudemodells, unabhängig davon ob 2D oder 3D, wenige bis keine direkten Möglichkeiten zum interdisziplinären Datenaustausch vorhanden seien. Programme wie „SBEM“ wären auf Grund von Problemen in der Datenübertragung und -speicherung inkompatibel mit anderen Tools der BIM Welt sein. (Motawa und Carter, 2012)

Über den Mangel an der Interoperabilität zwischen den Software Tools schreiben auch F. Flager et al (2012) von der Stanford Universität. Sie beschreiben in ihrem Paper „*Multi-objective building envelope optimization for life-cycle cost and global warming potential*“ eine Methode für die Ökobilanz- und Energieberechnung mit BIM im Rahmen einer Projektstudie der Universität Stanford (Abb. 2).

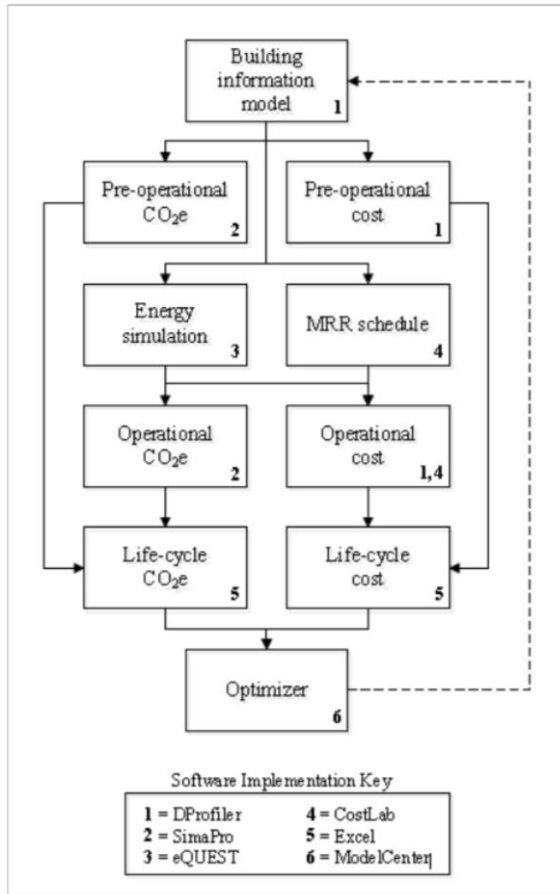


Abbildung 2: EPC und LCA nach einer Projektstudie der Universität Stanford (F. Flager, et al, 2012)

thermische Zonierung sowie eine Standardannahme für die Gebäudenutzung und die damit verbundenen HKLS Vorgaben nach dem US Standard „ASHRAE 2009“ berücksichtigt (Flager et al., 2012).

Software für Energie und Lebenszyklusanalysen würden lt. L. Adamus vom Building Research Institute in Polen zunehmend an Bekanntheit gewinnen. Dies würde vor allem auch durch die Reaktion auf neue Gesetze bezüglich Energieeffizienz von Gebäuden begründet werden. Die Software Applikationen müssten demnach auch auf die unterschiedlichen regionalen Gesetzesgegebenheiten reagieren, wie L. Adamus in seinem Researchpaper „*BIM: Interoperability for Sustainability Analysis Control*“ (2013) schreibt. Es gäbe bereits viele LCA Programme wie beispielsweise Gabi, SimaPro oder openLCA, die für den Lebenszyklus von Produkten eingesetzt werden, jedoch für Gebäudeanalysen nur bedingt nutzbar seien.

L. Adamus bezieht sich zudem auf die Projektstudie der Universität Stanford, wo eine Ökobilanzstudie mit BIM über IFC als Datenquelle für die LCA-Applikation durchgeführt wurde. Der Versuch war zwar erfolgreich, jedoch mit einem erheblichen Zusatzaufwand in der Datenbearbeitung verbunden.

Die Effizienz von computerunterstützten Tools würde demnach bedeutend von ihrer Interoperabilität mit anderen Softwareprogrammen abhängen. Es sei daher notwendig, offene Datenaustauschstandards disziplinübergreifend weiterzuentwickeln (Adamus, 2013).

Der Analyse Prozess beginne demnach mit einem Building Information Model, das die Gebäudegeometrie, die Materialien und Komponenten sowie die geographische Projektlage und Ausrichtung repräsentiere. Die Ökobilanz würde auf diesem Modell aufbauend und anhand der Baumaterialien sowie den Bauteilmassen aus dem digitalen Gebäudemodell berechnet. Für die Bilanzerstellung würde jede Einheit mit einem spezifischen Indikator multipliziert (kg CO₂).

Über ein Energiesimulationsmodell würde der jährliche Energieverbrauch eruiert werden. Die dafür benötigten Daten über die Gebäudegeometrie sowie Bauteilinformationen würden ebenfalls aus dem BIM Modell übernommen werden. Über den genauen Ablauf zum Export bzw. Erhalt der Daten aus dem Building Information Model wird in dem Paper von F. Flager et al. nicht näher eingegangen. Jedoch werden in einem Übersichtsdiagramm zum Workflow die verwendeten Softwareprogramme angeführt. Zudem werden eine

1.4.3. Literaturrecherche BIM zu LCA

Um den Ressourcenverbrauch und die Umwelteinflüsse, die durch den Gebäudesektor verursacht werden zu reduzieren benötigt es nach B. Soust-Verdauger et al. (2016) neue Werkzeuge, wie die Lebenszyklusanalyse (LCA). Die Autoren berichten mit ihrem Paper „*Critical Review of BIM-based LCA method to buildings*“ über neuerliche Studien bezogen auf BIM-basierte Lebenszyklusanalysen. Laut Soust-Verdauger et al. gäbe es in der Literatur einen Mangel an Reviews zur Analyse von BIM und LCA, weshalb sich das Paper mit kürzlich erschienen Fallstudien zum Thema BIM und LCA beschäftige.

Etlliche Studien zeigten auf, dass der Einsatz von BIM die Datenerhebung vereinfachen könne. BIM könne zudem im LCA Prozess den Daten Input vereinfachen und den Daten Output optimieren. Die Ergebnisse Ihres Reviews zeigten eine vielfältige Machbarkeit in der Entwicklung von BIM-basierten Methoden. So würde das BIM Modell durch Templates und Plug-ins zur Anschaffung von Gebäudeinformationen herangezogen, und durch die Kombination unterschiedlicher Daten und Software auch automatisierte Prozesse unterstützen.

Ein angeführtes Beispiel für BIM-LCA Anwendungen sei Tally, ein Plug-in für Autodesk Revit, durch das die umweltbezogenen Einflüsse von Baumaterialien basierend auf der LCA Methode quantifiziert würden. Zurzeit würde diese Anwendung geographisch auf den amerikanischen Raum angepasst werden.

Die meisten der rezensierten Studien seien in den frühen Planungsphasen auf die Berechnung des CO₂ Ausstoßes fokussiert. Einige Papers würden auch das Potenzial von BIM in der Entscheidungsfindung verdeutlichen. Sehr viele Papers würden aber auch generell die Komplexität und zeitintensive Natur von LCA bemängeln. Trotz der Einbeziehung von BIM-LCA, um Zeitersparnis und Verbesserungen in der Anwendung zu erzielen, wurden grundlegende methodische Herausforderungen aufgezeigt. Eine der größten Herausforderungen sei die Software Integration. Hakkinen und Kiviniemi (2008) beispielsweise adressieren die Menge an Datenerfordernis für BIM-LCA. In ihrer Annahme wäre eine separate, mit BIM verbundene Softwarelösung wesentlich einfacher und benutzerfreundlicher zu implementieren. Die vorgeschlagene Lösung basiere auf der Verlinkung unterschiedlicher Software durch Datenaustauschformate, um den bestehenden BIM Softwarelösungen zusätzliche Funktionalität zu verleihen und den Gebrauch durch parametrische Formate wie Geometric Description Language (GDL) zu erlauben. Darüber hinaus weisen Rhamani Asl et al. auf die signifikante Herausforderung in der Interoperabilität zwischen den unterschiedlichen Anwendungen hin. Zweckdienliche Softwarelösungen inkludieren BIM (beispielsweise Revit), Energiesimulation (beispielsweise Green Building Studio) oder Tageslichtsimulation (beispielsweise Autodesk Rendering Service).

Seo et al. (2007) definieren drei essenzielle Schritte in der LCA Methode: *Input, Analyse und Ergebnis*. Der Schritt *Input* umfasst die Erstellung des 3D Modells, die Erfassung aller Materialien, die Bruttobelastung der Gebäude und die Ermittlung aller angegebenen Komponenten in einer Datenbank. Der *Analyse* Schritt beschäftigt sich mit der Berechnung einer Reihe von Umweltindikatoren basierend auf LCA und umfasst auch die Analyse alternativer Designs und Konstruktionen. Der Schritt *Ergebnis* setzt sich mit dem Vergleich der

Umwelteinflüsse der unterschiedlichen Designs auseinander und zielt darauf ab eine optimale Kombination in der Gebäudekonstruktion zu finden.

B. Soust-Verdager et al. verweisen auf einige methodische Ansätze, die in Fallstudien bereits erörtert wurden. Ajayi et al. (2015) haben eine Methode ausgeführt bei der Revit mit Green Building Studio und Microsoft Excel kombiniert wurde und ATHENA Impact Estimator als LCA Tool eingesetzt wurde.

Die Methode von Georges et al. (2014) besteht aus dem Export von Material und Komponentenmengen aus einem REVIT Modell zu MS Excel.

Jalaei und Jarde (2014) entwickelten ein Plug-in für BIM Tools um Umwelteinflüsse und graue Energie von Gebäudekomponenten mit Autodesk Revit, Autodesk Ecotect, Integrated Environmental Solutions (IES-VE), Microsoft Excel und Athena Impact Estimator zu berechnen. Zudem haben Jarde und Jalaei (2013) ein Modell entwickelt, das eine Datenbank über nachhaltige Materialien besitzt und mit einem LCA Modul verlinkt ist.

Basbagill et al. (2013) führten eine Methode durch, bei der BIM Software (D-Profiler) mit LCA und Energiesimulation in frühen Planungsphasen kombiniert wurden.

Eine Übersicht einiger dieser Methoden mit den jeweils eingesetzten Software Programmen und den Prozeduren im Datenaustausch ist in der untenstehenden Tabelle 1-1 ersichtlich.

Referenz	BIM Software	Berechnung Energieverbrauch	Prozedere Datenaustausch	LCA Tool
Ajayi et al., 2015	Autodesk Revit Architecture	Green Building Studio (GBS)	BIM Export zu MS Excel	Athena Impact Estimator
Shin et al., 2015	ArchiCAD 15	EcoDesigner	BIM Export zu MS Excel	-
Georges et al., 2014	Autodesk Revit Architecture	SIMIEN	BIM Export zu MS Excel	SimaPro Version 7.3
Houlihan et al., 2014	Autodesk Revit Architecture	SIMIEN	BIM Export zu MS Excel	SimaPro Version 7.3
Jalaei & Jarde, 2014	Autodesk Revit Architecture	Autodesk Ecotect	BIM Export durch ODBC Format	Athena Impact Estimator
Jalaei & Jarde, 2013	Autodesk Revit Architecture	Autodesk Ecotect	BIM Export in externe Datenbank	Athena Impact Estimator
Basbagill et al., 2013	D-Profiler	eQuest	BIM Export zu MS Excel	SimaPro, ATHENA EcoCalculator

Tabelle 1-1 Referenzen BIM to LCA

In einer Studie von Wang, E. et al. (2011) wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Designkonfigurationen auf die Lebenszyklusperformance eines Gebäudes in frühen Designphasen untersucht. In ihrem Paper „A

Building LCA Case Study Using Autodesk Ecotect and BIM Model” wurde der Energieverbrauch und die CO₂ Emissionen im Lebenszyklus eines Universitätsgebäudes mit Autodesk Ecotect und einem BIM Modell berechnet. Die Kombination von Ecotect und BIM ergab einen einfacheren Datenfluss vom BIM Modell zu Ecotect, wodurch die Dateneingabe für die LCA Berechnung erheblich reduziert werden konnte.

Die Studie untersuchte Lebenszyklusfaktoren wie CO₂ Emission und Energieverbrauch in unterschiedlichen Designkonfigurationen des Gebäudes. So konnte ein Vergleich der Gebäudeperformance bei unterschiedlichen Designs erzielt werden.

Die Software „*Build Carbon Neutral*“ wurde eingesetzt, um die CO₂ Emissionen während der Bauphase zu berechnen (Build Carbon Neutral 2010). Die Betriebsphase umfasst Aktivitäten, die den Energieverbrauch von Raumheizung und -kühlung erfordern. Ein BIM Modell mit Materialeigenschaften und thermischen Zonierungen wurde in Ecotect importiert, wo die lokalen Wetterdaten eingespielt und eine Energiesimulation für unterschiedliche Designzustände durchgeführt wurde. Die in Ecotect ermittelten Kühl- und Heizlasten wurden daraufhin auf den Strom- und Primärenergieverbrauch umgewandelt. Anhand dieser Methode konnten Berechnungen für den Energieverbrauch und die CO₂ Emissionen in allen Lebenszyklen durchgeführt werden.

Durch die Ergebnisanalyse in dieser Studie wurde festgestellt, dass die Bauphase den geringsten Energieverbrauch der Lebenszyklusphasen besitzt. Mehr als 99% der gesamten CO₂ Emission im Lebenszyklus sowie über 90% des Energieverbrauchs wurde während der Betriebsphase generiert. Werkstoffe aus Stahl besitzen in dieser Fallstudie den höchsten Anteil an grauer Energie, mit mehr als 60 % der gesamten Grauenenergie des untersuchten Gebäudes. Mit der Änderung des Designs wurden unterschiedliche Effekte erzielt. Beispielsweise wurde mit dem Austausch einer Vorhangfassade durch eine Ziegelwand, und der Änderung der Innentemperatur ein höherer Effekt in der Reduzierung des Energieverbrauches und der CO₂ Emissionen erzielt als in anderen Designkonstellationen.

Diese Studie von Wang, E. et al. (2011) zeigt wie auch einige andere, dass BIM in der Anwendung für Ökobilanzen sehr hilfreich sein kann, da ein Großteil der benötigten Informationen und Berechnungen für die Lebenszyklusanalysen dadurch sichergestellt wird.

1.5. Forschungsziel

Die Vision von Open-BIM, mittels offenen Standards einen prozess-basierten Datenaustausch zu generieren, ist derzeit ein viel erforschtes und gefragtes Thema im Bausektor. Open-BIM sieht die Möglichkeit vor, dass durch einen offenen Austausch softwareübergreifend gearbeitet werden kann. Dem gegenüber steht der Ansatz des Closed-BIM, bei dem alle Projektbeteiligten mit derselben Software arbeiten.

Der gewerkübergreifende Informationsaustausch in Open-BIM ermöglicht die Einbeziehung unterschiedlichster Planungstools und erlaubt es den jeweils beteiligten Projektplanern in der branchenüblichen Software zu arbeiten. Dieser Ansatz einer offenen Vorgehensweise mittels der Anwendung neutraler Dateiformate wie IFC scheint sehr vorteilhaft. Dennoch erfordert dies auch einen erhöhten Aufwand bei der Koordination und Handhabung von Arbeits- und Übergabeprozessen, um diese möglichst allgemein und datenverlustfrei zu gestalten (Hannewald, 2017).

In Bezug auf die BIM-basierten Anwendungsprozesse hinsichtlich EPC und LCA setzt hier der Schwerpunkt dieser Arbeit an:

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Evaluierung und Optimierung semi-automatisierter BIM-Workflows für die Energieausweis- und die Ökobilanzberechnung von Gebäuden.

Zielsetzung und Gegenstand der Forschung belaufen sich auf den Ergebnisvergleich im Rahmen einer Vergleichenden Studie mit anschließender Optimierung. Die Workflows im Building Energy Modeling sowie der Datenaustausch mittels Exports vom Modellersteller (Architektur) und Import zur Modellanalyse und Modellauswertung (Bauphysik) liegen hier im Fokus.

Mit der Zielsetzung einen semi-basierten Workflow von BIM für LCA und EPC zu generieren, wird bereits auf eine mögliche Problemstellung hingewiesen, die es zu untersuchen gilt. Einen lückenlosen, vollautomatisierten Austausch zwischen Erstellungs- und Auswertungssoftware einwandfrei zu ermöglichen, dürfte zum jetzigen Stand der Technik und Forschung in Open BIM, ohne zusätzliche Nachbearbeitung von Daten, nur schwer möglich sein. Somit wird mit dieser Forschungsarbeit auf die verschiedenen Probleme im Austausch zwischen Erstellungs- und Auswertungstools im Zuge einer Energieausweis- und Ökobilanzberechnung mit BIM hingewiesen.

Die zielorientierte Untersuchung der Workflows lehnt sich an Beurteilungspunkte wie „Ease of Use“ (Benutzerfreundlichkeit), „Usefulness“ (Nützlichkeit) und „Interoperability“ (Interoperabilität).

Die Minimierung von Informationsverlusten sowie eine effiziente und zeitoptimierte Arbeitsweise ist eines der übergeordneten Ziele in der gegenständlichen Arbeit, um demnach einen optimierten BIM-Workflow für EPC und LCA zu finden.

1.6. Vorgehensweise

Um die bereits genannten Forschungsziele zu erreichen wird für diese wissenschaftliche Arbeit die Methode einer „Case Study“ unter dem **Projekttitle BIM-ECO** angewendet. Als Ausgangslage dient ein bestehendes BIM-Gebäudemodell, das durch erneute Modellierung in verschiedenen Softwareprogrammen Variantenstudien zur Untersuchung ermöglicht.

Die Vorgehensweise in der Datenerhebung umfasst in erster Linie die Modellierung, Auswertung und die daraus folgenden Erkenntnisse der Untersuchungen. Die Modellierung des zu behandelnden BIM-Gebäudemodells erfolgt in drei unterschiedlichen Authoring-Tools. Virtuelle Architektur Modelle erstellt in ArchiCAD, Revit und Allplan und in weiterer Folge daraus abgeleitete Building Energy Modelle stehen für die Auswertung und Berechnung eines Energieausweises und einer Ökobilanz zur Verfügung. Für die Analyse, Bewertung und Berechnung von EPC und LCA wird das in Österreich zertifizierte Tool ArchiPHYSIK herangezogen. Ergänzend zur Workflow-Methode mit ArchiPHYSIK wird für die Ökobilanzberechnung der Vergleich anhand einer XLS Dateneingabe in Microsoft Excel untersucht.

In zweiter Instanz werden auf dieser Untersuchung aufbauend Workflows mit den jeweils eingesetzten Tools evaluiert und die daraus resultierenden Ergebnisse miteinander verglichen. Im Anschluss wird eine Optimierung der Gebäudeperformance durchgeführt.

Der Arbeitsprozess von der Modellierung über den Datentransfer und -austausch zwischen der jeweiligen Erstellungssoftware und dem Auswertungstool, bis hin zur Berechnung und Ergebnisauswertung wird in diesem Rahmen evaluiert und optimiert.

Die untenstehende Grafik (Abb. 3) zeigt den zeitlichen Verlauf der Forschungsarbeit.

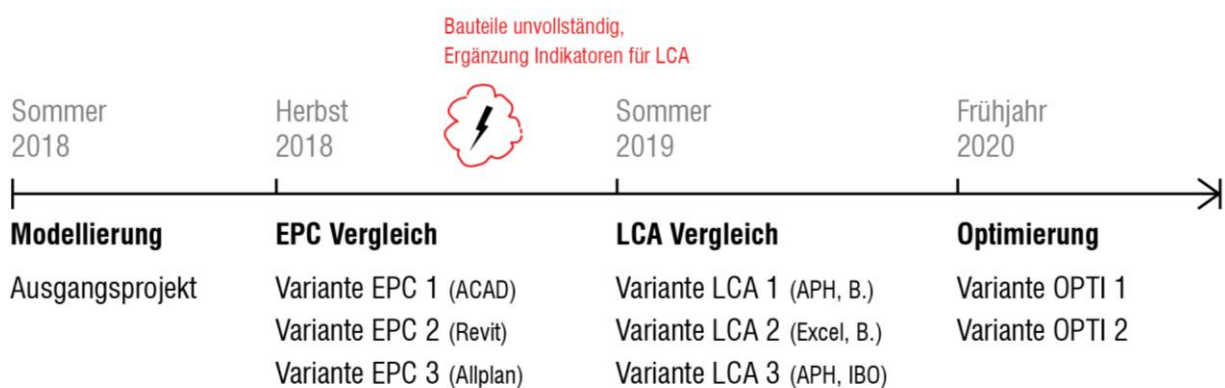


Abbildung 3: Zeitablauf Vorgehensweise

2. METHODIK

In dieser Arbeit werden die BIM-basierten ökologischen Berechnungsverfahren und Evaluierungen von Energieausweisen (EPC) und Ökobilanzen (LCA) anhand einer Vergleichenden Fallstudie und unterschiedlichen Software Tools durchgeführt (siehe Abb. 4). Anhand der konkreten Studie werden die Workflows basierend auf der Nutzung der unterschiedlichen Software evaluiert und in einem Variantenvergleich gegenübergestellt. In weiterer Folge werden in beiden Verfahren für EPC und LCA Berechnungen und Auswertungen durchgeführt. Die daraus resultierenden Ergebnisse werden in einem Ergebnisvergleich gegenübergestellt. Die evaluierten Workflows sowie die Gebäudeperformance werden anschließend optimiert.

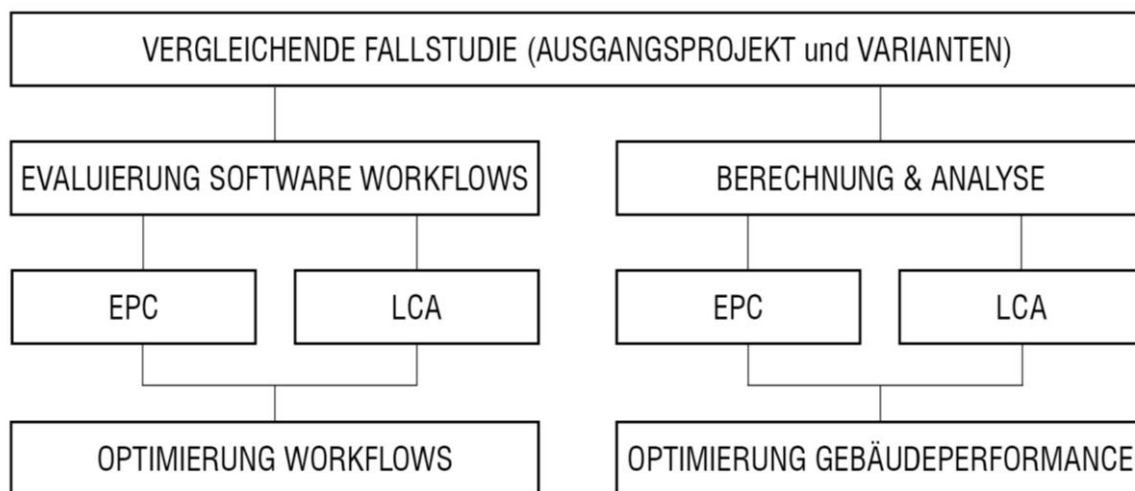


Abbildung 4: Methodische Vorgehensweise

In den weiterfolgenden Unterkapiteln werden die Methodik der Energiebedarfsberechnung mittels Energieausweis, die Methodik der Ökobilanzierung mittels Lebenszyklusanalyse und letztendlich die Vergleichende Studie sowie das Forschungsdesign näher vorgestellt.

2.1. Verfahren Energieausweis (EPC – Energy Performance Certificate)

Laut Fouquier et al. (2013) beziffert sich der durchschnittliche Energieverbrauch in der Europäischen Union auf etwa 200 kWh/m² per Jahr. Um den Energiebedarf von Gebäuden zu prognostizieren bedarf es an einigen Parametern und Indikatoren. So werden beispielsweise Angaben über die thermischen Eigenschaften von Gebäuden, eingesetzte Belüftungs- oder Solarsysteme, Information über die klimatischen Verhältnisse wie Innen- und Außenklima oder die Endnutzung für die Berechnung des voraussichtlichen Energiebedarfs notwendig.

Um den Energiebedarf und -verbrauch, die Energiekosten oder gar die Auswirkungen auf die Umwelt zu untersuchen, werden gegenständlich in der Bauindustrie etliche Analysetools der Gebäudeperformance herangezogen. Nach Barbour et al. (2016) sei hier Building Energy Modeling die technisch ausgereifteste Methode und ermögliche den Bauherren und deren Planungsteams eine akkurate Einschätzung von Energieeinsparungspotenzialen von Gebäuden.

Im deutschsprachigen Raum der Europäischen Union ist der Energieausweis (EA), im Englischen auch als Energy Performance Certificate (EPC) bezeichnet, der gesetzliche Nachweis über den zu erwartenden Gebäudeenergiebedarf. Er ist ein Ausweis, der die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes je nach landesrechtlichen und technischen Bauvorschriften angibt. Der Energieausweis bietet jedoch keine Garantie für den tatsächlichen Energieverbrauch, da dieser stark vom jeweiligen Nutzerverhalten abhängt. Der eigentliche Verbrauch kann somit vom prognostizierten Bedarf abweichen.

Eine EU-Richtlinie, die die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden behandelt wurde erstmals im Dezember 2002 vom Europäischen Parlament und dem Rat der Europäischen Union in Kraft gesetzt (Weglage, 2008). In der aktuellen Fassung wurde diese Richtlinie 2010 geändert und wird, wie in Artikel 1 festgehalten, mit folgendem Ziel ausgeübt: *„Die Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden in der Union unter Berücksichtigung der jeweiligen äußeren klimatischen und lokalen Bedingungen sowie der Anforderungen an das Innenraumklima und der Kosteneffizienz“*. Um dieses Ziel zu erreichen, ist die Erstellung von Energieausweisen eine der zentralen Anforderungen der EU-Richtlinie 2010/31.

Nach Artikel 2 der Richtlinie 2010/31/EU werden folgende Begriffsbestimmungen im Verfahren von EPC unterschieden:

- **Gebäude:** *eine Konstruktion mit Dach und Wänden, deren Innenraumklima unter Einsatz von Energie konditioniert wird.*
- **Gebäudetechnische Systeme:** *die technische Ausrüstung für Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasserbereitung, Beleuchtung eines Gebäudes oder Gebäudeteils, oder für eine Kombination derselben.*

- **Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes:** die berechnete oder gemessene Energiemenge, die benötigt wird, um den Energiebedarf im Rahmen der üblichen Nutzung des Gebäudes (u. a. Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung) zu decken.
- **Primärenergie:** Energie aus erneuerbaren und nicht erneuerbaren Quellen, die keinem Umwandlungsprozess unterzogen wurde.
- **Energie aus erneuerbaren Quellen:** Energie aus erneuerbaren, nichtfossilen Energiequellen, das heißt Wind, Sonne, aerothermische, geothermische, hydrothermische Energie, Meeresenergie, Wasserkraft, Biomasse, Deponiegas, Klärgas und Biogas.
- **Gebäudehülle:** die integrierten Komponenten eines Gebäudes, die dessen Innenbereich von der Außenumgebung trennen.
- **Gebäudeteil:** einen Gebäudeabschnitt, eine Etage oder eine Wohnung innerhalb eines Gebäudes, der bzw. die für eine gesonderte Nutzung ausgelegt ist oder hierfür umgebaut wurde.
- **Gebäudekomponente:** ein gebäudetechnisches System oder eine Komponente der Gebäudehülle.
- **Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz:** einen von einem Mitgliedstaat oder einer von ihm benannten juristischen Person anerkannter Ausweis, der die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes oder von Gebäudeteilen, berechnet nach einer gemäß Artikel 3 festgelegten Methode, angibt.
- **Nennleistung:** die maximale Wärmeleistung in kW, die vom Hersteller für den kontinuierlichen Betrieb angegeben und garantiert wird, bei Einhaltung des von ihm angegebenen Wirkungsgrads.
- **Fernwärme oder Fernkälte:** die Verteilung thermischer Energie in Form von Dampf, heißem Wasser oder kalten Flüssigkeiten von einer zentralen Erzeugungsquelle durch ein Netz an mehrere Gebäude oder Anlagen zur Nutzung von Raum- oder Prozesswärme oder -kälte.

Die oben angeführten Begriffe und deren Ausdrücke im Sinne der Richtlinie werden teilweise auch in dieser Diplomarbeit verwendet.

2.1.1. Energieausweiserstellung in Österreich

In Österreich wird bei Miete, Pacht oder Verkauf von Gebäuden oder Nutzungsobjekten die Vorlage eines Energieausweises verlangt. Verkäufer, beziehungsweise Vermieter oder Verpächter müssen dieser Pflicht nachkommen. Die gesetzliche Rechtsgrundlage bildet hierfür in Österreich das Energieausweis-Vorlage-Gesetz in seiner gültigen Fassung vom Jahr 2012 (EAVG 2012). Mit diesem Bundesgesetz wird die bereits genannte Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden umgesetzt.

Für Neubauten und Sanierungen ist der Energieausweis seit 2009 gesetzlich vorgeschrieben und zudem für Genehmigungen von Behörden und Ansuchen von Förderungen erforderlich. Die Erstellung von Ausweisen über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, wird in Österreich vom Österreichischen Institut für Bautechnik über die „OIB Richtlinie 6 – Energieeinsparung und Wärmeschutz (April 2019)“ geregelt.

Nach Punkt 6 der OIB Richtlinie besteht ein Energieausweis aus zwei, mit einem festgelegten Layout gestalteten, Seiten und einem Anhang, bei dem detaillierte Angaben über verwendete Normen und Richtlinien, die angewendeten normgemäßen Vereinfachungen, die verwendeten Hilfsmittel und nachvollziehbare Ermittlung der geometrischen, bauphysikalischen und haustechnischen Eingabedaten enthalten sein müssen.

Energieausweise sind von Personen mit entsprechender Qualifikation und Befugnis, wie zum Beispiel Ziviltechnikern, Gewerbebetreibenden wie Baumeistern, Ingenieurbüros für Bauphysik oder ähnlichen auszustellen.

Durch genormte Verfahren können unterschiedliche Kennzahlen ermittelt werden, die den energietechnischen Zustand von Gebäuden beschreiben und Gebäude somit miteinander vergleichbar machen. Ergänzend zur OIB 6 werden für die Berechnung und Ausstellung von Energieausweisen die ÖNORMEN H 5056 bis 5059 herangezogen. Über diese Normen werden Werte zum Bedarf von Heizen und Kühlen, Raumlüftung sowie Beleuchtung ermittelt. Die ermittelten Werte fließen dann in der ÖNORM H 5055 zur Erstellung der Energieausweise ein (lt. Hirner, 2019 Austrian Standards). Weiters gibt es die ÖNORMEN B8110-5 – Wärmeschutz im Hochbau – Klimamodell und Nutzungsprofile sowie die ÖNORM B8110-6 – Wärmeschutz im Hochbau – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf die für die Berechnungen Gebrauch finden.

Austrian Standards definiert die wichtigsten Kennzahlen im Energieausweis über den spezifischen **Heizwärmebedarf (HWB)**, der auch als Energiekennzahl genannt wird, den **Primärenergiebedarf (PEB)**, die **Kohlendioxidemissionen (CO₂)** und den **Gesamtenergieeffizienz-Faktor (f_{GEE})**. Auf einer abgestuften Effizienzskala von A bis G werden diese Werte für einen raschen Überblick veranschaulicht.

Die thermische Qualität der Gebäudehülle wird über den spezifischen Heizwärmebedarf eingeschätzt – je geringer der Wert, desto besser sind die thermischen Eigenschaften des Gebäudes. Der HWB wird in kWh pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche angegeben.

Ein weiterer wichtiger Kennwert stellt der **Endenergiebedarf (EEB)** dar. Dieser umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den jeweils allfälligen Betriebsstrombedarf, Kühlenergiebedarf und Beleuchtungsenergiebedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf). Der Primärenergiebedarf hingegen ist der Energiebedarf einschließlich Verluste in allen Vorketten und weist einen erneuerbaren (PEB_{ern.}) und nichterneuerbaren (PEB_{n.ern.}) Anteil auf. Der CO₂ Wert gibt die gesamte dem Endenergiebedarf zuzurechnende Kohlendioxidemission an. Der Quotient aus dem

Endenergiebedarf und einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007) ergibt den Gesamtenergieeffizienzfaktor.

Die oben angeführten Begriffsdefinitionen zu HWB, PEB, CO₂, f_{GEE} und EEB sind aus der Legende in einem Muster-Energieausweis für Nicht-Wohngebäude der OIB 6 entnommen. Ein Muster Ausschnitt zum Layout von Seite 1 und 2 eines solchen Energieausweises wird unten beispielhaft dargestellt (Abb. 5).

(Quelle: OIB Richtlinie 6 März 2015, Anhang Muster Energieausweis Nicht-Wohngebäude Seite 1 und 2 für Nicht-Wohngebäude)

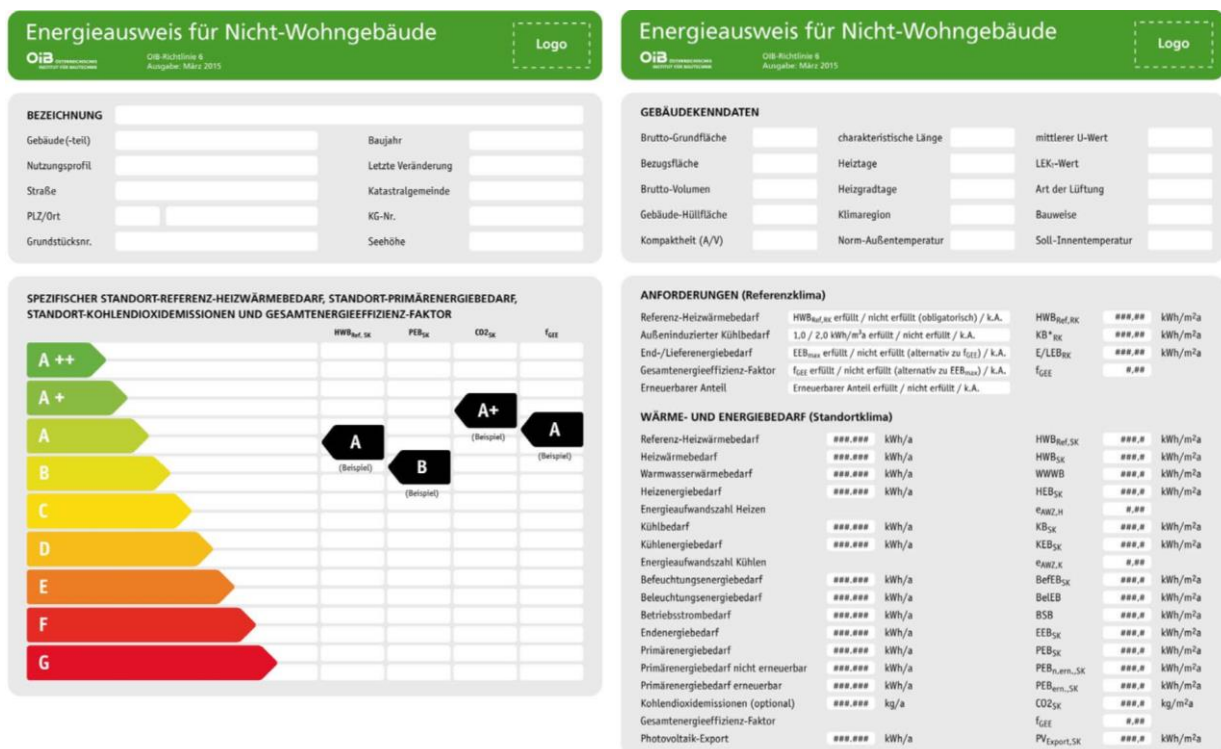


Abbildung 5: Muster Energieausweis lt. Anhang OIB 6 (OIB 6 Richtlinie Stand März 2015)

Tabelle 2-1 zeigt die in Österreich geltenden Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile nach der OIB Richtlinie 6:

Mindestanforderungen an Bauteile konditionierter Räume bei Neubauten

Tabelle 2-1

Bauteil	U-Wert [W/m ² K]
WÄNDE gegen Außenluft	0,35
FENSTER	1,40
Sonstige TRANSPARENTE BAUTEILE vertikal gegen Außenluft	1,70
DACHFLÄCHENFENSTER gegen Außenluft	1,70
TÜREN unverglast gegen Außenluft	1,70

TORE wie Sektionaltore, Rolltore und dergleichen gegen Außenluft	2,50
DECKEN und DACHSCHRÄGEN jeweils gegen Außenluft	0,20
BÖDEN erdberührt	0,40

Tabelle 2-1: Mindestanforderungen an Bauteile konditionierter Räume bei Neubauten

Für die zentrale sowie digitale Erfassung und Verwaltung von Energieausweisen gibt es in Österreich länderspezifische, webbasierte Datenbank-Applikationen. Diese ermöglichen je nach Landessystem des jeweiligen Bundeslandes einen digitalen Upload der erstellten Energieausweise. Derartige Datenbankapplikationen können unterschiedliche Zwecke verfolgen, wie zum Beispiel die Abgabe eines Energieausweises im Zuge der Baubewilligung, beim Antrag für Wohnbauförderung oder einfach zur Archivierung.

Nach dem Paragraf 118a der Bauordnung Wien und der Energieausweisdatenbankverordnung wird in Wien die Registrierung aller zukünftig ausgestellten Energieausweise in einer für Wien vorgesehenen Datenbank verlangt. Hierbei kommt das „Wiener unabhängiges Kontrollsystem für Energieausweise“ (WUKSEA) zum Einsatz. Für Wiener Gebäude führt die Stadt Wien mit WUKSEA eine Datenbank zur qualitätsgesicherten Registrierung von Energieausweisen ein (WUKSEA Online Zugriff am 25.04.2019). Die Registrierung von Energieausweisen im Bundesland Vorarlberg erfolgt über die „Energieausweis Zentrale“ (EAWZ). In den Bundesländern Salzburg, Kärnten, Steiermark und Burgenland gibt es die ZEUS-Online Datenbank.

Energieausweis Berechnungstools, die von diesen Online Datenbank Applikationen über Schnittstellen unterstützt und empfohlen werden lauten:

- **ArchiPHYSIK** A-NULL Development GmbH / Wien
- **AX300** EDV-Software-Service GmbH & CO KG / Villach
- **Ecotech Gebäuderechner** BuildDesk Österreich GmbH / Linz
- **Gebäudeprofi** ETU GmbH / Wels
- **GEQ** Zehentmayer Software GmbH / Salzburg

Von den oben genannten Tools, die in Österreich für die Energieausweiserstellung nach OIB Richtlinie 6 und den jeweiligen ÖNORMEN zugelassen sind, sind derzeit zwei der Tools mit CAD Schnittstellen ausgestattet und somit „BIM-fähig“. Die Software AX300 bietet eine CAD Schnittstelle für REVIT, wobei ArchiPHYSIK derzeit eine Schnittstelle für ArchiCAD und SketchUP besitzt. Zudem bietet das Softwareprogramme Gebäudeprofi 3D von ETU als Grundfunktion ein eigenes inkludiertes CAD Modul namens HottCAD an, mit dem eine einfache CAD Gebäudeerfassung ermöglicht wird.

ArchiPHYSIK wurde für diese Forschungsarbeit auf Grund der dualen Schnittstellenmöglichkeit für BIM als Auswertungssoftware gewählt. Das Programm ArchiPHYSIK wird im folgenden Unterkapitel näher beschreiben.

2.1.2. EPC mit ArchiPHYSIK

„ArchiPHYSIK ist die Standardsoftware für normkonforme Bauphysik-Gutachten und Nachweise zu Wärme, Schall, Dampfdiffusion, Energieausweise und Ökologie für ein- und mehrzonige Wohn- und Nicht-Wohngebäuden. Es liefert Aussagen zur sommerlichen Überwärmung und berücksichtigt Wohnbauförderungen und Bauordnungen aller Bundesländer.“ (www.archiphysik.at)

ArchiPHYSIK ist ein Softwareprogramm der A-NULL Development GmbH mit Sitz in Wien, Österreich. Zum Stand Frühjahr 2020 ist die aktuelle Software Version ArchiPHYSIK 17 in unterschiedlichen Lizenzversionen auf dem Markt zu erwerben.

Das Energieausweisprogramm ArchiPHYSIK verfügt über integrierte bauphysikalische Nachweise von der Bauteilanalyse bis hin zum Energieausweis in den Bereichen der sommerlichen Überwärmung, Ökologie, Schallschutz und Feuchteschutz. Beworben wird ArchiPHYSIK mit dem Vorteil einer schnelleren Workflowgestaltung, sicherer Planung und damit einhergehend auch besseren Gebäuden.

Mit ArchiPHYSIK können Energieausweise für eine Zone oder in mehreren Zonen unterteilte Energieausweise erstellt werden. Die Berechnungen hierfür beruhen auf vereinfachten, dennoch detaillierten Standards. Auf Basis der aktuellen OIB Richtlinie 6 können Energieausweise für Wohngebäude, aber auch Nicht-Wohngebäuden bis hin zu sonstigen Gebäudetypen berechnet und erstellt werden.

Einen großen Vorteil, den das Programm ArchiPHYSIK für BIM Anwendungen mit sich bringt, ist die Möglichkeit der CAD Datenübertragung. Berechnungen in der Bauphysik benötigen geometrische und geographische Daten, die einen wesentlichen Bestandteil in der Auswertung bilden. Über zwei einzigartige Add-on Lösungen wird ein Datenaustausch ermöglicht und eine einfache Weiterverarbeitung von CAD Daten unterstützt. ArchiPHYSIK ist demnach zurzeit mit zwei CAD Programmen kompatibel. Schnittstellen für ArchiCAD und SketchUP bieten in der Neubau- und Umbauplanung bis hin zur Bestandserfassung einen effizienten CAD Datenaustausch und -zugriff.

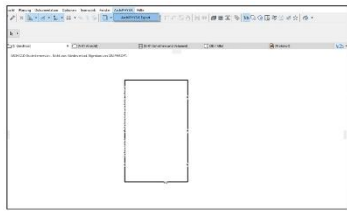
In ArchiPHYSIK können neue Projekte auf Grund einer vordefinierten Vorlage oder als leeres Projekt angelegt werden. Im Menüpunkt Projektliste werden diese Projekte mit einem Projektcode, Informationen über Standort, eventuellen Bemerkungen, Änderungsdatum, Auftraggeber und Verfasser gespeichert und aufgelistet.

Wird ein Projekt geöffnet gibt es die Möglichkeit allgemeine Information zum Projekt zu erfassen. Projekt- und Objektdaten, Klimadaten, Adressen der Planer, Auftraggeber und so weiter sind nur ein paar der Reiter, unter denen projektspezifische Einstellungen für das Gesamtprojekt vorgenommen werden können.

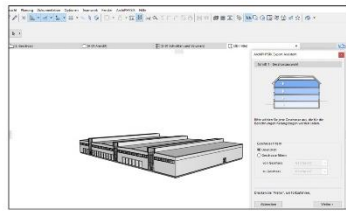
Weitere Einstellungen zum Projekt, aber auch die Eingabe und Auswertung von zusätzlichen Daten können in fünf Untermenüs ergänzt werden. Im Menüpunkt „Bauteile“ können alle relevanten bautechnischen Bestandteile der thermischen Hüllfläche, wie Wände, Decken, Böden, und dergleichen samt ihren bauphysikalischen Eigenschaften definiert werden. Der Menüpunkt „Räume“ behandelt die Berechnungen zum sommerlichen Wärmeschutz, zum bewertenden resultierenden Bau-Schalldämm-Maß sowie zur bewertenden Standard-Schallpegeldifferenz. Gebäudetechnische Anlagen wie Raumheizung, Warmwasser, Raumluftechnik, Beleuchtung, Solaranlage, Kühlung, Photovoltaik oder Angaben zum Strombedarf werden im Menü „Anlagen“ erfasst. Als letztes Menü zur Eingabe von Daten ist der Menüpunkt „Gebäude“ vorzufinden. Hier werden neben der Gebäudegeometrie und Gebäudehülle die Nutzung sowie die angewandten Berechnungsverfahren festgelegt. Zudem können Verbesserungsmaßnahmen erfasst oder ein Überblick zur OI3 und LCA Bewertung gegeben werden. Weitere Ergebnisse der eingegebenen Daten zum Gebäude wie der Mittlere U-Wert für Fassaden, die Heizlasten nach ÖNORM B 8135 oder eine Gegenüberstellung des Heizwärme/Kühlbedarfs sind in diesem Menüpunkt ersichtlich. Zur Auswertung und Ergebnisdarstellung der eingegebenen und berechneten Daten werden die beiden letzten Menüpunkte „Energieausweis“ und „Formulare“ herangezogen. Der Menüpunkt „Energieausweis“ bietet eine Zusammenfassung aller für den Energieausweis relevanten Kennzahlen und Anforderungen. Im Menü „Formulare“ können PDF-Dateien zu diversen Berechnungsnachweisen erzeugt und exportiert und so unterschiedliche Dokumente samt Anhängen erstellt werden.

„Die Flexibilität beim Import von CAD Daten in ein ArchiPHYSIK Projekt ist enorm. Ein Filter, angewendet vor dem tatsächlichen Vereinen der Daten, ermöglicht es, den Umgang mit den zu importierenden Daten zu definieren und unterstützt beim Verknüpfen der CAD Daten mit den Projektbauteilen.“ (www.archiphysik.at)

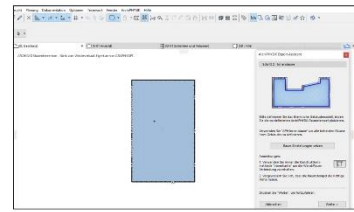
Die Übertragung von Daten aus externen Projekten mittels APS Dateien wird in ArchiPHYSIK durch die CAD Verbindung ermöglicht. Mit Hilfe der vorhandenen Add-Ons für ArchiCAD (Abb. 6) und SketchUp (Abb. 7) können APS Dateien generiert und exportiert werden. Der ArchiPHYSIK Export Assistent leitet in ArchiCAD durch sieben Schritte (Abb. 6) um ein 3D Modell aus ArchiCAD als APS Datei zu exportieren. In einem ersten Schritt werden die für den Export relevanten Geschosse angegeben. In einem zweiten Schritt werden vordefinierte ArchiPHYSIK Raumstempel gesetzt, um das thermische Gebäudemodell zu definieren. Schritt drei legt die Bauteile der Hülle näher fest. Die Schritte vier und fünf dienen zur Überprüfung und Korrektur des Volumens des thermischen Gebäudemodells, ehe Korrekturen der zu exportierenden Bauteile in einem vorletzten, sechsten Schritt unternommen werden können. Im finalen Schritt 7 wird der Export mit der Erstellung der APS Datei abgeschlossen.



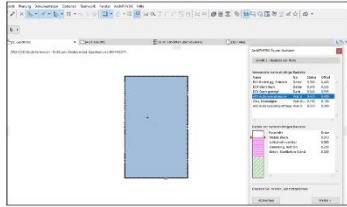
Open Archiphysik Export Assistant in ArchiCAD



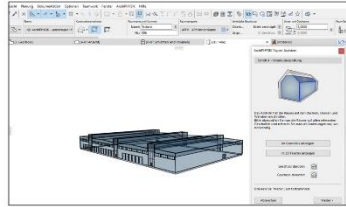
Step 1) Ground Levels



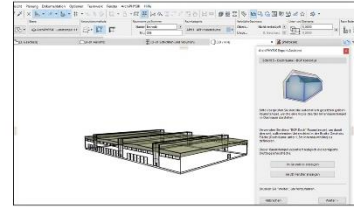
Step 2) Room Stamps



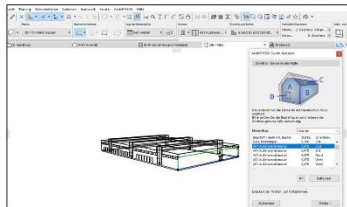
Step 3) Redline Operation



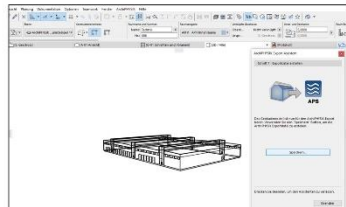
Step 4) Gross Volume



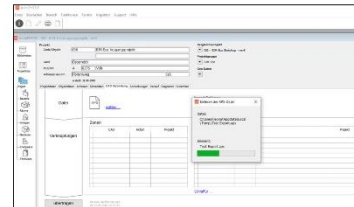
Step 5) Gross Volume Roof



Step 6) Components Thermal Envelope

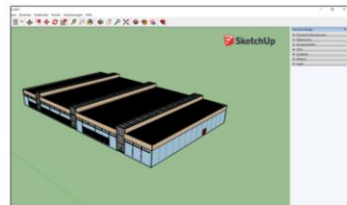


Step 7) Export

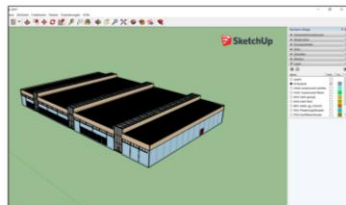


Import aps. File in Archiphysik

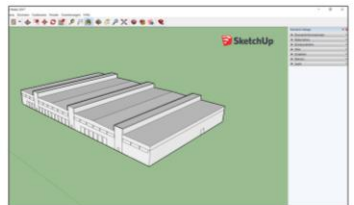
Abbildung 6: Vorgang Modell-Export ArchiCAD



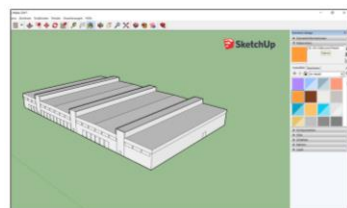
IFC Import



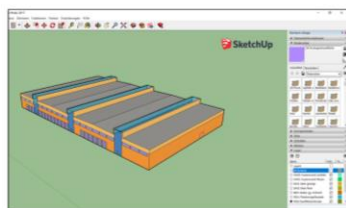
Step 1) Create layers



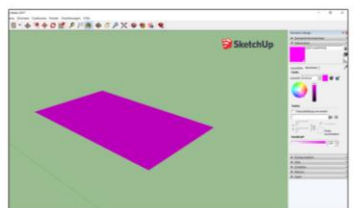
Step 2) Reconstruct Thermal Envelope



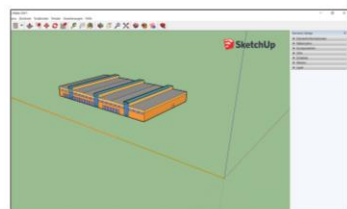
Step 3) Create materials



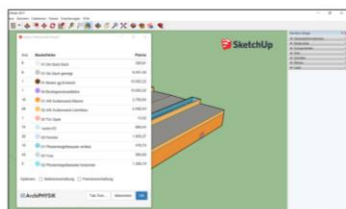
Step 4) Colour building components



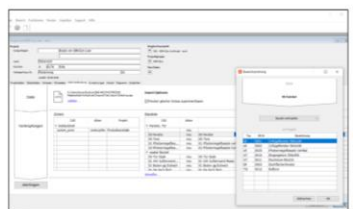
Step 5) Define gross area and zones



Step 6) define north direction



Step 7) Export



Import aps. File in Archiphysik

Abbildung 7: Vorgang Modell-Export SketchUp

Für SketchUp erfolgt der Exportvorgang mithilfe von Farbkennzeichnungen. Über SketchUp werden einzelne Bauteiltypen anhand zugeordneter Farben definiert. Die Farben helfen bei der Gliederung der Bauteile und Differenzierung von opaken oder transparenten Bauteilen, Bauteile gegen Außen oder Innen, Bodenfläche oder Dachfläche und ähnliches. Bauteile derselben Farben können durch ihre Kennzeichnung einheitlich ausgelesen werden und so gebündelte Geometrieinformationen über den Gesamtflächenanteil der jeweiligen Bauteilgruppe liefern. Über den ArchiPHYSIK Export Manager für SketchUp kann so ein thermisches Modell als APS Datei aus SketchUp exportiert werden.

Die APS Dateien können direkt als neues Projekt in ArchiPHYSIK importiert, oder über den Menüreiter CAD Verbindung in einem angelegten Projekt eingelesen werden. Die importierten Bauteile aus ArchiCAD oder SketchUp können nun mit angelegten Bauteilen der ArchiPHYSIK Projekte verknüpft werden. Durch die Verknüpfung der CAD Daten werden Bauteile in ArchiPHYSIK mit Geometrieinformationen wie Fläche, Volumen und Orientierung aus den CAD Energiemodellen ergänzt.

2.2. Verfahren Ökobilanz (LCA – Life Cycle Assessment)

„Die gedankliche Grundlage für die Ökobilanzierung (life cycle assessment, LCA) stellt einen Paradigmenwechsel in der Betrachtung von Produkten und Dienstleistungen dar. In der Vergangenheit wurden meist nur die direkten Auswirkungen der Herstellung bezogen auf einen Standort oder eine Nutzung betrachtet und möglichst minimiert. Heute verfolgt man dagegen einen holistischen Ansatz, der auch Problemverlagerungen an andere Orte oder in andere Umweltmedien berücksichtigt und reduzieren soll.“

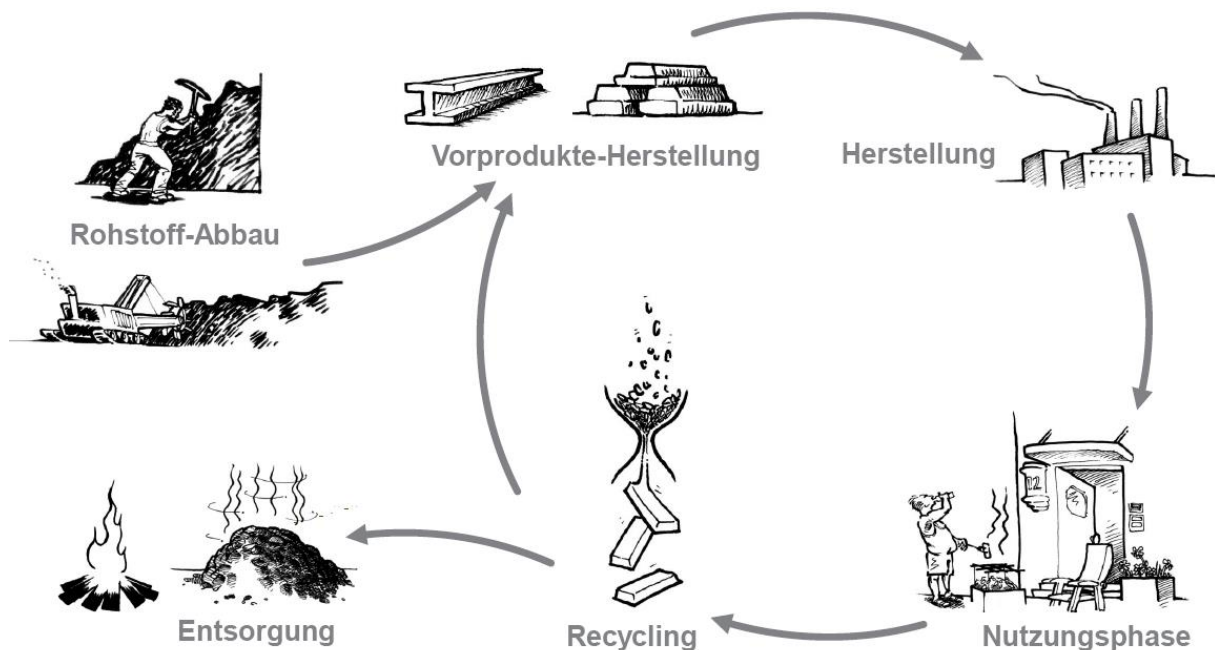


Abbildung 8: Darstellung eines Lebenszyklus (Jan Paul Lindner, Universität Stuttgart, LBP-GaBi)

H. König et al. (2009) beschreiben mit dieser Einleitung in ihrem Buch „*Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung*“ das Umdenken in der Sichtweise und Methode der Ökobilanzierung. Die Ökobilanzierung endet heute nicht mehr bei der Herstellung eines Produktes oder um es auf die Bauindustrie zu beziehen, bei der Fertigstellung eines Bauvorhabens. Vielmehr beschäftigt sich die Ökobilanz heutzutage in einem umfangreichen Zyklus mit dem gesamten Lebensprozess von Dienstleistungen und Produkten (siehe Abb. 8).

Vor allem in der als „*wasteful industry*“ (englisch für „*verschwenderische Industrie*“) bezeichneten Baubranche wird die Betrachtung von Lebenszyklen immer entscheidender, da die gebaute Umwelt die größten von Menschenhand geschaffenen Emissionen und Stoffflüsse verursacht. Lebenszyklusprozesse werden von der Rohstoffgewinnung über die Produktherstellung bis hin zur Nutzung, dem Recyclen und letztendlich der Entsorgung beobachtet.

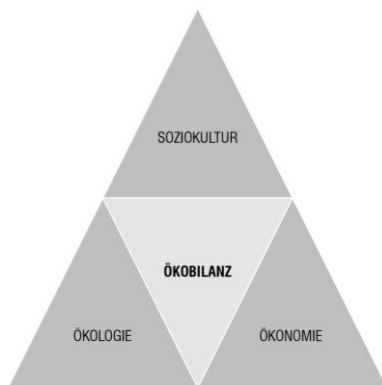


Abbildung 9: Dreieck der Nachhaltigkeit

Dem sogenannten „Dreieck der Nachhaltigkeit“ (Abb. 9) liegt die Ökobilanz als zentraler Kerngedanke zugrunde. Die drei Felder Ökonomie, Ökologie und die Soziokultur spielen eine entscheidende Rolle im Lebenszyklus von Gebäuden.

Die Ökonomie eines Projekts setzt sich mit der Flexibilität und der Adaptivität eines Gebäudes im Laufe seines Lebenszyklus auseinander und umfasst zudem den wirtschaftlichen Kostenaspekt.

Die Ökologie umfasst die Analyse von Umwelteinwirkungen eines Produktes oder Prozesses von der Herstellung bis zum End-of-Life. Darüber hinaus werden die Themen der Ökonomie und Ökologie hinsichtlich der sozialen, kulturellen und politischen Interessen sowie Bedürfnissen der Gesellschaft und deren Wertvorstellungen betrachtet.

Die DIN EN ISO 14040 definiert den Begriff Ökobilanz demnach als „*die Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges.*“

Im Sinne der „Life Cycle Analysis“ bezieht sich die Ökobilanz auf die Umweltwirkungen eines ganzheitlichen Systems. Sie ist rund um funktionelle Einheiten gegliedert, die festlegen, was untersucht werden soll. Alle Inputs und Outputs sowie Analysen einer Sachbilanz beziehen sich auf diese funktionellen Einheiten. Die Ökobilanz ist zudem eine iterative Methode, bei der wiederkehrende, einzelne Phasen und deren Ergebnisse sich in weiteren Phasen fortsetzen.

Ökobilanz-Studien bestehen lt. DIN EN ISO 14040 aus vier Phasen (siehe auch Abb. 10):

- *Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens;*
- *Sachbilanz;*

- *Wirkungsabschätzung und*
- *Auswertung.*

Die *Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens* erfolgt durch genaue Definition von Systemgrenzen. Systemgrenzen werden sowohl räumlich, bezogen auf das Umfeld der Untersuchung, als auch zeitlich auf die Lebensdauer bezogen, gesetzt.

Die *Sachbilanz* setzt sich mit der Erfassung aller Flüsse auseinander. Alle Input- und Outputflüsse über Material- und Energiebestandteile des Produktsystems werden in Betrachtung des gesamten Lebensweges quantifiziert und zusammengerechnet. Die Stoffgewinnung, verwendete Energien und deren Einwirkung auf die Umwelt werden in diesem Prozess direkt miteingerechnet.

Die Verrechnung erfolgt immer im Bezugsverhältnis zur Nutzung des Systems. Somit werden sämtliche Teilsysteme auf eine Größenordnung relativiert, um eine Nutzeneinheit zu erhalten, die im Lebenszyklus als „funktionale Einheit“ genannt wird.

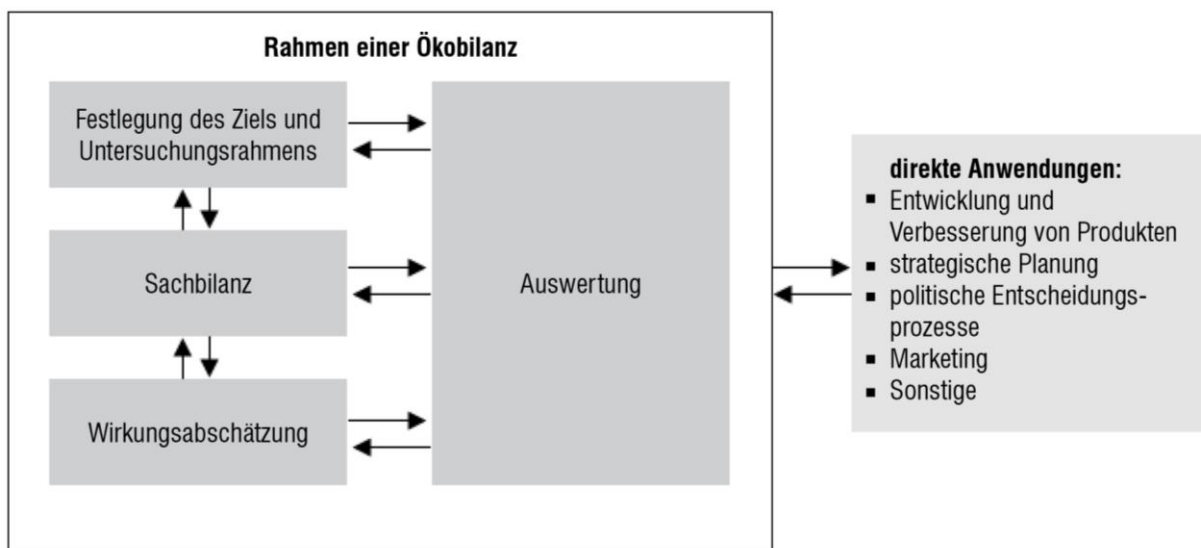


Abbildung 10: Phasen einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040

„In der Phase der Wirkungsabschätzung der Ökobilanz wird die Beurteilung der Bedeutung potenzieller Umweltwirkungen mit Hilfe der Ergebnisse der Sachbilanz angestrebt.“ Beispielsweise werden hier die Auswirkungen von Treibhauseffekten, Sommersmog, Versäuerung, Überdüngung, Ozonschichtabbau oder Umweltgifte erfasst. Die Wirkungsabschätzung befasst sich in erster Linie nur mit Umweltaspekten, die durch die Systemgrenzen festgelegt sind und liefert aus diesem Grund keine gänzliche Einschätzung aller Umweltthemen.

Mit der Identifikation und Evaluierung dieser Einwirkungen erfolgt einhergehend eine bilanzierte *Auswertung*. Nach DIN EN ISO 14040 ist die Auswertung „die Phase der Ökobilanz, bei der die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung gemeinsam betrachtet werden oder, im Fall von Sachbilanz-Studien, nur die

Ergebnisse der Sachbilanz herangezogen werden.“ Mit der Auswertung sollten Ergebnisse geliefert werden, die mit dem definierten Systemrahmen der Ökobilanz übereinstimmen.

Bezogen auf den zeitlichen Betrachtungszeitraum von Gebäuden unterscheidet die Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft (ÖGNI) und die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) drei Phasen im Lebenszyklus von Gebäuden. Siehe untenstehenden Grafik (Abb. 11).

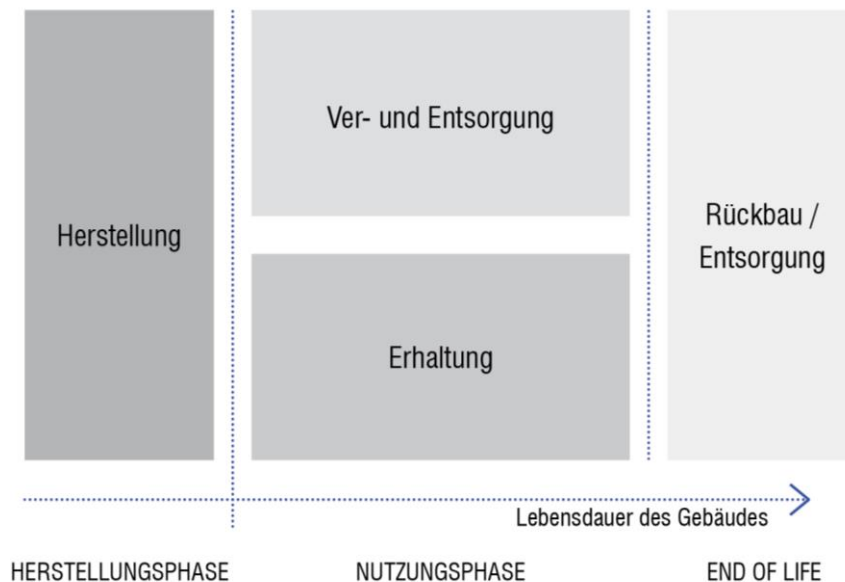


Abbildung 11: Phasen einer Ökobilanz von Gebäuden

In der Herstellungsphase wird die Errichtung der Gebäudekonstruktion betrachtet und umfasst somit alle Themen rund um die Entstehung des Gebäudes. Die Herstellungsphase markiert den Anfang eines jeden Lebenszyklus von Neubauten.

Die Nutzungsphase umfasst zudem sämtliche Aspekte des Gebäudebetriebs. Diese lassen sich in die Bereiche der Instandhaltung der Gebäudekonstruktion sowie in die betriebliche Ver- und Entsorgung von Gebäuden unterteilen.

Das Ende im Lebenszyklus eines Gebäudes wird mit dem Rückbau, beziehungsweise dem Abbruch und einer einhergehenden Nachnutzung gesetzt. Die „End of Life“ Phase umfasst den Rückbau, das Recycling und die Entsorgung von verbauten Materialien und Bauteilen.

2.2.1. Umweltindikatoren aus der Sachbilanz

Anhand von Ökobilanz-Daten werden für Ressourcenverbräuche und Emissionenkennzahlen gebildet, die über den gesamten Lebenszyklus hinweg, von der Herstellung über den Betrieb bis hin zum Lebensende ausgewertet und abgebildet werden. Im Rahmen der Ökobilanz werden aus der Sachbilanz folgende Umweltprobleme und den daraus abgeleiteten Umweltindikatoren laut DGNB und ÖGNI genannt:

- **GWP** *Klimawandel: Treibhauspotenzial (Global Warming Potential)*
- **ODP** *Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht: Ozonschichtpotenzial (Ozone Layer Depletion)*
- **POCP** *Sommersmog, bodennahes Ozon: Ozonbildungspotenzial (Photochemical Ozone Creation Potential)*
- **AP** *Versauerung von Böden, Wald- und Fischsterben: Versauerungspotenzial (Acidification Potential)*
- **EP** *Überdüngung von Oberflächengewässern: Überdüngungspotenzial (Eutrophication Potential)*
- **PEI ne** *Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf*
- **PEI ges** *Gesamtprimärenergiebedarf*
- **FW** *Wasserverbrauch: Net use of fresh water*
- **Anteil erneuerbarer Primärenergie**
- **ADP elements** *abiotischer, nicht energetischer Ressourcenverbrauch: Abiotisches elementares Ressourcenabbaupotenzial*

Für die ökologische Optimierung von Gebäuden wird in dieser Diplomarbeit eine vereinfachte LCA Methode anhand des von IBO definierten OI3 Index gewählt. Das Österreichische Institut für Bauen und Ökologie (IBO) bewertet mit diesem System die ökologische Qualität von Gebäuden anhand von drei Umweltindikatoren: nämlich dem Treibhauspotenzial (GWP), dem Versauerungspotenzial (AP) und dem Bedarf an nicht-erneuerbarer Primärenergie (PEI ne). Diese Indikatoren treffen diesbezüglich eine quantitative Festlegung für die tendenzielle Klimaerwärmung, das Potenzial zur Versauerung der Umgebung und zum Verbrauch fossiler Energiestoffe.

In den folgenden Tabellen 2-2, 2-3 und 2-4 werden die drei Umweltindikatoren samt ihren Bezugsgrößen It, DGNI und ÖGNI (2010) dargestellt:

GWP - Treibhauspotenzial

Effekt:	Zunehmende Erwärmung der Troposphäre durch anthropogene Treibhausgase. z.B. durch Verbrennung fossiler Brennstoffe
Referenzsubstanz:	Kohlendioxid (CO ₂)
Referenzeinheit:	Kg CO ₂ -Äquivalente

Tabelle 2-2: GWP - Treibhauspotenzial Bezugsgrößen

AP - Versauerungspotenzial

Effekt:	Verringerung des pH-Wertes des Niederschlagwassers durch die Auswaschung von säurebildenden Gasen z.B. Schwefeldioxid
Referenzsubstanz:	Kohlendioxid (CO ₂)
Referenzeinheit:	Kg CO ₂ -Äquivalente

Tabelle 2-3: AP - Versauerungspotenzial Bezugsgrößen

PEIne – Primärenergiebedarf nicht erneuerbar

Effekt:	Maß für den Verbrauch fossiler Energieträger (Erdöl, Erdgas, Steinkohle, Braunkohle sowie Uran) und damit für die Verknappung nicht erneuerbarer Ressourcen.
Referenzeinheit:	Megajoule (MJ)

Tabelle 2-4: PEIne - Primärenergiebedarf nicht erneuerbar Bezugsgrößen

2.2.2. Datensätze für Ökobilanzen von Gebäuden

Die Grundlage für die Berechnung von Ökobilanzen von Gebäuden bilden Datenbanken mit Ökobilanzdatensätzen zu Baumaterialien, zudem zu Prozesse für Bau, Transport, Energie und Entsorgung.

International federführend ist hier die Online-Plattform **ECOINVENT** (www.ecoinvent.org). Die ecoinvent version 3.5 bietet Stand 2019 über 2.000 Datensätze.

In Deutschland und Österreich wird im Kontext der Berechnung für Ökobilanzen von Gebäuden nach DGNB und ÖGNB die Datenbank **Ökobau.dat** (www.oekobaudat.de/) herangezogen. Mit Ökobau.dat wird eine vereinheitlichte Datenbasis vom Deutschen Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) für die Ökobilanzierung von Bauwerken zur Verfügung gestellt. Die laufend aktualisierte ÖKOBAUDAT-Datenbank mit derzeit über 1.200 Datensätze basiert auf der Hintergrunddatenbank „GaBi“.

Eine weitere Datenbank für ökologisches Bauen und Sanieren in Österreich ist die vom Energieinstitut Vorarlberg und der IBO geführten Online Plattform **Baubook** (www.baubook.info/). In einer allgemeinen Information wird die Internetplattform Baubook beschrieben als: „eine umfassende Information- und Kommunikationsdrehscheibe für energieeffizientes und ökologisches Bauen. Sie unterstützt nachhaltige Bauvorhaben und gesundes Wohnen.“

Produkthersteller können ihre Bauprodukte online in Baubook deklarieren lassen, womit diese samt Prüfzeugnissen zentral hinterlegt werden.

2.2.3. Ökobilanzen und LCA mit ArchiPHYSIK

Das Softwareprogramm ArchiPHYSIK verfügt über integrierte bauphysikalische Nachweise, die von der Energieausweisberechnung bis hin zu den Themen der Ökologie reichen. Betreffend ökologische Nachweise gibt es für ArchiPHYSIK neben einem von IBO entwickelten System auch die Möglichkeit zur Durchführung von Lebenszyklusanalysen.

Das Benutzerhandbuch für ArchiPHYSIK erklärt den Vorgang in der LCA-Erstellung wie folgt:

„Die Gesamtsumme errechnet sich aus der Aufsummierung aller Werte der Bauteile. Baustoffe werden dabei mit Ökokennwerten versehen und entsprechend der verbauten Masse oder Fläche summiert.

Die Gesamtsumme ist in Errichtung, Nutzung und Entsorgung unterteilt.

Errichtung: Die Aufsummierung der Einzelwerte ohne Berücksichtigung der Nutzungsdauer.

Nutzung: Die Aufsummierung der Einzelwerte deren Nutzungsdauer kleiner 50 Jahre ist (nur die Materialien werden berücksichtigt, die innerhalb der 50 Jahre ausgetauscht werden müssen).

Entsorgung: Kann derzeit noch nicht berechnet werden, da die Recyclingwerte noch nicht verfügbar sind.

In der Bilanz können berücksichtigt werden:

- Außenwände und Kellerwände inklusive Fenster und Beschichtungen
- Dach
- Geschossdecken inkl. Fußbodenaufbau und -belägen / Beschichtungen
- Bodenplatte inkl. Fußbodenaufbau und -belägen sowie Geschossdecken über Luft
- Fundamente
- Innenwände inklusive Beschichtungen sowie Stützen
- Türen

Bauteile sind über ihre Schichtaufbauten zu definieren und z.B. mit den Ökobilanzdaten aus Ökobau.dat zu versehen.“ (ArchiPHYSIK 2019)

2.2.4. Bilanzgrenzen

Die Bilanzgrenzen geben in einem Projekt den Bezugsrahmen für die Bewertung vor. In einem Bilanzgrenzenkonzept wird die Bezugnahme von der thermischen Gebäudehülle (BG0) bis hin zur Gebäudegesamtbetrachtung (BG6) festgelegt. Das Österreichische Institut für Bauen und Ökologie nennt in Österreich hauptsächlich die Verwendung der Bilanzgrenzen BG0 bis BG3.

Die Bilanzgrenzen BG0 bis BG6 lassen sich nach ArchiPHYSIK wie folgt erläutern:

- BG0** Bauteile der thermischen Gebäudehülle (TGH) bis zur Dämmebene (ohne Dacheindeckungen, hinterlüftete Fassaden, Abdichtungsfolien, etc.); inkl. aller Zwischendecken
- BG1** Bauteile der thermischen Gebäudehülle (Konstruktionen vollständig); inkl. Zwischendecken
- BG2** BG1 inkl. Innenwände (nur Trennbauteile)
- BG3** BG2 inkl. aller Innenwände inkl. 50% der nicht konditionierten Flächen (Keller, Pufferräume, etc.)
- BG4** BG3 inkl. Bauteile des Gebäudes außerhalb der thermischen Gebäudehülle (Balkone, Laubengänge, Stiegen, etc.)
- BG5** BG4 inkl. Haustechnik
- BG6** BG5 inkl. gesamter Erschließung des Grundstückes inkl. Nebengebäude

ArchiPHYSIK ist mit Datenkatalogen wie beispielsweise IBO oder Baubook verknüpft, die regelmäßig über die Software geprüft und aktualisiert werden. Kennzahlwerte für die LCA können direkt aus diesen Katalogen bezogen werden. Sofern in den Herstellerproduktblättern vorhanden werden diese Daten für die OI3 Bewertung automatisch für die Bauteile übernommen. Für die LCA Bewertung ist für jeden Bauteil und jede Bauteilschicht eine manuelle Eingabe der Kennzahlen erforderlich.

Die LCA Bewertung wird auf die drei Phasen der Errichtung, Nutzung und Entsorgung aufgeteilt, wobei die Phase der Entsorgung derzeit von ArchiPHYSIK noch nicht berechnet wird. In Summe ergibt die Bewertung ein Gesamtergebnis der Lebenszyklusanalyse.

2.2.5. OI3 Ökoindikator

Die ökologische Qualität von Gebäuden steht heutzutage zunehmend im Fokus. ArchiPHYSIK bietet zudem wie eingangs erwähnt zwei Lösungen zur ökologischen Bewertung von Gebäuden. Grundlage für das erste System bildet der OI3 Ökoindikator von IBO. Dieser soll Gebäude sowie deren Baumaterialien miteinander vergleichbar und hinsichtlich Qualität gegenüberstellen.

Der OI3 Index wird über drei Umweltindikatoren berechnet. Für die Ermittlung werden die Indikatoren **Treibhauspotential (GWP)**, **Versauerung (AP)** und der **Primärenergiegehalt nicht erneuerbar (PEI ne)** herangezogen.

Die Bauteilschichten werden zu je einen Quadratmeter aus diesen drei Wirkungseinheiten mit Punkten bewertet. Der daraus gebildete Δ OI3 Index wird nun pro Quadratmeter der Konstruktion aufsummiert, um eine Gesamtbewertung des Bauteils zu liefern. Die ökologische Bewertung lässt sich an diesem Gesamtindex nun messen: je niedriger der Wert, desto besser die Bilanz.

2.3. Erklärung BIM-basierter Workflow

In Österreich gibt es seit 01. Juli 2015 ein zweiteiliges Normenwerk für BIM. Die ÖNORM A 6241 spielt im Bereich der BIM-Anwendung eine Vorreiterrolle. Diese BIM-Norm geht aus den alten Planungsnormen des Hochbaus hervor und ist ein wichtiger Ansatz in Richtung Standardisierung für Prozesse mit BIM (Austrian Standards 2019).

Ein Workflow für BIM kann als Leitfaden für die Vorgehensweise in der integralen Zusammenarbeit an einem Projekt gesehen werden. Ein BIM Workflow ist sozusagen ein BIM Projektabwicklungsplan. Hausknecht, K. und Liebich, T. von AEC3 Deutschland GmbH erklären mit ihrem Vortrag im Buch „*BIM for LCS*“ (Ahammer, 2013) die Vorgehensweise von einem BIM Workflow mit offenen Standards. Die BIM Methode sei demnach kein abgeschlossenes System und bedarf über die Systemgrenzen hinaus einer Kooperation mittels offenen Standards wie IFC, die eine Zusammenarbeit aller am Bau Beteiligten ermöglichen. Dies erfordere eine Abklärung der Rollen und eine Absprache genau jener Beteiligten. Hierfür können sogenannte BIM-Leitfäden herangezogen werden.

Fachspezifische Gebäudemodelle, sogenannte Fachmodelle, sind die Grundlage in der Planung. Beispielsweise findet man hier das Architekturmodell, Tragwerksmodell oder das Haustechnikmodell vor. Temporäre Modelle können unterstützend für unterschiedliche Auswertungen daraus generiert und beispielsweise für eine Energieberechnung durch ein thermisches Berechnungsmodell herangezogen werden. Diese Arbeitsweise zeigt, dass man nach wie vor in getrennten, disziplinen-eigenen Modellen arbeite, aber die Methode BIM verwende, um diese Modelle miteinander zu koordinieren. Im integralen Workflow ist das Koordinationsmodell demnach entscheidend (Ahammer, 2013).

Ein Beispiel für die vereinfachte Darstellung eines BIM-basierten Workflows liefert der interne Arbeitsablauf im studentischen Entwurfsprojekt *Alpen BackWerk*, das im Folgekapitel noch näher vorgestellt wird.

Beschreibung interner Arbeitsworkflow

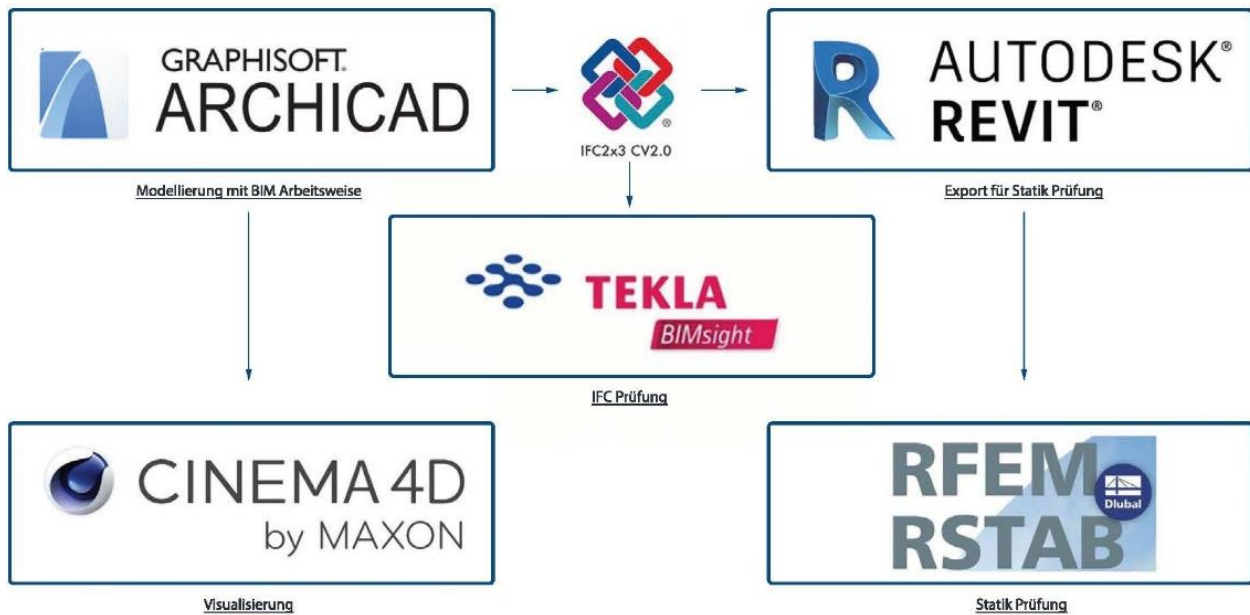


Abbildung 12: Beispielhafte Darstellung eines BIM-basierten Workflows

Der oben dargestellte Workflow (Abb. 12) zeigt einen Arbeitsablauf, der für den BIM-basierten Austausch zwischen Architekten und Bauingenieuren herangezogen wurde. Die Modellierung des digitalen Architekturmodells erfolgt in erster Linie in einem 3D Authoring Tool, in diesem Fall in ArchiCAD Version 21. Für die Überprüfung der Statik wird die FEM Statik Software RFEM von Dlubal herangezogen. Um das Gebäudemodell in einer brauchbaren Form nach RFEM zu bekommen, wird als Zwischenschritt ein für RFEM kompatibles Programm eingesetzt. Hierfür wird Autodesk REVIT ausgewählt. Der Austausch in der Modellübertragung mittels Exports und Imports erfolgt über das Datenformat IFC. Die IFC-Modelle werden auf Vollständigkeit und Funktionstauglichkeit mit dem Programm Tekla BIMsight geprüft.

Ein weiterer Arbeitsschritt, der in diesem Workflow dargestellt wird, ist der Export von ArchiCAD nach CINEMA 4D von MAXON, wo das Architekturmodell visualisiert werden kann.

In dieser Diplomarbeit gilt es nun Workflows für die Energieausweisberechnung und die Erstellung einer Ökobilanz mit BIM zu evaluieren. Neben dem erforderlichen Modellierungsprozess wird der Disziplinaustausch zur Auswertung und Berechnung der Modelle untersucht.

2.4. Projekt Vorgeschichte und Entwurf

Diese Diplomarbeit ist die Vertiefung einer studentischen Projektarbeit und baut auf deren Entwurfsergebnisse auf. Im Wintersemester 2017/18 beschäftigten sich Studierende des Lehrstuhls für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement an der Technischen Universität Wien, intensiv mit den Themen rund um die interdisziplinäre Arbeitsweise mit BIM. Die theoretischen BIM-Erkenntnisse, erlangt in den Bereichen Architektur, Tragwerksplanung und Bauphysik, wurden im Rahmen eines Großen Entwerfens zu Gebäudevorentwürfen für eine Produktionshalle in Tirol (Österreich) verarbeitet und fanden mit der gruppenweise, integralen Entwicklung virtueller Gebäudemodelle direkte und praktische Anwendung.

Zielvorgabe der Lehrveranstaltung im Rahmen eines 10-ECTS BIM-Entwerfen mit dem Titel „BIM_Bake“ war:

[...] die Entwicklung eines DIGITALEN GEBÄUDEMODELLS mit BIM-Building Information Modeling Software sowie die Dokumentation des Planungsprozesses, in INTERDISZIPLINÄRER PLANUNGSWEISE.

Gefordert war die Erstellung eines integralen Gebäudekonzepts für eine architektonisch und konstruktiv-innovative Produktionsanlage mit Standort in Tirol, unter der Voraussetzung der Entwicklung des Gebäudekonzeptes im interdisziplinären Team, bestehend aus Architektur und Bauingenieur Studenten. Der entwickelte Vorschlag sollte auf architektonischer, tragwerkstechnischer sowie energetischer Ebene innovative oder neuartige prototypische Lösungen anbieten und die Konzepterarbeitung mit der Building Information Modeling Methode erfolgen. Basierend auf architektonischen Skizzen entstand so ein schrittweise phasengerechtes 3D Modell, das zum jeweiligen Zeitpunkt des Entwurfs, die adäquaten Informationen für die involvierten Disziplinen lieferte (Großes Entwerfen BIM_Bake, 2017).

Da der Fokus bei diesem Entwerfen auf einer disziplinübergreifenden Zusammenarbeit lag, waren demnach auch mehrere Institute beteiligt. Von der Fakultät für Architektur und Raumplanung war dies das Institut für Gebäudelehre. Das Institut für Industriebau und interdisziplinäre Bauplanung, das Institut für Mechanik der Werkstoffe sowie das Institut für Hochbau und Technologie waren von der Fakultät für Bauingenieurwesen involviert. Zusätzlich wurde der Kurs vom Institut für Managementwissenschaften begleitet, um die interdisziplinären Prozesse zu evaluieren.

Wie eingangs erwähnt, bauen die Untersuchungen dieser Diplomarbeit auf dem Entwurf einer vorangegangenen studentischen Projektarbeit auf. Die beiden Architektur Studenten Behacker, A. und Donkor, L. (Masterstudium Architektur an der Fakultät für Architektur und Raumplanung der Technischen Universität Wien) liefern mit ihrem Projekt „Alpen Backwerk“ die Modellgrundlage für die vertiefte Untersuchung eines BIM-basierten Prozesses für EPC und LCA. Der Entwurf sowie das zur Verfügung gestellte BIM Modell sind im Zuge des oben genannten Entwerfens im Wintersemester 2017/18 entstanden.

Der Entwurfsprozess gliederte sich hierbei in drei Phasen:

Phase 1) Integrale Konzeption und der architektonische Entwurf.

Phase 2) Übergabe der 3D Daten an die Fachplaner.

Phase 3) optimiertes 3D Modell und Detailierung des Entwurfs.

Die Aufgabenstellung in der Entwurfsphase sah die Entwicklung eines Gebäudekonzepts für einen Industriebau mit Standort in Tirol vor. Dabei sollte eine Produktionsanlage (Großbäckerei) mit allen nötigen, zugehörigen Flächen für Büro, Produktion, Lager und Logistik entstehen. Ein gezielt ausgewählter Bauplatz und ein im Vorfeld definiertes Raumprogramm stellten die Rahmenbedingungen für die städtebauliche und funktionale Herangehensweise in der Entwurfskonzipierung.

Demnach sollte die Industrieanlage eine Bruttogeschossfläche von ca. 22.000 m² aufweisen und eine spätere Industrienerweiterung, durch eine weitere Produktionshalle mit 6.000 m² ermöglichen. Ausreichende PKW-Stellplätze und eine durchdachte An- und Ablieferung sollten in der Logistik berücksichtigt werden und das Anforderungsprofil an den Standort damit abrunden.

Der Bauplatz mit einer Fläche von ca. 50.000 m² befindet sich im Einzugsgebiet von Innsbruck im Inntal Tirol und liegt in der Anflugschneise des regionalen Flughafens. Das Grundstück ist nördlich durch einen Bach und südlich durch eine zweispurige Straße mit anschließendem ÖBB-Bahnverkehr begrenzt. Im Süden befindet sich weiters ein Wohngebiet, andernfalls sind die Nachbargrundstücke vorwiegend als Grünland gewidmet.

Auf Grund der Lage (siehe Abb. 13) des Wohngebietes im Süden wurde bereits in der frühen Projektphase entschieden, einen Großteil der Produktion im nördlichen Teil des Bauplatzes anzusiedeln. Der Bauteil Büro und ein geringer Anteil an Produktionsflächen wurden im südlichen Teil des Grundstücks als „Riegel“ vorgeschoben. Durch eine Art geschlossene Front konnte der restliche Teil vom Grundstück zur Straße hin abgeschirmt werden. Dies sollte vor allem als zusätzliche Lärmschutzmaßnahme für das Wohngebiet dienen und einen Lieferhof im Inneren des Grundstückes eingrenzen. Durch die Anordnung zweier getrennter Volumina entstanden zwei große Hauptbereiche, nämlich die des Verkaufs im südlichen Drittel des Bauplatzes und der Bereich der Produktion mit Lieferhof und Erweiterungsmöglichkeit vorwiegend im nördlichen Teil.

Das Gebäudekonzept sah vor, beide Bereiche über eine großzügig gestaltete Brücke mit Aufenthaltscharakter zu verbinden. Die zwei getrennten Baukörper und das Verbindungselement der Brücke ermöglichten einen flexiblen Verkehrsfluss und eine variantenreiche logistische Erschließung sowohl für den Personen-, als auch für den LKW- und PKW-Verkehr.

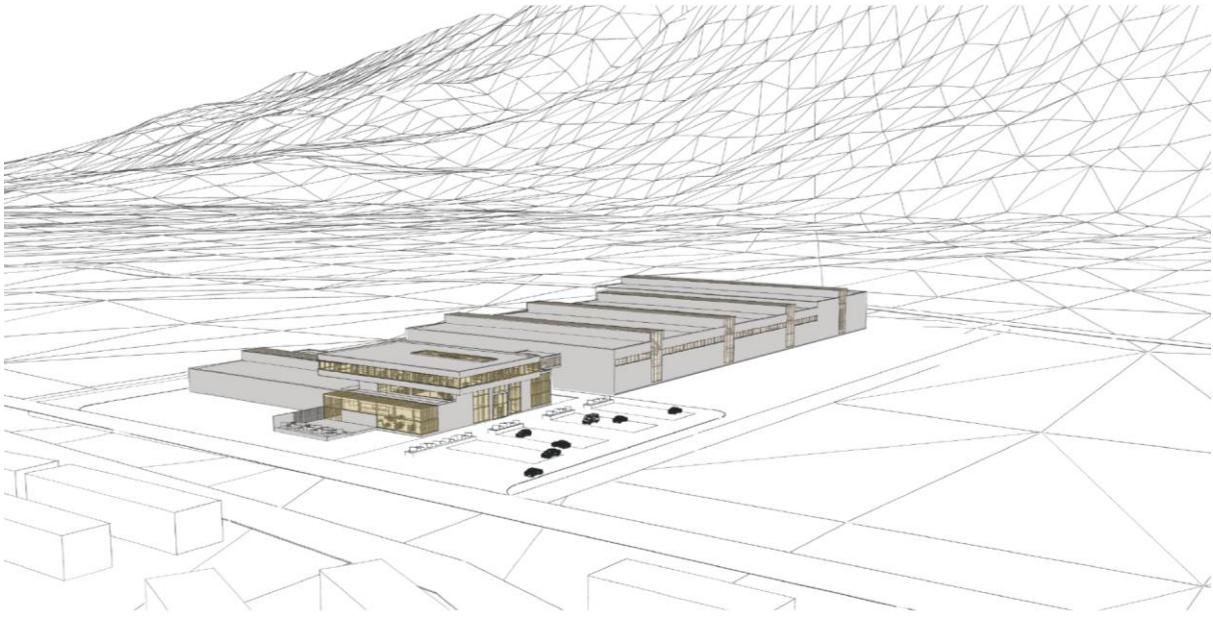


Abbildung 13: 3D Axonometrie mit Umgebung und Lageplan Projekt Alpen Backwerk

Der Standort im ländlichen Gebiet am Fuße der Alpen Nordkette und die Funktion des Gebäudes als Produktionshalle für Backwaren, spiegeln sich letztendlich in der Namensgebung für das entwickelte Projekt „Alpen Backwerk“ wider. Abbildung 14 zeigt ein Schaubild vom Entwurf.



Abbildung 14: Schaubild Entwurf Alpen Backwerk

2.4.1. Gebäude- und Statik-Konzept

In der funktionalen Entwicklung der Gebäudestruktur wurde ein Hauptachs raster mit 6,00 Meter gewählt. Dieser Raster zieht sich in x- und y-Achse über die gesamte Gebäudeebene hindurch. Um die Produktionshallen möglichst uneingeschränkt nutzen zu können, war man darauf bedacht, einen möglichst stützenfreien Grundriss zu entwickeln. Ein durchdachtes System für das Dachtragwerk konnte diesen Konzeptpunkt erfüllen. Begehbare, raumbildende Stahl-Fachwerkträger ermöglichen als Primärstruktur eine Überspannung der stellenweise bis zu 78,00 Meter breiten Halle. Gelagert werden die Fachwerke auf vier Innenstützen und auf jeweils zwei Stützen an den Außenenden. Zwischen den Fachwerken werden als Sekundärtragstruktur 36,00 Meter lange Holzleimbinder gespannt, auf denen vorgefertigte Holzsandwich-Dachelemente aufliegen.

Die Bauweise der Produktionshallen ist eine Kombination aus Massivbau- und Skelettbau elementen. Eine Anordnung von Stahlbeton-Stützen auf den Hauptachs raster ausgerichtet ist auf Erdgeschoss ebene zu sehen. Dazwischen aussteifende Stahlbeton-Scheiben bis zu einer Höhe von 9,00 Meter, die teilweise durch ein umlaufendes Lichtband auf einer Höhe von 7,20 bis 9,00 Meter unterbrochen sind. Die Dachebene mit dem Sekundärtragwerk aus Holzleimbindern, baut darüber auf einer Höhe von 9,00 bis 11,50 Meter auf. Diese Ebene ist mit Leichtbauelementen vorwiegend aus Holzprodukten konzipiert. Die Tragwerksebene des Daches,

bestehend aus den Stahl-Fachwerkträgern, liegt auf einer Höhe von 9,00 bis 14,00 Meter und bildet im Bereich der Produktion den höchsten oberen Raumabschluss.

Der Einsatz des regionalen Produktes Holz findet vor allem im Bereich des Dachtragwerks der Produktionshallen sowie bei dem Bürotrakt in Leichtbauweise Anwendung. Mit dem ökologisch vorteilhaften Werkstoff Holz zu planen war letztendlich auch eine Anforderung in der Aufgabenstellung.

Mit einer funktionalen Bauweise der Produktionshallen, die vorwiegend auf dem Gebrauch vorgefertigter Bauelemente stützt, ist eine rasche Errichtung und flexible Umnutzung bei späterem Bedarf im Betrieb leicht möglich.

Die nachfolgende Grafik (Abb. 15) zeigt einen Entwurfsgrundriss der Erdgeschoessebene.

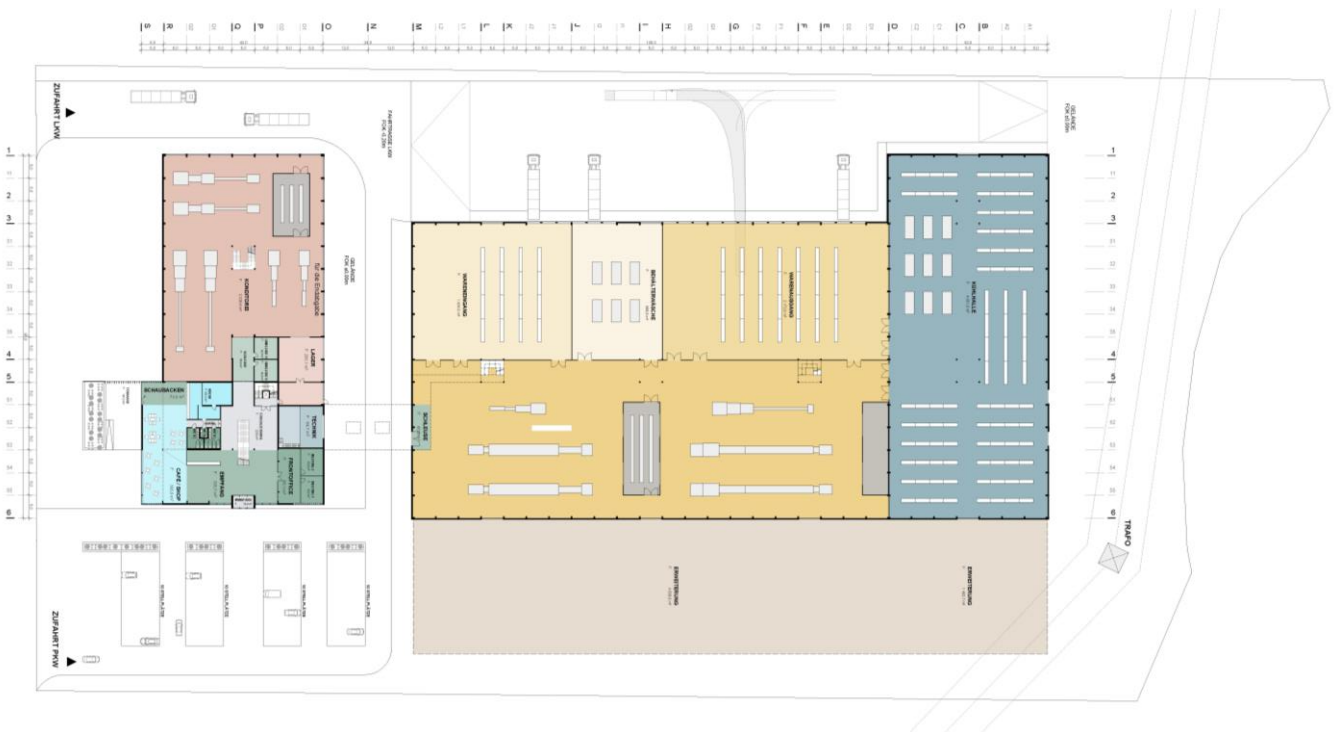


Abbildung 15: Grundriss Entwurf Alpen Backwerk

2.4.2. Energiekonzept

Die Einbeziehung und Entwicklung innovativer und nachhaltiger Lösungen hinsichtlich der Nutzung erneuerbarer Energien war Teil der Aufgabenstellung an den Fachbereich Bauphysik. Durch den Produktionsbetrieb der Bäckerei, entschied man sich beim Projekt Alpen Backwerk die Emissionen bzw. die Prozessenergie wie Abwärme aus den unterschiedlichen Bereichen synergetisch zu nutzen.

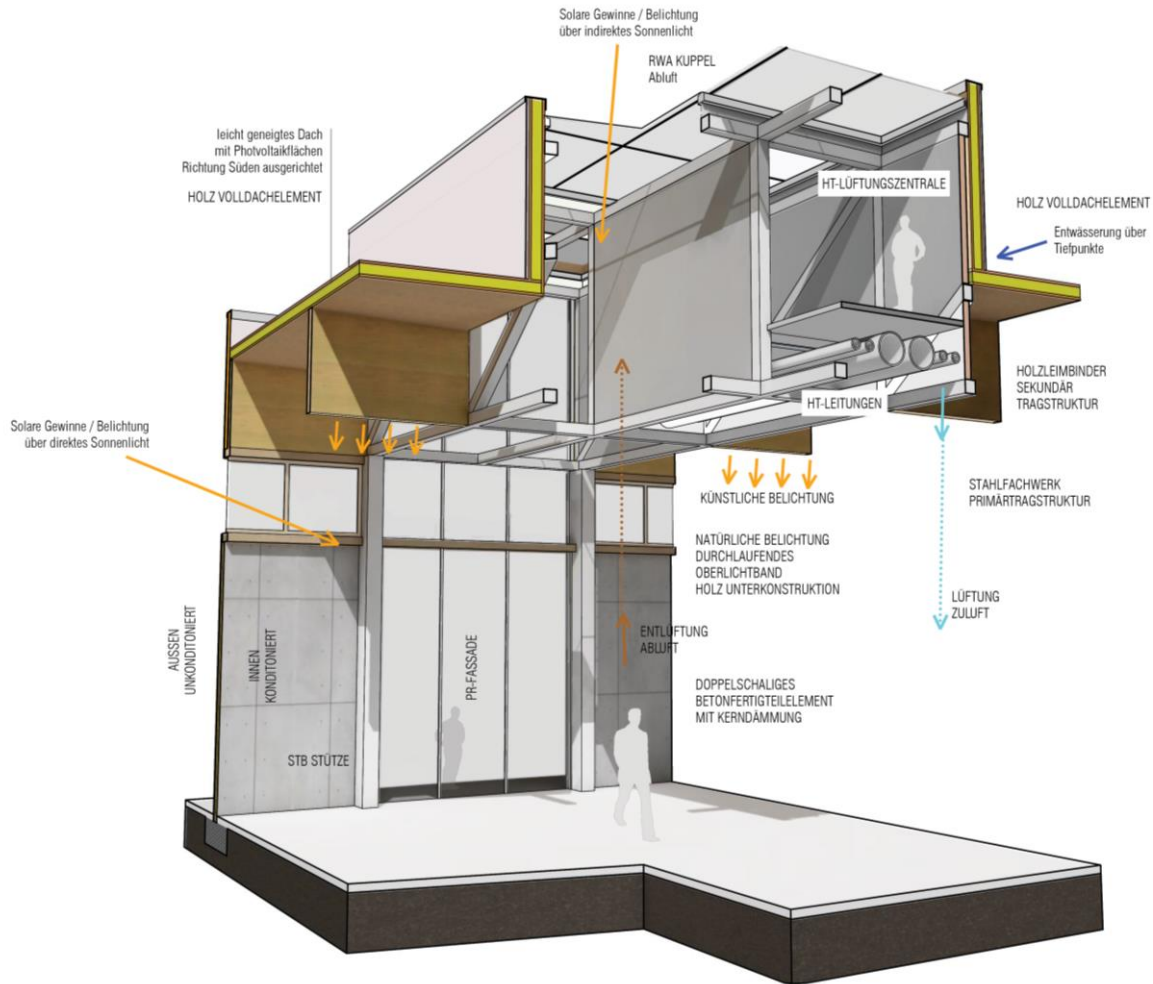


Abbildung 16: Energie- und Tragwerkskonzept Entwurf Alpen Backwerk

So wird beispielsweise die Abwärme aus der Produktion zur Beheizung der Büroräumlichkeiten in den Wintermonaten genutzt. Im Sommer können die Fachwerkträger für eine Querlüftung herangezogen werden und anfallende Wärme über offenbare Glaselemente entweichen. Nach Süden, beziehungsweise Westen ausgerichtete Photovoltaikmodule auf den Dachflächen können den Strombedarf aus dem öffentlichen Stromnetz durch Eigenproduktion reduzieren. Zudem lassen sich über die gewonnene elektrische Energie Anlagen für Wärmerückgewinnung, Wärmetauscher oder Kühlaggregate versorgen. Das vorteilhafte Prinzip der Wärmerückgewinnung lässt überschüssige Wärme auffangen, speichern und wieder nutzen, um so möglichst leicht und effizient Energie einzusetzen. Pufferspeicher werden herangezogen, um die aus den Wärmetauschern abgeleitete Energie als Heizwärme oder als Nutz-Warmwasser für späteren Bedarf zur

Verfügung zu stellen. In den Büroräumlichkeiten kommen Heiz- und Kühldecken als Flächenabgabesystem zum Einsatz. Integrierte Raffstore werden als Beschattungsanlagen installiert, um vor sommerlicher Überwärmung zu schützen.

Für die energetische Versorgung beider Bauteile sieht das Gebäudekonzept einen unterirdischen Kollektorgang vor, um die Bereiche Büro und Verkauf im gegenseitigen Austausch gleichmäßig effizient zu bewirtschaften.

Die oben dargestellte Grafik (Abb. 16) zeigt eine schematische Schnittperspektive mit Darstellung des Tragwerks- und Haustechnikkonzepts.

2.4.3. Entwurfsdaten

Um einen kompakten Überblick der Entwurfsergebnisse zu liefern, werden die wesentlichen Eckdaten zum Projekt Alpen Backwerk in der untenstehenden Tabelle 2-5 angeführt. Die Tabelle ist in zwei Abschnitte gegliedert. Zum einen in Angaben bezüglich der Rahmenbedingungen und Mindestanforderungen an den Entwurf, zum anderen werden die entsprechenden Gebäudedaten des Entwurfs angeführt.

Tabelle 2-5: Entwurfsdaten

Rahmenbedingungen für den Entwurf	
Standort / Adresse	Florianiweg 16, AT-6176 Völs, Tirol
Seehöhe	583,2 m
Fläche Grundstück	51.547 m ²
Gebäudehöhe	Höchstzulässige Gebäudehöhe lt. Bebauungsplan 602 m ü. A. (ca. 20 m)
Gebäudefunktion	Produktionshalle und Bürostandort
Vorgabe Raumprogramm	BGF 21.592 m ² ; BGF nach Erweiterung 27.592 m ²
Modellierung (BIM)	LOD 300; ArchiCAD
Gebäudedaten Entwurf	
Bebaute Bruttofläche	18.274,70 m ² inkl. Erweiterung 24.245,40 m ²
Nutzfläche	20.985,83 m ² inkl. Erweiterung 27.014,51 m ²
Grundflächenzahl	0,35 0,47 nach Erweiterung
Geschossflächenzahl	0,40 0,52 nach Erweiterung
Gebäudehöhe	Produktion max. 16,60 m Büro max. 14,38 m
Bauweise	Mittelschwer; Leichtbau-Massivbau

2.5. Systemgrenzen und Festlegung des Ausgangsprojektes

Das Ausgangsprojekt in dieser Diplomarbeit bezieht sich auf einen definierten Gebäudeteilbereich des zuvor erläuterten BIM-Gebäudeentwurfes „Alpen Backwerk“. Das zur Verfügung gestellte 3D-Modell wurde in seiner ursprünglichen Dimension sehr ausführlich detailliert. Für die Variantenstudie wurde somit ein repräsentativer Gebäudeteil für die weiteren Untersuchungen ausgewählt.

Damit wurden auch neue geometrische Systemgrenzen festgelegt, um ein konkretes, fassbares Objekt für die Untersuchungen hinsichtlich BIM-basierter Energieausweis- und Ökobilanzerstellung zu definieren. Gewählt wurde ein Teilbereich der Produktionshalle mit Flächen für Produktion, Behälterwäsche sowie An- und Ablieferung, der in der nachstehenden Grafik samt Systemgrenzen in Rot dargestellt ist (Abb. 17).

Die Gebäudezonierung wird in der nachfolgenden Abbildung schematisch dargestellt und zeigt einen eingegrenzten Bereich durch rote Systemgrenzen. Dieser Gebäudeabschnitt wird in weiterer Folge als Ausgangsprojekt bezeichnet und bildet die Grundlage der weiteren Modellierung und den Gegenstand der Untersuchung. Über die festgelegten Systemgrenzen wird das Ausgangsprojekt „BIM-Eco“ (Abb. 17) definiert.

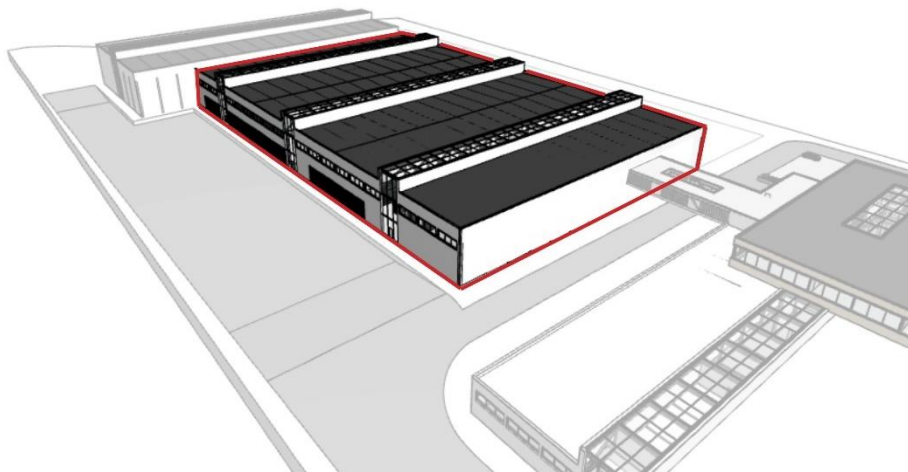


Abbildung 17: Systemgrenzen Ausgangsprojekt BIM-Eco

2.5.1. Rahmenbedingungen und Gebäudegeometrie Ausgangsprojekt

Für die weitere Forschungsarbeit und vor allem für die folgenden Modellierarbeiten wurden detaillierte Rahmenbedingungen zum Ausgangsprojekt, dem Gegenstand der Forschung, festgelegt. Diese umfassen im Wesentlichen zwei Bereiche und beinhalten Angaben zu den Projekt-Rahmenbedingungen sowie der Geometrie des Gebäudes. Die festgelegten Daten werden einheitlich in den Auswertungstools eingegeben, um die gleichen Ausgangsbedingungen für alle Variantenberechnungen zu schaffen.

Rahmenbedingungen Ausgangsprojekt

Tabelle 2-6

Standort und Klimadaten	
Standort / Adresse	Florianiweg 16, AT-6176 Völs, Tirol
Koordinaten	47°15'28.1"N 11°18'37.6"E
Seehöhe	583,2 m
Klimadaten - Innsbruck <i>(lt. www.climate-data.org)</i>	Ø 18,6 °C (Juli) Ø -1,4 °C (Jänner)
Innentemperaturen <i>(lt. Arbeitsstättenverordnung)</i>	+ 17 °C mittlere Arbeiten Stehen bzw. Gehen (An- / Ablieferung / Behälterwäsche) + 20 °C leichte Arbeit (Produktion)



Modellierung und Auswertung		
Level of Detail	LOD 300	Detaillierungs-u. Informationsgrad für Einreichplanung
Ökobilanz	OI 3	
Bilanzgrenze	BG 3	Bilanzgrenze 3 ohne Haustechnik

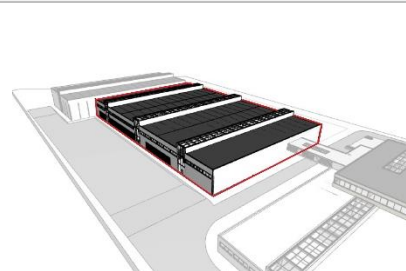
Energieversorgung		
Strom	32,85 kWh/m ² a	Strombedarf
	85 %	Österreich Mix
	15 % (600 m ²)	Photovoltaik (Peakleistung 72 kW)
Heizung	Fernwärme	DIWAG Tirol

Tabelle 2-6: Rahmenbedingungen Ausgangsprojekt

Gebäudegeometrie Ausgangsprojekt

Tabelle 2-7

Flächen- u. Rauminhalte	Berechnung nach ÖN B1800
NFL Halle	9.860,00 m ²
BGF Halle	10.052,20 m ²
BRI Halle	90.469,80 m ³
BRI Dachraum	30.178,54 m ³
BRI Gesamt	120.648,34 m ³
Umfang Halle	886,70 m



Zonen Vertikal		
Halle	±0,00 bis +9,00 m	Nutzbare Netto-Raumhöhe
	+7,20 bis +9,00 m	Lichtband Ost- und Westseite umlaufend
Dachraum	+9,00 bis 11,00/11,5 m	Sekundär Dachtragwerk (Holzleimbinder)
Primärtragwerk	+9,00 bis 14,00 m	Haupttragwerk Fachwerkträger

Zonen Horizontal		BGF	NFL	BRI	Höhe
HALLE	Produktion	5.408,10 m ²	5.300,70 m ²	48672,90 m ³	9,00 m
	Wareneingang	1.557,10 m ²	1.518,70 m ²	14013,90 m ³	9,00 m
	Behälterwäsche	874,5 m ²	861,7 m ²	7870,50 m ³	9,00 m
	Warenausgang	2.212,60 m ²	2.178,90 m ²	19913,40 m ³	9,00 m
DACHRAUM	Dachraum	8.387,20 m ²		21.387,36 m ³	2,55 m
	Technikzentrale	1.665,00 m ²		8.791,20 m ³	5,28 m
	Dachfläche (Neigung 1,60°)	8.389,40 m ²			
	Dachfläche (Neigung 0,00°)	1.466,30 m ²			
GESAMT:		10.052,30 m²	9.860,00 m²	120.649,26 m³	

Tabelle 2-7: Gebäudegeometrie Ausgangsprojekt

In der Tabelle 2-6 werden die äußerlichen Rahmenbedingungen des Projekts wie Standort und Klimadaten angeführt. Darüber hinaus beinhaltet diese Tabelle Vorgaben für die Modellierung und Auswertung, wie zum Beispiel den „Level of Detail“ dem die Modellierarbeiten zugrunde liegen.

Laut dem Online Lexikon Baunetz_Wissen_ (www.Baunetzwissen.de) steht der Level of Detail (kurz LOD) „für einen geometrischen Detaillierungsgrad und beschreibt die Detailtreue der geometrischen Abbildung eines Modellelements in einem digitalen Bauwerksmodell.“ Mit dieser Definition wird versucht, den Informationsgehalt eines BIM-Modells über die Phasen der Planung und Ausführung hinweg in einer Skala von 100, 200, 300, 350 (optional), 400 und 500 einzureihen. Je höher die Einordnung, desto ausführlicher die Darstellung und Detailtreue des Modells. So wird beispielsweise ein Vorentwurfsmodell mit einem LOD 100 und ein Ausführungsmodell mit LOD 400 definiert (www.Baunetzwissen.de/bim/fachwissen). Für das Projekt BIM Eco wurde ein LOD 300 festgelegt, der den Standard für ein Genehmigungsmodell in der Einreichphase bildet. Dieser Grad der Detaillierung wird auch bei Zertifizierungsprozessen für beispielsweise Energieeffizienz, Hygiene oder Brandschutz verwendet und eignet sich somit ideal für die weiteren Untersuchungen in dieser Diplomarbeit.

Ebenfalls in den Rahmenbedingungen festgelegt sind die Angaben zu der Energieversorgung der Produktionshalle. Für den Strombedarf von 32,85 kWh/m²a werden 85 % aus dem öffentlichen Stromnetz (Österreich Mix) und 15 % über die Eigenerzeugung durch Photovoltaik Anlagen gedeckt. Der Heizbedarf wird über den regionalen Fernwärmeanbieter DIWAG Tirol gedeckt.

Die relevanten Angaben zur Geometrie und räumlichen Dimension des Ausgangsmodells werden in der Tabelle 2-7 festgehalten. Die im Projekt BIM-Eco über die neuen Systemgrenzen definierte Produktionshalle besitzt demnach eine Brutto-Grundfläche von exakt 10.052,20 m², mit einer Netto-Nutzfläche von 9.860,00 m² (NFL = 98 % von BGF). Der Brutto-Gesamtrauminhalt beziffert sich auf 120.648,34 m³, wobei dieses Fassungsvermögen in die Bereiche Halle (BRI 90.469,80 m³) und Dachraum (30.178,54 m³) unterteilt ist.

In der Höhe gesehen ist die Produktionshalle demnach in zwei Hauptbereiche zониert. Die ebenerdige Zone „Halle“ beherbergt die Räumlichkeiten der Produktion, Behälterwäsche sowie der An- und Ablieferung. Die zweite Zone wird über den „Dachraum“ definiert und besteht aus der Ebene der Sekundär- und Primärtragstruktur für das Dach, inklusive den Technikzentralen. Der obere Dachabschluss wird über geneigte und nicht-geneigte Dachflächen gebildet.

In der vertikalen Gliederung der Produktionshalle sind drei Höhengrenzen anzunehmen. Die Zone „Halle“ beläuft sich auf eine maximale Höhe von +9,00 m über Fußboden. Darüber befindet sich der „Dachraum“ mit dem Sekundärtragwerk. Je nach Gefälle der Holzleimbinder (= Unterkonstruktion für die Dachhaut) liegt diese Zone im Bereich zwischen +9,00 m bis +11,00 bzw. +11,50 m über fertigem Fußboden. Die letzte vertikale Zone wird durch das Haupttragwerk mit den begehbaren Fachwerkträgern und den Technikzentralen gebildet. Die Zone des „Primärtragwerks“ liegt demnach auf einer Höhe von +9,00 m mit einer Obergrenze der Konstruktion von +14,00 m über fertigem Fußboden.

Die Geometrieangaben zum Ausgangsprojekt bilden zusätzlich zu den zur Verfügung gestellten Bauplänen* die Grundlage für die Modellierungsarbeiten in ArchiCAD, Revit und Allplan.

2.5.2. Aufbauten und Bauteile der thermischen Hülle

Eine detaillierte Auflistung der Bauteile und deren Aufbauten ergänzen die Projektbeschreibung BIM-Eco. So können den Bauelementen, die vorwiegend durch geometrische Daten wie Bauteilflächen und -massen definiert werden, zusätzliche Attribute über die bauphysikalische Beschaffenheit (wie U-Werte) zugeschrieben werden.

* Der Begriff Bauplan wird synonym für alle technischen Zeichnungen wie Grundrisse, Schnitte, Ansichten etc. in digitaler oder analoger Form verwendet

In den unten angeführten Tabellen 2-8 und 2-9 werden die relevanten Bauteile für die bauphysikalisch Hüllfläche aufgelistet. Der Wert „Flächenanteil“ gibt den Größenwert des jeweiligen Bauteils als Teil der Hüllfläche in Quadratmeter an. Der U-Wert definiert den Wärmedurchgang des Bauteils.

Bauteilaufbauten der thermischen Hülle

Tabelle 2-8

Bauteilnr.	Bauteilbezeichnung	Schichtaufbau (Außen nach innen)	Bauteilstärke [m]	U-Wert [W/m ² K]	Flächenanteil [m ²]
B01	Boden gegen Erdreich		0,97	0,186	10.023,36
		Rollierung Sauberkeitsschicht Bitumenanstrich Dämmung XPS Abdichtung Trennlage STB Bodenplatte Zementverbundestrich Epoxidharz-Beschichtung	0,30 0,10 - 0,20 0,001 - 0,30 0,06 0,005		
A01	Außenwand massiv		0,47	0,187	3.410,60
	h= ab 9,00 m	Aluminiumblech Luftschicht Vertikal Wärmedämmung Stahlbetonwand	0,01 0,06 0,20 0,20		
A02	Außenwand leicht		0,37	0,171	2.468,72
	h= bis 9,00 m	Aluminiumblech Luftschicht Vertikal OSB-Platte Holz UK, dazw. Wärmedämmung Dampfbremse Holzplatte	0,01 0,06 0,02 0,26 0,005 0,02		
D01	Dach geneigt		0,34	0,170	8.395,82
		EPDM Baufolie 2x OSB-Platte Holz UK, dazw. Wärmedämmung OSB-Platte 2x Fireboard	0,005 0,03 0,26 0,015 0,03		
D02	Dach flach		0,34	0,170	154,86
		EPDM Baufolie 2x OSB-Platte Holz UK, dazw. Wärmedämmung OSB-Platte 2x Fireboard	0,005 0,03 0,26 0,015 0,03		

Tabelle 2-8: Bauteilaufbauten der thermischen Hülle

Bauteilliste Fenster und Türen der thermischen Hülle

Tabelle 2-9

Bauteilnr.	Bauteilbezeichnung	Stückzahl	U-Wert [W/m ² K]	Flächenanteil [m ²]
AF 01	Außenfenster 3-Flügel Fenster 560x180	34	0,81	330,48
AF 02	Außenfenster 3-Flügel Fenster 540x180	2	0,81	20,16
AF 20	Pfostenriegelfassade vertikal	6	1,30	482,82
AT 10	Außentüre Eingangstür 350x350	1	0,80	13,32
AT 11	Außentüre Fluchtwegtüre 90x210	6	0,93	10,92
AT 12	Außentüre Rolltor 334x442	18	2,50	283,50
DF 03	Dachflächenfenster Oberlicht 610x575	39	0,71	1.368,12

Tabelle 2-9: Bauteilliste Fenster und Türen der thermischen Hülle

In der Gesamtbetrachtung ergibt die thermische Gebäudehülle des Ausgangsprojekts eine Hüllfläche von 26.441,55 m² mit einem 8,65 prozentigem Anteil transparenter Bauteilflächen (2.264,26 m²) und einer charakteristischen Länge von 4,56 m.

2.6. Forschungsdesign

Das Forschungsdesign (siehe Abb. 18) gliedert sich zum einen in die Bereiche der Evaluierung und Analyse der Software Workflows, zum anderen in die Vergleichsanalyse der Ergebnisse resultierend aus den Berechnungen für die Energieausweis- und Ökobilanzerstellung. Abschließend werden sowohl die evaluierten Workflows optimiert als auch die Gebäudeperformance hinsichtlich der Energieausweis- und Ökobilanzergebnisse verbessert.

Die Untersuchungsprozesse bauen auf einem BIM Ausgangsmodell auf, das durch seine Modellierung und Auswertung eine entsprechende Vergleichsbasis für die Variantenstudie bietet. Die vorgegeben Rahmenbedingungen und die Beschreibung des Ausgangsmodells in seiner Geometrie ermöglichen eine exakte Re-modellierung in unterschiedlicher BIM-Software. Somit können unterschiedliche Software Workflows in einer Vergleichsstudie untersucht werden. Darüber hinaus bietet dieser Vergleich die Möglichkeit Defizite und Potenziale der unterschiedlichen Anwendungen zu orten und diese zu optimieren.

In der Workflow Analyse für den Energieausweis wird eine Variantenstudie von drei in unterschiedlicher Software modellierten und dennoch identen Modellen herangezogen. Um die Gebäudegeometrie der Modellvarianten einheitlich auswerten zu können, werden diese durch geeignete Schnittstellenlösungen mit BIM in die Auswertungssoftware exportiert. Die Gegenüberstellung der Auswertungsergebnisse bietet eine Vergleichbarkeit der übermittelten Geometriedaten aus den Varianten. In einer Nutzbarkeitsanalyse sollen die

Software Workflows hinsichtlich ihrer Effizienz und die Verwendungstauglichkeit der unterschiedlichen Schnittstellen evaluiert werden.

Die Ökobilanzierung basiert hingegen auf nur einem Energiemodell, modelliert mit einer Software. Das Modell wird jedoch auf zwei unterschiedliche BIM-Methoden ausgewertet. Diese Case Study sieht demnach den Vergleich von Workflows für LCA und deren Auswertungsmethoden mittels Excel Tabellen und ArchiPHYSIK vor.

Die Datenerhebung dieser sehr kompakt erläuterten Vorgehensweise basiert vorwiegend auf der Modellierung, Auswertung und Ergebnisuntersuchung in der Variantenstudie. Dokumentiert wird die Vorgehensweise durch einen Modellierleitfaden und der Darstellung semi-automatisierter BIM-basierter Workflows, die als Hilfestellung und Vorlage für Drittnutzer in weiteren Anwendungsfällen herangezogen werden können.

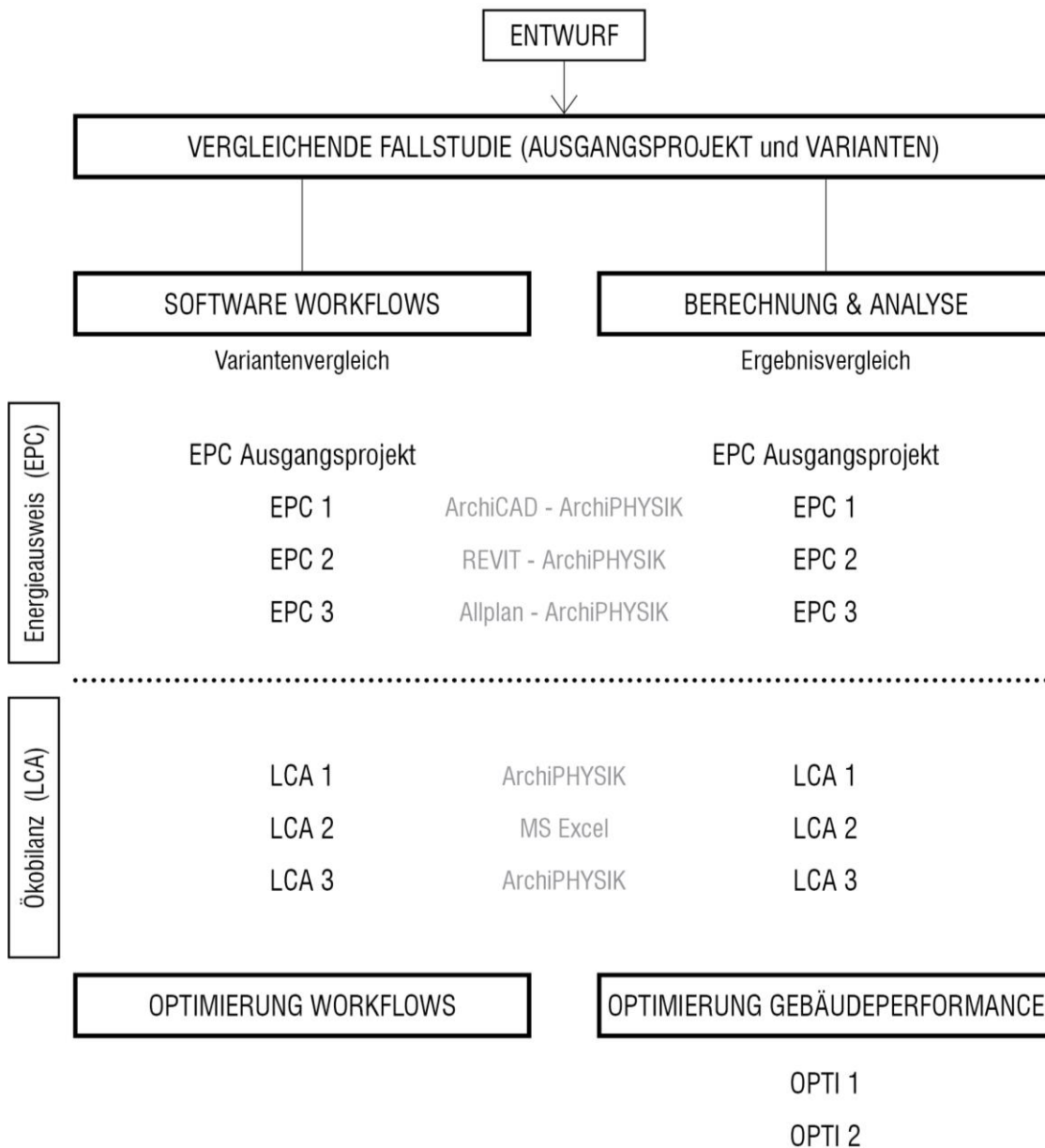


Abbildung 18: Forschungsdesign

2.6.1. EPC Variantenstudie

Für die Energieausweisberechnung wird eine Variantenstudie mit drei Softwaremodell-Varianten gegenüber dem Ausgangsprojekt durchgeführt. Den Status Quo bildet somit das Ausgangsmodell, das in ArchiCAD (Version 21) modelliert und für die Variantenstudie teilweise modifiziert wurde. Zusätzlich zum Ausgangsmodell werden drei Variantenmodelle in unterschiedlicher Software generiert, um unterschiedliche Workflows mit unterschiedlichen Programmen testen zu können. Um eine Vergleichbarkeit der Varianten zu schaffen, müssen die Variantenmodelle jeweils ident modelliert sein. Ein genau beschriebener Steckbrief und konkrete Modellervorgaben zum Ausgangsprojekt bilden somit die Grundlage für die Modellierung von Building Energy Models in drei unterschiedlichen Softwareanwendungen. Die Authoring Tools, die hierfür eingesetzt werden lauten demnach:

- ArchiCAD (Version 21) von Graphisoft
- Autodesk REVIT (2019) und
- Nemetschek Allplan (2018)

Für die Auswertung der Modell Geometrien und zur Berechnung der Energieausweise wurde das in Österreich zertifizierte Programm ArchiPHYSIK (Version 15.0) herangezogen. Die aus den unterschiedlichen Softwareprogrammen generierten Modelle können nun über die jeweilig verfügbaren Schnittstellen zum Export bereitgestellt werden. Über den Import in ArchiPHYSIK können Gebäude Geometrie und Baumassen aus dem BEM automatisiert übernommen werden. Weitere semantische Daten, die für die Energieausweisberechnung in ArchiPHYSIK benötigt werden, werden manuell ergänzt. Der Workflow-Prozess ist somit semi-automatisiert. ArchiPHYSIK kennt in seiner letztgültigen Version 15.0 zum Zeitpunkt der Forschung zwei CAD-Schnittstellen, die für den Import von BIM Anwendungen verfügbar sind:

- Schnittstelle ArchiCAD® Add-on
- Schnittstelle SketchUP® Add-on

Der Arbeitsablauf für die Erstellung von EPC mit BIM verläuft in der gewählten Form in drei Phasen: Phase 1 wäre demnach die Modellierung, Phase 2 die Verknüpfung des Modells über die Schnittstelle mit der Auswertungssoftware, und Phase 3 die Auswertung und Ergebnisberechnung. Die Ergebnisse aus den Energieausweisen werden über einen in ArchiPHYSIK manuell erstellten Energieausweis des Ausgangsprojektes miteinander verglichen und überprüft.

Die Vorgehensweise bei der erwähnten Methode für EPC wird in der nachstehenden Darstellung (Abb. 19) zur Übersicht schematisch und kompakt erläutert.

VARIANTENSTUDIE EPC – Variante EPC 1 / 2 / 3

Die untenstehende Grafik (Abb. 19) zeigt die Variantenstudie für die BIM Workflows der EPC Verfahren.

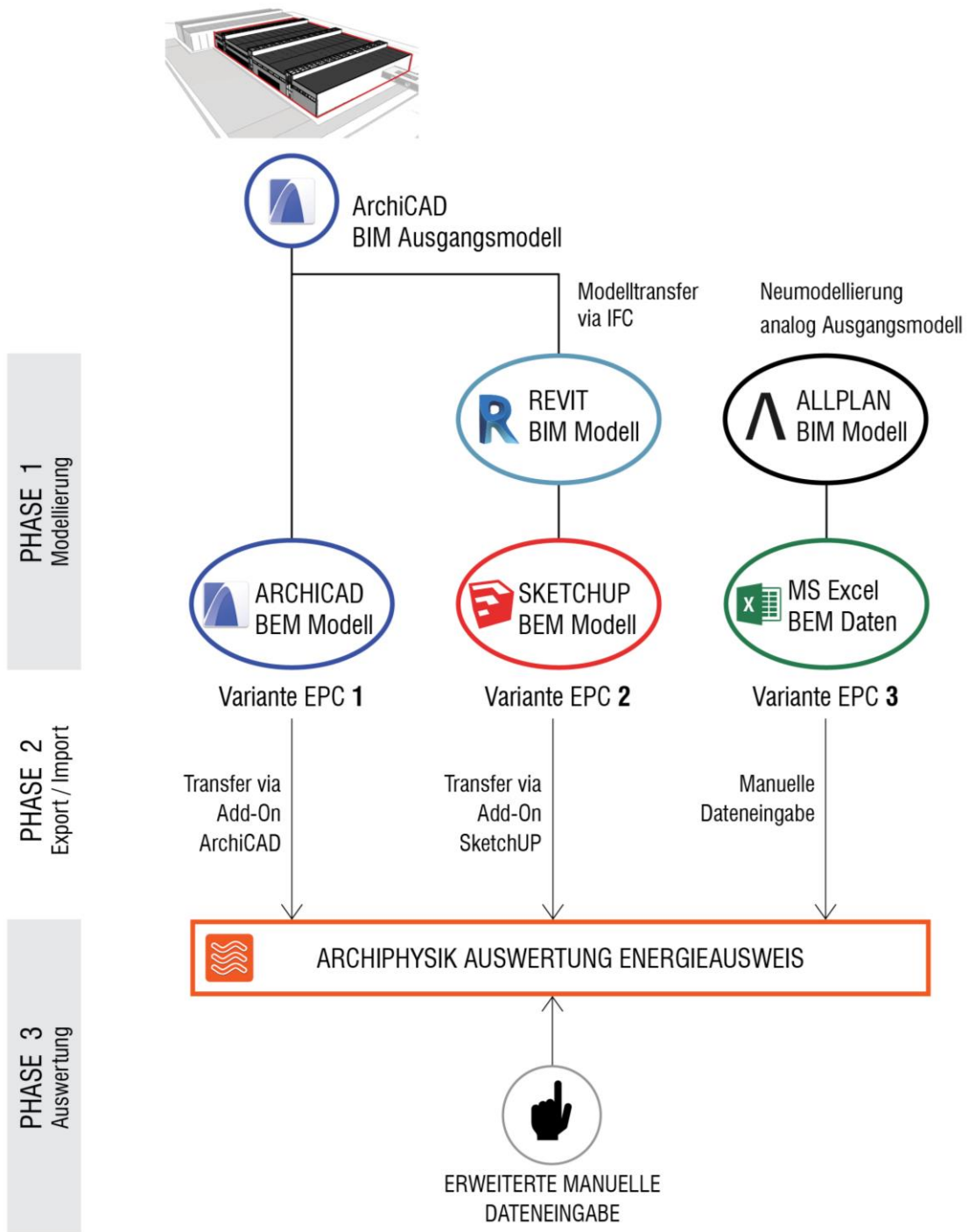


Abbildung 19: Allgemeines Flussdiagramm zur Vorgehensweise in der Variantenstudie für EPC

2.6.2. LCA Variantenstudie

Für die Ökobilanz steht ein Ausgangsmodell als Grundlage für die Variantenstudie zu Verfügung. Anders wie bei der EPC Variantenstudie, wird für die LCA nur das BEM aus ArchiCAD verwendet. Der Grund dafür ist, dass ArchiCAD als einzige BIM-Anwendung eine direkt kompatible CAD-Schnittstelle für ArchiPHYSIK besitzt, die es erlaubt geometrische und bauphysikalische Daten zu übermitteln. Über das ArchiCAD Ad-On können zusätzlich zur Geometrie auch bauteilrelevante Informationen wie der Schichtaufbau oder verwendete Materialien exportiert werden, während das SketchUP Plugin nur die Gebäudegeometrie nach ArchiPHYSIK übertragen kann. Bauteilmassen und Informationen aus dem Energiemodell werden somit von ArchiCAD über die Schnittstelle nach ArchiPHYSIK übertragen und dort manuell mit weiteren erforderlichen Daten ergänzt. Die Berechnung der Ökobilanz erfolgt in dieser Variante ebenfalls mit dem Auswertungstool ArchiPHYSIK.

Um die LCA-Bewertung über den BIM-Workflow aus ArchiCAD und ArchiPHYSIK zu verifizieren, wird ein zweiter Workflow mit einem weiteren Auswertungstool herangezogen. Die zweite Variante als Verifizierungsprozess läuft über eine vorprogrammierte Microsoft Excel Tabelle, die für die Berechnung der Ökobilanz eingesetzt wird. Die erforderlichen Daten und Baumassen aus dem Energiemodell werden über einen automatisierten Ausleseprozess direkt aus ArchiCAD gewonnen und in der Tabelle zur Auswertung verknüpft.

In den ersten beiden LCA Varianten werden im Berechnungsverfahren dieselben Datensätze, von einer Quelle bezogen verwendet. Eine dritte Variante verwendet hingegen Datensätze aus einer weiteren Quelle, um so einen Ergebnisvergleich unterschiedlich eingesetzter LCA Daten zu erhalten.

Der Ergebnisvergleich aus den Varianten soll nicht nur die möglichen Defizite oder Diskrepanzen aus den unterschiedlichen Vorgehensweisen zeigen, sondern die Workflows auch auf ihre Effizienz in der Anwendung hin gegenüberstellen.

Wie in dem oben angeführten Prozess beschrieben und in der folgenden Grafik (Abb. 20) ersichtlich, gibt es auch im Verfahren für die LCA die drei Phasen der Modellierung, dem Export / Import sowie der Auswertung. In der Phase der Auswertung findet man wie erwähnt ein zusätzliches Tool neben ArchiPHYSIK vor, um die durch ArchiPHYSIK generierten Ergebnisse der Ökobilanz mittels MS Excel Berechnung zu verifizieren.

Die nachfolgende Grafik (Abb. 20) zeigt die Variantenstudie für die BIM Workflows der LCA Verfahren.

VARIANTENSTUDIE LCA – Variante LCA 1 / 2 / 3

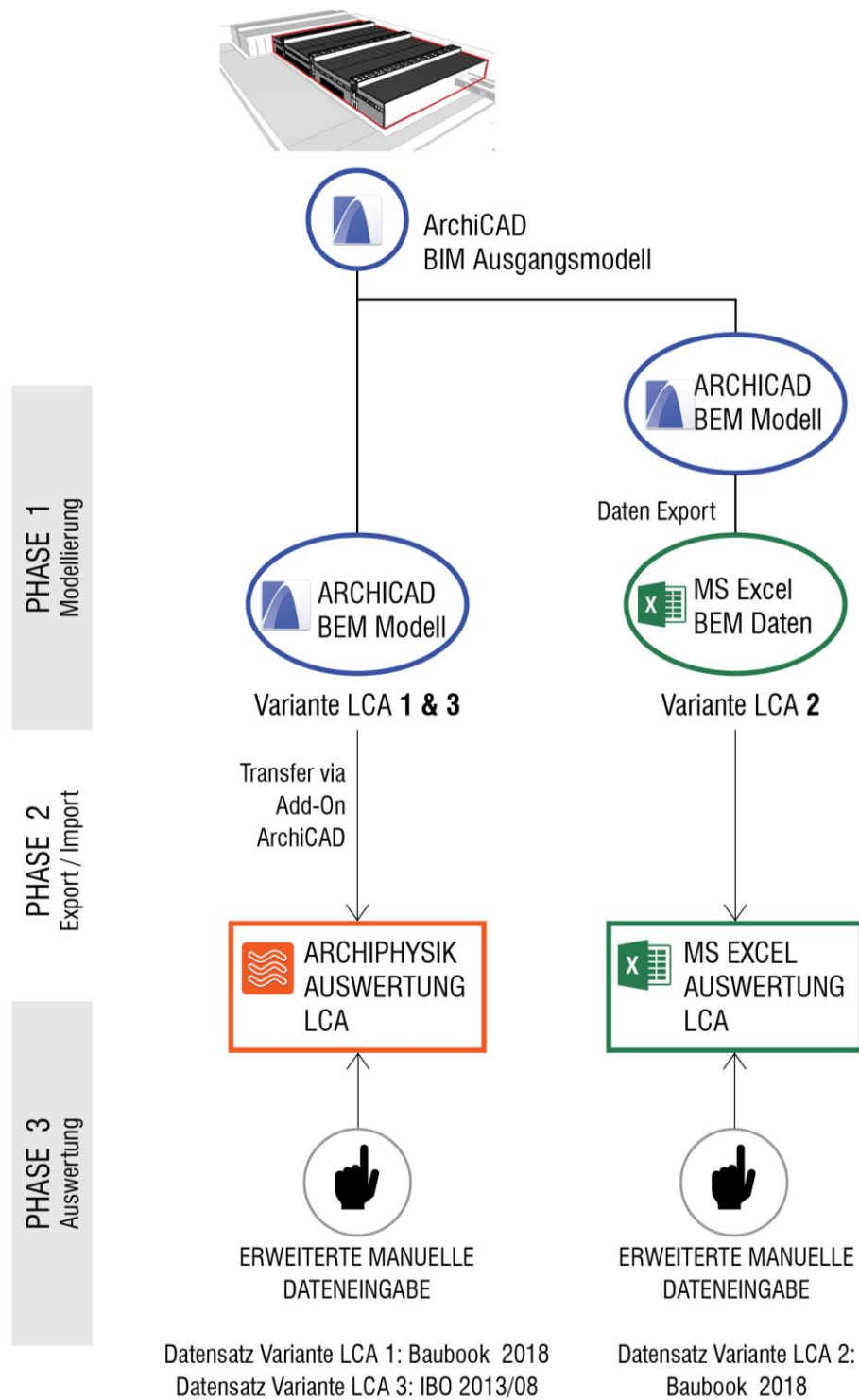


Abbildung 20: Allgemeines Flussdiagramm zur Vorgehensweise in der Variantenstudie für LCA

Variantenvergleiche im Zuge LCA Berechnungen:

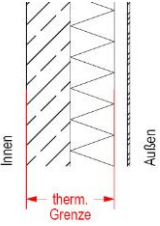
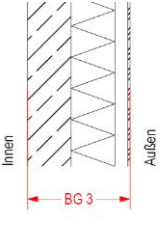
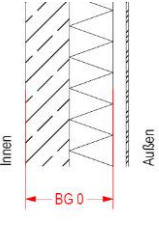
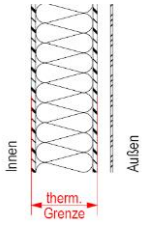
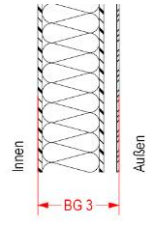
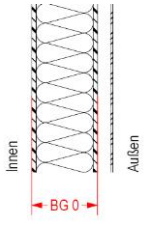
LCA Variante 2 / Variante 1:	Geometrieüberprüfung und Verifizierung Workflow mit ArchiPHYSIK
LCA Variante 2 / Variante 3:	Gegenüberstellung Ergebnisse mit Indikatoren aus unterschiedlichen Quellen
O13 Bewertung Variante 1:	O13 Bewertung für BGO, 50 Jahre / BG3, 50 Jahre / BG3, 100 Jahre

2.7. Rahmenbedingungen und Parameter für EPC und LCA

In der nachstehenden Tabelle 2-10 werden die Rahmenbedingungen für die Energieausweis- und Ökobilanzbewertung festgehalten. Hier werden die jeweils relevanten Prozessfaktoren wie Bilanzgrenzen, Betrachtungszeitraum, Datensätze etc. einheitlich festgehalten.

Zudem werden die für die LCA Auswertung verwendeten Quellen und Datensätze samt Indikatoren für die Bauteile der thermischen Außenhülle angeführt und gegenübergestellt.

Rahmenbedingungen Energieausweis- und Ökobilanzbewertung

	Energieausweis	Ökobilanz	
	EPC	LCA	OI3
Bilanzgrenze	BG3	BG3*	BG0 / BG3*
Betrachtungszeitraum	-	50 Jahre	50 / 100 Jahre
Quelle Datensätze	Baubook 2018	Variante 1 / 2: Baubook '18 Variante 3: IBO 2013/08	Baubook 2018
Geometrische Indikatoren	BGF [m ²] BRI [m ³]	BGF [m ²] BRI [m ³]	BGF [m ²] BRI [m ³]
Bauphysikalische Indikatoren	HWB [kWh/m ² a] EEB [kWh/m ² a] HEB [kWh/m ² a] F _{GEE}	PElne [kg MJ/m ²] GWP [kg CO ₂ /m ²] AP [kg SO ₂ /m ²]	PElne [kg MJ/m ²] GWP [kg CO ₂ /m ²] AP [kg SO ₂ /m ²]
berücksichtigte Bauteilschichten Bauteil A01			
berücksichtigte Bauteilschichten Bauteil A02			

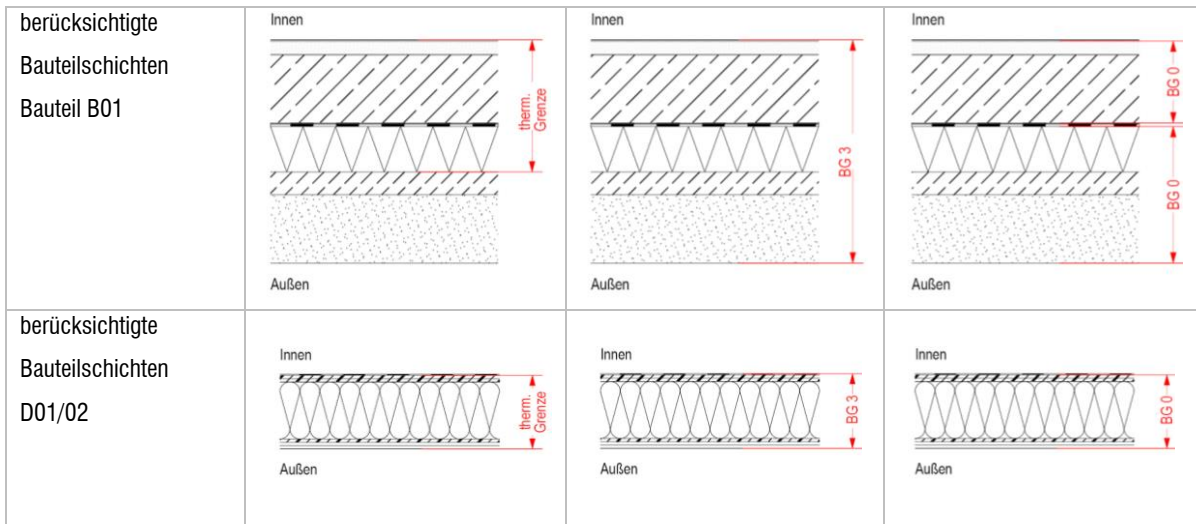


Tabelle 2-10 Rahmenbedingungen für EPC und LCA

*BG0: exkl. Dacheindeckung, exkl. Feuchtigkeitsabdichtung, exkl. Hinterlüftete Fassade, exkl. Fenster-/Türelemente

*BG3: exkl. Fenster-/Türelemente

2.7.1. Quelle Datensätze und Indikatoren für die LCA Auswertung

Die Tabelle 2-11 zeigt die Indikatoren aufgelistet nach Bauteilen und der bezogenen Quelle.

QUELLE BAUBOOK 2018

A01 Außenwand

PEI [MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
77,940000	5,967000	0,027769
77,940000	5,967000	0,027769
0,000000	0,000000	0,000000
98,890000	4,169000	0,014900
1,650000	0,161000	0,000429
256,420000	16,264000	0,070867

Bleicheindeckung
 Aluminiumblech
 Luftschicht
 WD EPS
 Stahlbeton

QUELLE IBO 2013/08

A01 Außenwand

PENRT [MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
84,340000	5,960000	0,027800
84,340000	5,960000	0,027800
0,000000	0,000000	0,000000
102,000000	3,450000	0,022300
1,100000	0,119000	0,000340
271,780000	15,489000	0,078240

A02 Außenwand

PEI [MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
77,940000	5,967000	0,027769
77,940000	5,967000	0,027769
0,000000	0,000000	0,000000
8,550000	-1,151000	0,002096
2,510000	-1,499000	0,000944
21,360000	1,934000	0,014126
84,660000	2,633000	0,010251
3,940000	-1,582000	0,001411
276,900000	12,269000	0,084366

Bleicheindeckung
 Aluminiumblech
 Luftschicht
 OSB Platte
 Nutzholz
 WD Mineralwolle
 Dampfbremse
 Nutzholz

A02 Außenwand

PENRT [MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
84,340000	5,960000	0,027800
84,340000	5,960000	0,027800
0,000000	0,000000	0,000000
12,550000	-1,051000	0,002200
1,320000	-1,441000	0,000400
23,190000	1,935000	0,014100
90,020000	2,634000	0,010300
1,320000	-1,441000	0,000400
297,080000	12,556000	0,083000

B01 Boden

PEI[MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
0,100000	0,007000	0,000048
0,370000	0,051000	0,000111
55,410000	1,057000	0,004411
93,560000	4,204000	0,015539
31,840000	1,285000	0,005290
84,660000	2,633000	0,010251
1,65	0,161	0,000429
1,02	0,12	0,000278
91,86	4,916	0,028473
360,470000	14,434000	0,064830

Rollierung
Magerbeton
Bitumenanstrich
WD XPS
Abdichtung
Trennlage
STB Bodenplatte
Verbundestrich
Epoxid-Besch.

B01 Boden

PEI[MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
0,080000	0,004000	0,000000
0,400000	0,051000	0,000100
58,720000	1,057000	0,004400
102,000000	3,440000	0,021100
74,080000	2,097000	0,007900
97,100000	2,750000	0,025200
0,970000	0,134000	0,000300
1,100000	0,120000	0,000300
72,420000	3,674000	0,016300
406,870000	13,327000	0,075600

D01 Dach geneigt

PEI[MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
83,770000	2,594000	0,010693
8,550000	-1,151000	0,002096
2,510000	-1,499000	0,000944
21,36	1,934	0,014126
84,66	2,633	0,010251
8,55	-1,151	0,002096
5,44	0,087	0,001472
214,840000	3,447000	0,041678

EPDM Baufolie
OSB Platte
Nutzholz
WD Mineralwolle
Dampfbremse
OSB Platte
Fireboard

D01 Dach geneigt

PEI[MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
89,240000	2,594000	0,010700
12,550000	-1,150000	0,002200
1,320000	-1,441000	0,000400
23,190000	1,935000	0,014100
90,000000	2,634000	0,010300
12,550000	-1,150000	0,002200
4,680000	0,080000	0,000700
233,530000	3,502000	0,040600

D02 Dach flach

PEI[MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
83,770000	2,594000	0,010693
8,550000	-1,151000	0,002096
2,510000	-1,499000	0,000944
21,36	1,934	0,014126
84,66	2,633	0,010251
8,55	-1,151	0,002096
5,44	0,087	0,001472
214,840000	3,447000	0,041678

EPDM Baufolie
OSB Platte
Nutzholz
WD Mineralwolle
Dampfbremse
OSB Platte
Fireboard

D02 Dach flach

PEI[MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
89,240000	2,594000	0,010700
12,550000	-1,150000	0,002200
1,320000	-1,441000	0,000400
23,190000	1,935000	0,014100
90,000000	2,634000	0,010300
12,550000	-1,150000	0,002200
4,680000	0,080000	0,000700
233,530000	3,502000	0,040600

Tabelle 2-11: Quelle Datensätze und Indikatoren für LCA

2.8. Modellierung und Modellergebnisse

Grundlage der Variantenstudie ist die Modellierung von drei Architekturmodellen, mit drei unterschiedlichen Softwaretools. Anhand der genau definierten Rahmenbedingungen für das Projekt BIM-ECO wird der durch die Systemgrenzen definierte Modellbereich in ArchiCAD, REVIT und Allplan konstruiert.

Wie bereits erwähnt, wurde für das Projekt BIM Eco ein Modellierstandard mit dem Level of Detail 300 festgelegt. Der Detaillierungsgrad im Modellierungsprozess ist somit auf den Standard eines Genehmigungsmodells ausgelegt.

2.8.1. Modellierung in ArchiCAD

Das Basismodell, das für die Variantenstudie zur Verfügung gestellt wurde, wurde mit ArchiCAD Version 21 modelliert. Somit konnte das ArchiCAD Modell (Abb. 21) mit wenigen Eingriffen auf die Systemgrenzen der Halle leicht adaptiert und reduziert werden. Über eine neu angelegte Layer-Struktur konnten die Elemente der Halle gefiltert und somit alle unerwünschten Modellinhalte ausgeblendet werden. Für die nördliche und südliche „neue“ Außenwand der Halle wurde ein neuer Layer angelegt, um jederzeit quasi den Bestand einblenden und von den neu modellierten Elementen differenzieren zu können.

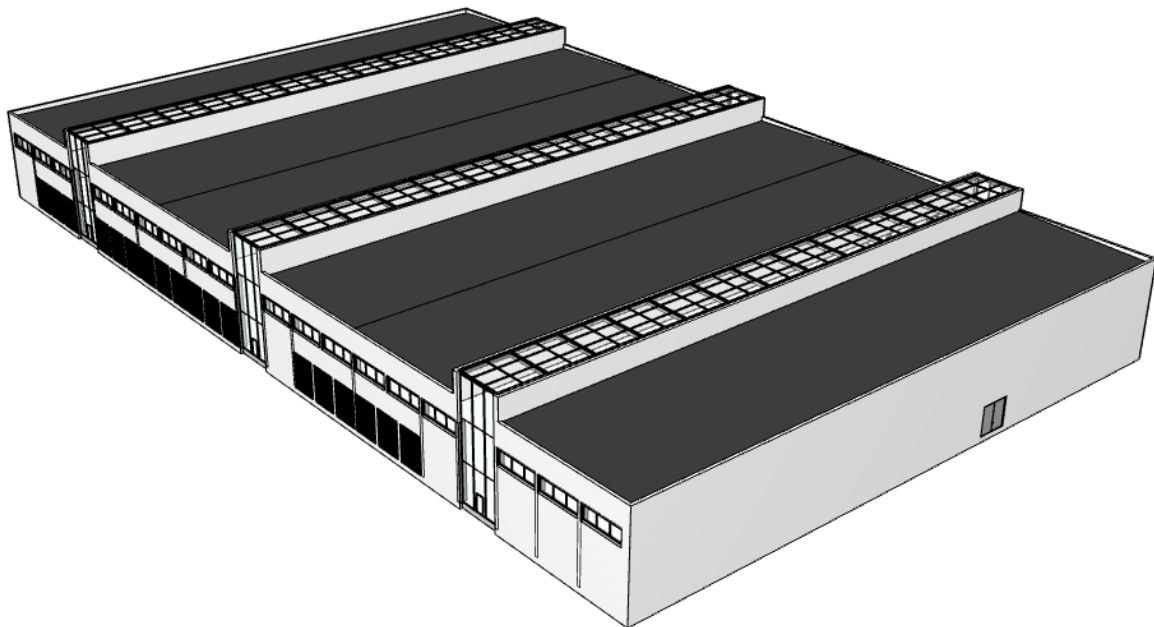


Abbildung 21: Modellergebnis ArchiCAD

2.8.2. Modellierung in REVIT

Um den Vorteil der IFC Schnittstelle zwischen ArchiCAD und REVIT zu nutzen, wurde das ArchiCAD Modell nach REVIT exportiert. Über diese Open BIM Lösung konnte einerseits der Austausch zwischen ArchiCAD und Revit getestet werden, und andererseits viel Zeit in der neuerlichen Modellierung der Halle erspart werden.

Das ArchiCAD Modell wurde als allgemeines IFC Modell exportiert, sodass es nach dem Import in REVIT noch bearbeitbar ist. Bei der Export Methode über BREP (Boundary Representation) wäre die Geometrie des Modells nicht mehr zu bearbeiten. Der Vorteil des allgemeinen IFC Exports liegt darin, dass die einzelnen Modellelemente als solche exportiert werden und im Nachhinein auch bearbeitbar sind. Darin birgt sich jedoch auch die Gefahr, dass einzelne Modellinformationen über den Export und Import verloren gehen können.

Der Verlust von Modellinformation zeigte sich nach dem Import in REVIT jedoch als äußerst gering. Lediglich sechs Außenwandelemente im Dachbereich mussten neu modelliert werden, da sie über den IFC Austausch nicht erfasst wurden beziehungsweise verloren gingen. Die Abb. 22 zeigt die beschriebene Vorgehensweise.

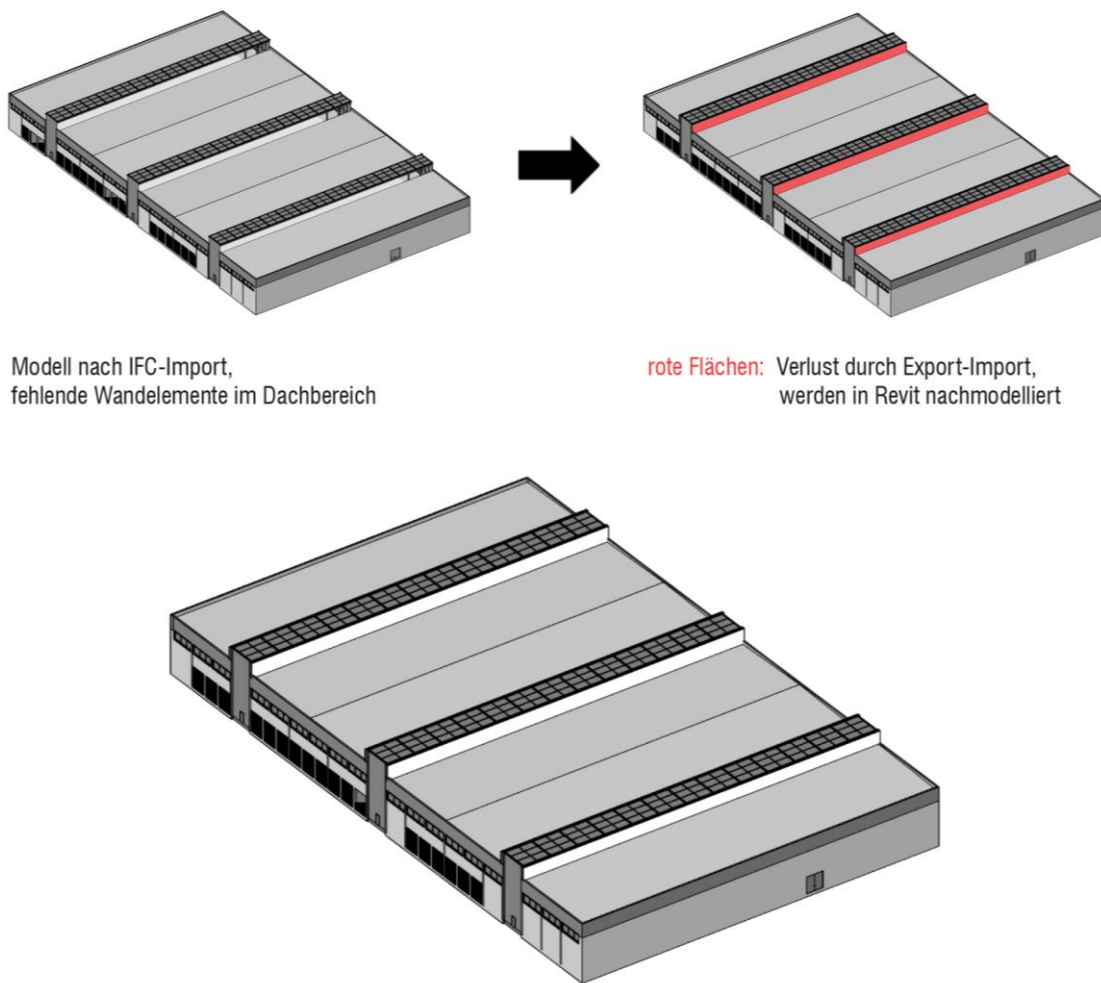


Abbildung 22: Modellierung und Modellergebnis REVIT

2.8.3. Modellierung in Allplan

Da der IFC Import in Allplan nicht die erwünschten Modellergebnisse lieferte, wurde das 3D Modell der Halle in Allplan zur Gänze rekonstruiert. Für die Modellierung in Allplan wurden DWG Daten und PDF-Pläne des Ausgangsprojekts zur Verfügung gestellt. So konnte mit Hilfe der CAD Unterlagen das 3D Modell exakt nachgebaut werden. Siehe dazu Abb. 23 mit dem Modellergebnis für Allplan.

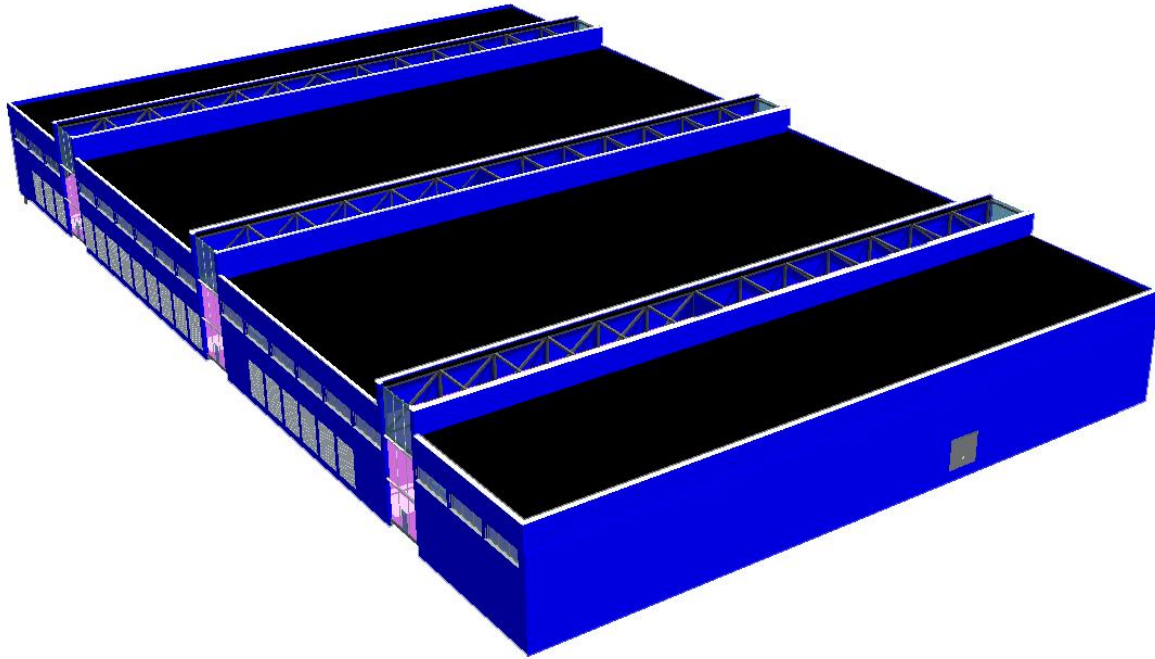


Abbildung 23: Modellergebnis Allplan

2.9. Vorgehensweise in der Optimierung

In der Optimierung für die Verfahren EPC und LCA werden zum einen die Workflows optimiert, zum anderen die Berechnungsergebnisse, um die Gebäudeperformance zu steigern. Die Auswirkung auf die Optimierung der Gebäudeperformance wird in zwei Varianten (Abb. 24) gegenübergestellt. In der Variante OPTI 1 werden Produktverbesserungen der einzelnen Bauteilschichten der thermischen Außenhülle vorgenommen. So werden die Bauteilschichten mit Produkten ausgetauscht, die verbesserte Lambdawerte besitzen. Somit wird wiederum der Gesamt U-Wert der Bauteilkonstruktion optimiert. Bei dieser Variante werden jedoch noch keine Bauteiländerungen vorgenommen, die den Gesamtaufbau beeinflussen.

In einer weiteren Variante OPTI 2 wird eine Optimierung durch Bauteiländerungen vorgesehen. Es können so die direkten Auswirkungen auf den Energieausweis oder die Ökobilanz verfolgt werden, die durch Änderung eines gesamten Bauteils samt Schichtaufbau und Konstruktion bewirkt werden.

2.9.1. Variantenvergleich in der Ergebnisoptimierung – Variante OPTI 1 und OPTI 2

Die untenstehende Grafik (Abb. 24) zeigt die Vorgehensweise in der Optimierung der Gebäudeperformance mit den Varianten OPTI 1 und OPTI 2.

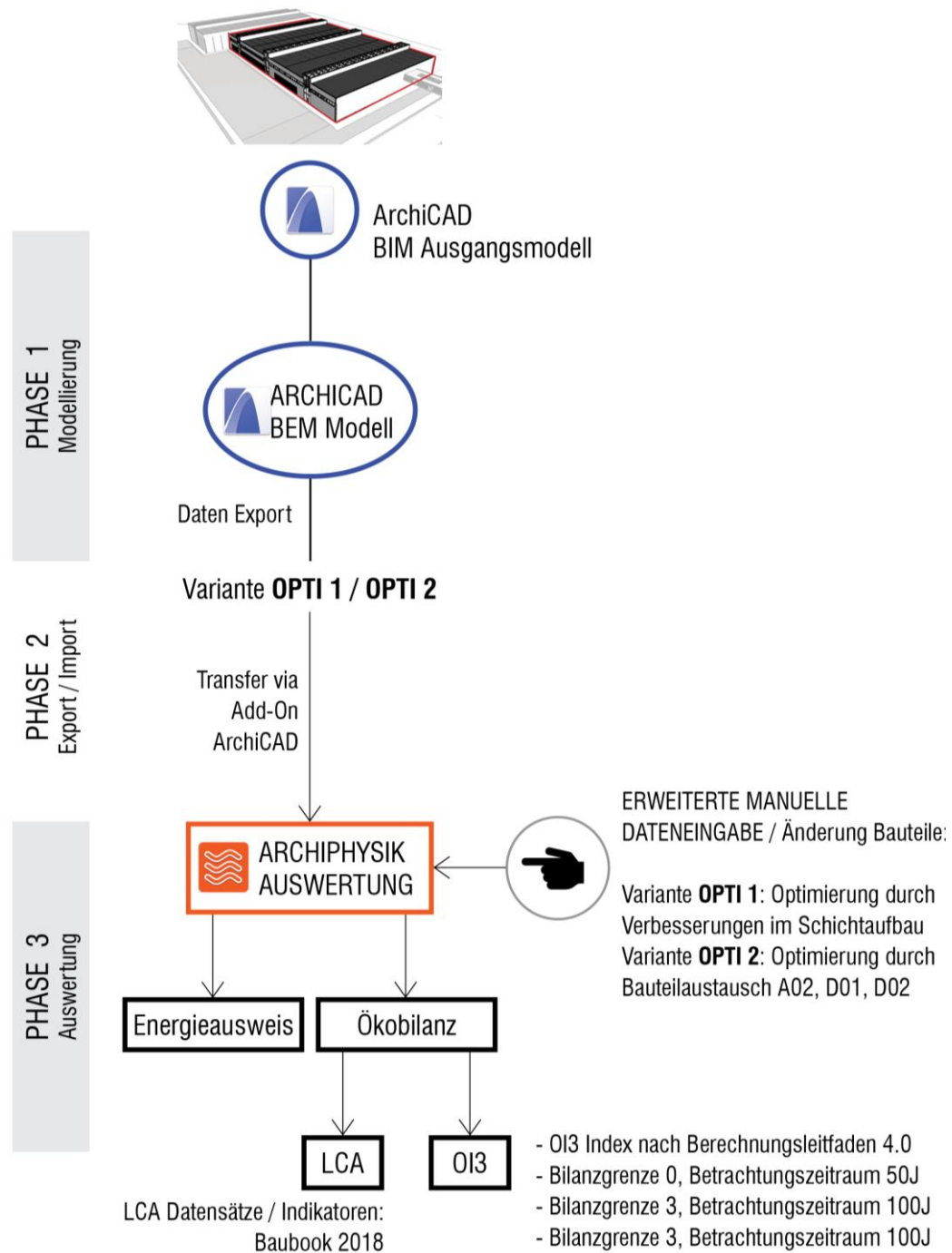
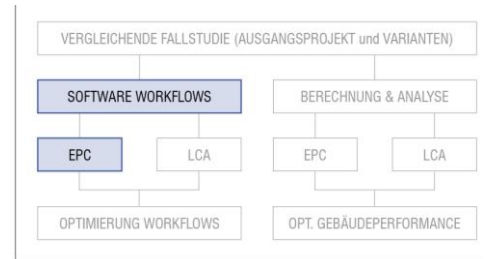


Abbildung 24: Allgemeines Flussdiagramm Optimierung Variante OPTI 1 und OPTI 2

3. SOFTWARE WORKFLOWS – VERGLEICHENDE STUDIE

Wie im vorangegangenen Kapitel eingeleitet, beruht die Vergleichende Studie zur Energieausweisberechnung und der Ökobilanzierung auf einer Variantenstudie. Dadurch kommen drei unterschiedliche BIM basierte Workflows für die Energieausweis- und Ökobilanzerstellung zum Einsatz.



Die Software Workflows durchlaufen die Prozessphasen der Modellierung, Übergabe der Modelldaten und Dateneingabe in die Auswertungssoftware sowie letztendlich die Berechnung und Auswertung.

3.1. BIM basierte Workflows für die Energieausweisberechnung (EPC)

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Workflows für die in der Methodik erwähnten Varianten sowohl textlich als auch in Form von Flussdiagrammen beschrieben. Den angeführten Variantenvergleichen für EPC liegt ein Ausgangsprojekt zu Grunde, dessen Workflow im Folgenden näher beschrieben wird. In der nachfolgenden Grafik (Abb. 25) ist eine Übersicht der BIM Workflow Varianten für EPC zu sehen.

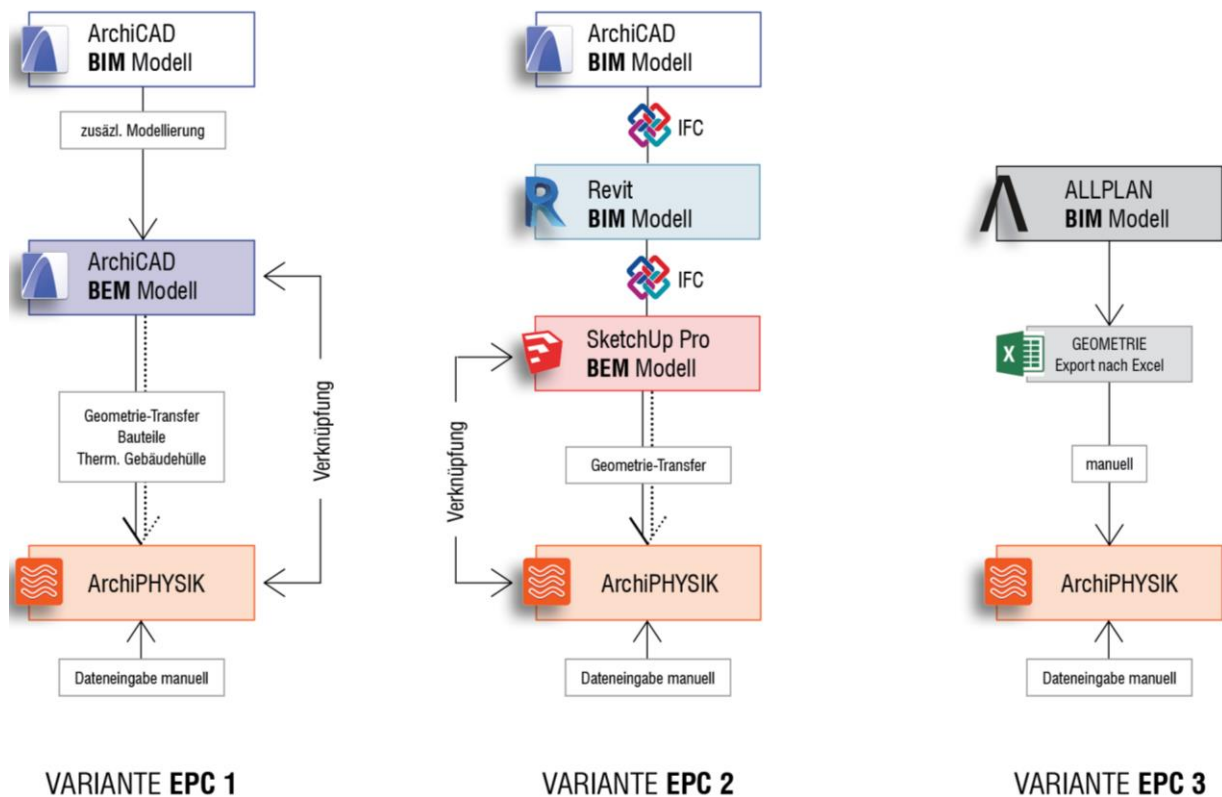


Abbildung 25: Übersicht BIM Workflows EPC Varianten

3.1.1. EPC Ausgangsprojekt – Workflow

Anhand des übermittelten BIM Modells für das Projekt BIM ECO wird mit dem Ausgangsprojekt der Status Quo gebildet. In dem Ausgangsprojekt erfolgt noch kein Gebäudemodellexport aus der BIM Software zu ArchiPHYSIK. Für die benötigte Geometrieermittlung zur Energieausweisberechnung werden die benötigten Daten aus dem BIM beziehungsweise BEM Modell auf herkömmliche Weise mittels MS Excel Listen exportiert. Die Geometriedaten werden danach manuell in der Auswertungssoftware, ArchiPHYSIK eingetragen. Die Energieausweisberechnung wird somit mehr oder weniger auf manuelle Art und Weise durchgeführt, ohne semi-automatisierter Daten-Export Prozesse.

Das Ausgangsprojekt bildet auf Grund der manuellen Vorgehensweise eine gute Überprüfbarkeit für die weiteren semi-automatisierten BIM-basierten Workflowvarianten. Durch das Ausgangsprojekt können zudem die weiteren Workflows samt Ergebnissen verifiziert werden.

WORKFLOW EPC AUSGANGSPROJEKT

Die nachstehende Grafik (Abb. 26) zeigt den Workflow für das EPC Verfahren des Ausgangsprojektes.

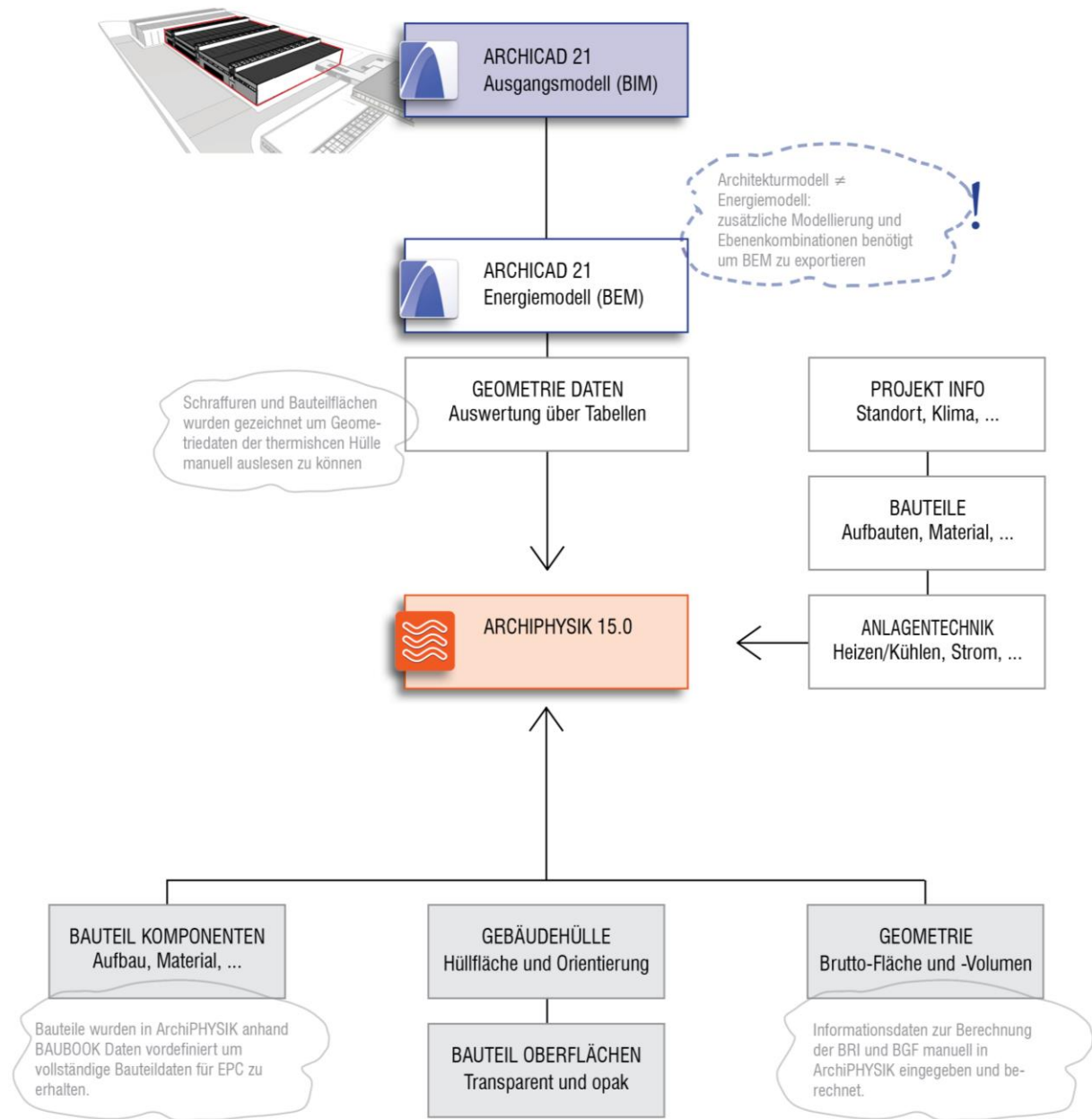


Abbildung 26: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für EPC Ausgangsprojekt

3.1.2. Variante EPC 1 – Workflow mit ArchiCAD und ArchiPHYSIK

Als Projektgrundlage liegt ein dreidimensionales Architekturmodell erstellt mit ArchiCAD (Version 21) von Graphisoft vor. Dieses Architekturmodell wurde umfangreich mit einem LoD 3 erstellt und besitzt somit einen hohen Informationsgehalt. Ehe der Exportvorgang gestartet werden kann, muss das Building Information Model daher zu einem Building Energy Model angepasst werden. Denn für die bauphysikalische Energieausweisberechnung ist ein reduzierter Informationsgehalt, der hauptsächlich die thermische Gebäudehülle umfasst ausreichend.

Im Modellierungsprozess empfiehlt es sich daher bereits von Beginn an mit geeigneten Ebenenkombinationen zu arbeiten, die das Umschalten von einem Architektur- auf ein Bauphysikmodell ermöglichen. Infolge werden sämtliche Elemente, die nicht Teil der thermisch relevanten Außenhülle sind, ausgeblendet. Dies betrifft vor allem Bauteilelemente wie innenliegende Zwischenwände und Stützen, Träger und Unterzüge, Treppen- und Geländer-Elemente sowie sämtliche Einrichtungsgegenstände. Vor allem gesetzte Raumstempel sind für den ArchiPHYSIK Export Assistent in ArchiCAD auszublenden. Über den Export Assistent werden neue Raumstempel gesetzt, die mittels einer Redline Operation alle relevanten Bauteile erfassen, die den Raumstempel umschließen.

Über voreingestellte Ebenenkombinationen können Elemente gefiltert und unsichtbar gemacht werden. Dies setzt jedoch eine gewisse Disziplin im Modellierungsprozess voraus. Jedes Element muss einem entsprechenden Layer zugewiesen sein, um nachträgliches Ändern der Elementlayer oder gar das Ausblenden von relevanten Elementen zu vermeiden.

Nur über die Layerstruktur und mit dem Ausblenden von Elementen allein zu arbeiten wird in den meisten Fällen nicht ausreichend sein, um ein reduziertes BEM zu erhalten. Gewisse Elemente oder Teile von Elementen können nicht zur Gänze ausgeblendet werden, da sie begrenzt Teil der Hüllfläche sind. Ein Ausblenden würde daher bedeuten, dass das relevante Element zur Gänze nicht mehr sichtbar ist, oder ein Teil davon sichtbar bleibt, der nicht für die thermische Hüllfläche relevant ist. Als Beispiel sind Dachvorsprünge oder Attikaelemente zu nennen, wie beispielhaft in Abb. 27 dargestellt wird. Ein Attikaelement das als Verlängerung der Außenwand modelliert wird, ist bis zum Verschnitt mit der Dachoberkante Teil der thermischen Hüllfläche. Der restliche Teil über der Dachaußenkante ist jedoch für das Building Energy Model nicht relevant. Ebenso Dachelemente, die nur bis zum Verschnitt mit der äußersten Ebene der thermisch wirksamen Außenwand von Relevanz sind. Sämtliche Dachvorsprünge sind nicht mehr Teil der bauphysikalischen Hüllfläche und nur im Bereich von Außenfenster auf Grund ihrer Verschattung zu berücksichtigen.

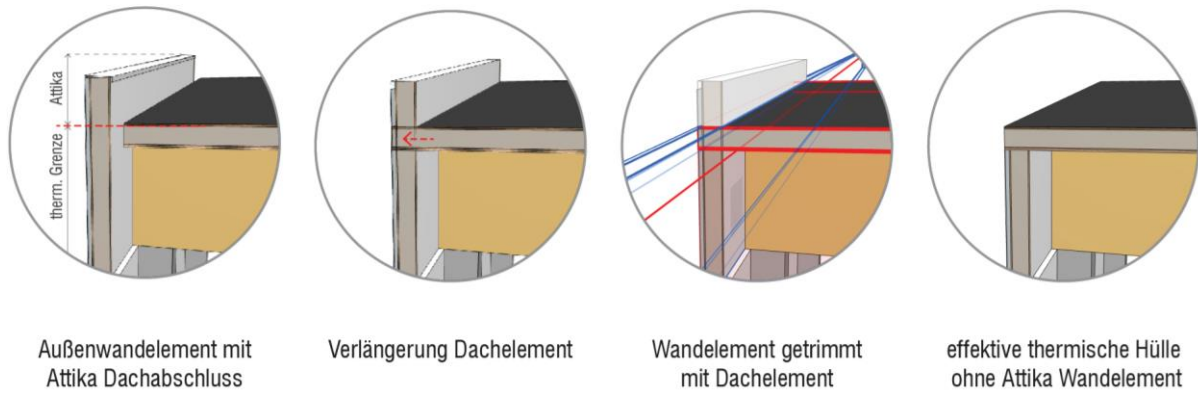


Abbildung 27: Modellierhinweis ArchiCAD

Exportiert wird jedoch ein reines Building Energy Model der thermischen Hüllfläche, worauf gewisse Nachmodellierungsarbeiten in diesem Workflow erforderlich sind. Teile der Außenwände die sich als Attikaelemente fortsetzen werden im Bereich des Dachabschlusses mit der Dachoberkante getrimmt. Da der Exportassistent die Geometrie der thermischen Hüllfläche anhand aller relevanten Außenwandelemente ermittelt, würden anderenfalls überflüssige und inkorrekte Flächenanteile von den Außenwänden berechnet.

Zuvor werden die zu bearbeitenden Objektelemente, wie Außenwand und Dach, dupliziert und auf einen eigenen Bauphysik Layer gegeben, ehe sie angepasst werden. So wird über die Anpassung in der Ebenenkombination ein Umschalten von Architektur auf Bauphysikmodell ermöglicht. Dies hat zum Vorteil, dass jederzeit wieder auf das Architekturmodell zugegriffen werden kann, ohne die Änderungen vom Bauphysikmodell verwerfen oder umkehren zu müssen.

Sind alle Anpassungen erfolgt, zeigt das Resultat ein reduziertes Building Energy Model (Abb. 28) bestehend rein aus der Außenhülle.

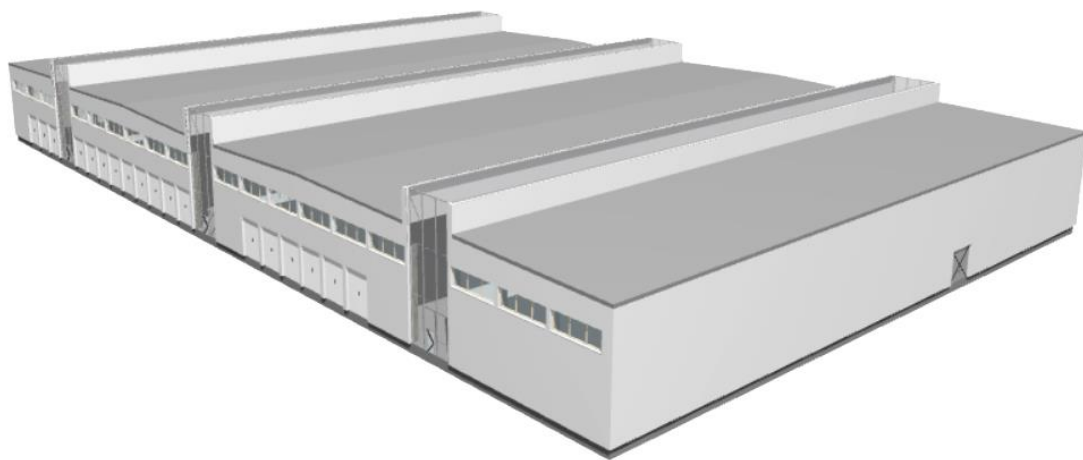


Abbildung 28: Building Energy Model ArchiCAD

Der zweite Schritt im ArchiCAD Workflow setzt nach der Modellierung mit dem Export des Modells fort. Über den Export Assistent für ArchiPHYSIK (Plugin für ArchiCAD) wird das thermische Modell nun exportiert. Man wechselt dazu in das 3D Fenster von ArchiCAD und aktiviert den ArchiPHYSIK Export Assistenten. Dieser führt durch sieben Schritte, wodurch das thermische Modell anhand von gesetzten Raumstempeln, Volumen, Aufbauten und Bauteilen für den Export erneut definiert wird (die genaue Vorgehensweise wurde im vorangegangenen Unterkapitel *EPC mit ArchiPHYSIK* erläutert).

Damit der Export-Assistent einwandfrei funktionieren kann, wird ein exaktes und lückenloses Modellieren vorausgesetzt. Sind beispielsweise Wände nicht genau miteinander verschnitten, können die ArchiPHYSIK Raumstempel für die Redline Operation nicht ordnungsgemäß gesetzt werden. Dies kann zu Abstürzen der Software bzw. des Plugins oder zu Fehlermeldungen beim anschließenden Import führen.

Schließt man den Export in ArchiCAD ab, erhält man eine aps. Datei, die für den Import von CAD Daten in ArchiPHYSIK vorausgesetzt wird.

Der Workflow Prozess setzt sich in ArchiPHYSIK mit dem Anlegen eines neuen Projekts fort. Wurde ein Projekt angelegt, beginnt man nun in einem ersten Schritt mit der manuellen Dateneingabe aller relevanten Projektdaten. Diese umfassen statistische Eckdaten wie Anzahl der Geschosse oder Nutzfläche, Objektdaten wie Angabe zur Gebäudeart oder die geographische Lage, und zudem Informationen über Planer, Auftraggeber und Eigentümer.

Ehe der Import über die CAD Schnittstelle vorgenommen wird, werden unter dem Menüpunkt „*Bauteile*“ weitere manuelle Eingaben getätigt. Anhand eines Aufbautenkatalogs werden nun in einem zweiten Schritt sämtliche Bauteile der Außenhülle in ArchiPHYSIK angelegt. Über den CAD Import können zwar von ArchiCAD erstellte Bauteile samt Schichtaufbau direkt übernommen werden, würden jedoch teilweise unvollständige Daten im Aufbau enthalten. Zudem sind komplexe Aufbauten wie hinterlüftete Bauteilaufbauten mit Unterkonstruktionen der Vollständigkeit halber neu anzulegen.

Über den integrierten Datenassistent in ArchiPHYSIK können Bauteile schnell und einfach angelegt werden. Hierbei kann man auf teils vorgefertigte Bauteile zugreifen, beziehungsweise einzelne Bauteilkomponenten direkt von Herstellerkatalogen beziehen. Ein umfangreicher Datenkatalog mit einer Vielzahl an aktuellen Herstellerprodukten wird hier in ArchiPHYSIK zur Verfügung gestellt.

Wurden alle Bauteile wie Außenwände, Dach und Boden, Außenfenster und -türen angelegt können diese nun mit den importierten CAD Daten verknüpft werden. Für den CAD Import wechselt man zurück in den Menüpunkt „*Projekt*“, wo über die Schaltfläche „*CAD Verbindung*“ die von ArchiCAD exportierte aps. Datei eingelesen werden kann.

Nun werden sämtliche Bauteile aufgelistet, die von ArchiCAD exportiert wurden. Über die Import Option „*Fenster gleicher Größe zusammenfassen*“ können alle Fenster mit demselben Format zusammengefasst

werden, und scheinen somit nur als ein Bauteil auf. In der Auflistung sind alle Bauteile automatisch nach transparenten Bauteilen wie Fenster und Tür, sowie nach opaken Bauteilen wie Wand, Decke und Boden gegliedert.

Hier kann allerdings ein erster Konflikt zwischen ArchiCAD Elementen und ArchiPHYSIK Bauteilen auftreten. Eine Wand die in ArchiCAD beispielsweise als Glaswand transparent modelliert wurde, wird in ArchiPHYSIK automatisch als Wand erkannt. Da Wände in ArchiPHYSIK automatisch als opaker Bauteil definiert sind, wird auch diese Glaswand als opak angelegt, da nur Fenster und Tür Elemente in ArchiPHYSIK transparente Eigenschaften besitzen können.

Die aufgelisteten Bauteile können anschließend über die Bauteilzuordnung entweder als neuer Bauteil angelegt, oder mit vorhandenen Bauteilen verknüpft werden. Da im vorangegangenen Workflow Schritt die ArchiPHYSIK Bauteile bereits erstellt wurden, können die CAD Bauteile nun einfach mit diesen verknüpft werden. Durch die Verknüpfung werden den vordefinierten Bauteilen in ArchiPHYSIK die Geometrie der CAD Bauteile zugewiesen. Eine voreingestellte Außenwand übernimmt beispielsweise die Gesamtläche aller Außenwandelemente, die vom Building Energy Model importiert und dieser zugewiesen werden.

In einem weiteren Schritt wird in den Menüpunkt „Gebäude“ übergewechselt, wo unter dem Menüreiter „Grundfläche und Volumen“ weitere Geometriedaten aus dem Building Energy Model importiert werden. Über die ArchiPHYSIK Raumstempel, die während des Export Vorgangs in ArchiCAD gesetzt werden, werden nun Grundflächen und Raumhöhen überliefert. Hierbei können noch manuelle Änderungen beispielsweise bei der Geschossbezeichnung oder bei der Raumgeometrie vorgenommen werden. Über Formeleingaben wird das Gebäudevolumen automatisiert berechnet.

Weiters werden im gleichen Menüpunkt unter „Gebäudehülle“ die Hüllfläche überprüft und gegebenenfalls manuelle Korrekturen vorgenommen.

Abschließend werden in einem letzten Schritt unter dem Menüpunkt „Anlagen“ sämtliche Einstellungen der Anlagentechnik durchgeführt. Haustechnische Angaben zu Raumheizung, Warmwasser, Raumlufttechnik, Beleuchtung, Photovoltaik und Strombedarf werden aus dem Gebäude-Steckbrief manuell eingetragen.

Der Dateneingabeprozess ist im Workflow somit beendet, worauf im abschließenden Prozess die Auswertung aller Daten für die Energieausweisberechnung in ArchiPHYSIK erfolgen kann.

Die Ergebnisauswertung erfolgt in ArchiPHYSIK über die Menüreiter „Energieausweis“ und „Formulare“. Eine Übersicht der zu erwartenden Ergebnisse wird im Bereich „Energieausweis“ geboten. Hier wird der Gesamtenergieausweis in der genormten Skala von A⁺⁺ bis G dargestellt. Darüber hinaus sind alle Energiekennzahlwerte und die Erfüllung oder nicht Erfüllung deren Anforderungen ersichtlich. Über die Funktion „Energieausweis aus dem Vergleichsprojekt“ kann der Energieausweis mit den Werten aus einem anderen Projekt verglichen werden und so eine Gegenüberstellung liefern.

Der letzte Menüpunkt „Formulare“ ermöglicht die Zusammenstellung eines Dokuments mit projektspezifischen Auswertungsfeldern. Mit dem Datenassistent können Formulare für ein Energieausweisdokument angelegt und so als PDF exportiert werden. Zudem ist eine online Einreichung des Energieausweises direkt von ArchiPHYSIK aus möglich.

Der Workflow für die Variante EPC 1 wird wie folgt graphisch dargestellt (Abb. 29)

WORKFLOW EPC **VARIANTE EPC 1**

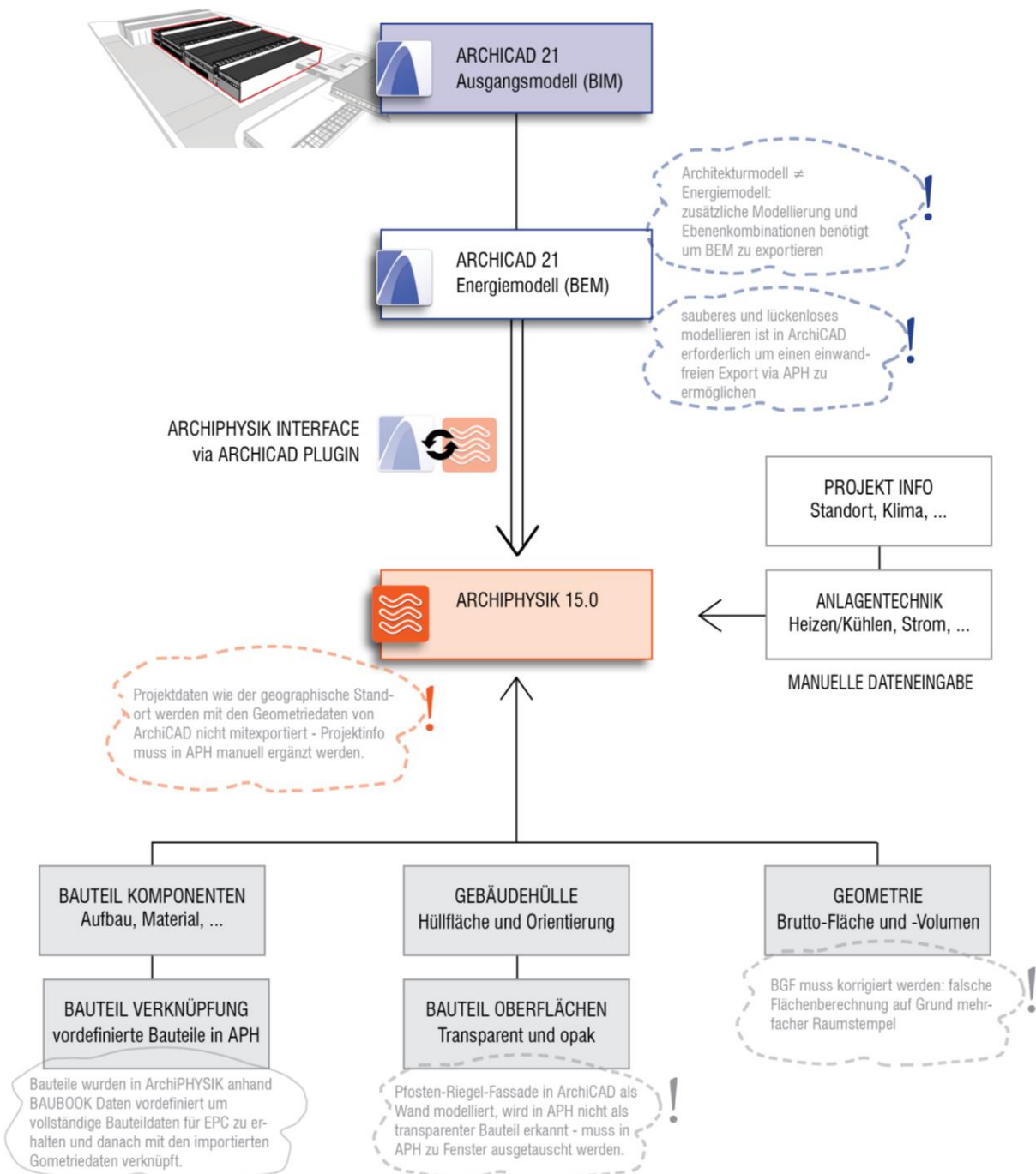


Abbildung 29: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für Variante EPC 1

3.1.3. Variante EPC 2 – Workflow mit Revit und ArchiPHYSIK

Über den allgemeinen IFC Austausch von ArchiCAD zu Autodesk REVIT (2019) konnte das Ausgangsmodell direkt von ArchiCAD zu REVIT transportiert werden. Der Modellierungsprozess für diese Variante beschränkt sich daher in REVIT auf ein Minimum. Lediglich ein paar fehlende Objektkomponenten, die während des Exports und Imports des Building Information Model verloren gingen, müssen für die vollständige Herstellung des 3D Architekturmodells in REVIT ergänzt werden (siehe Abb. 30).

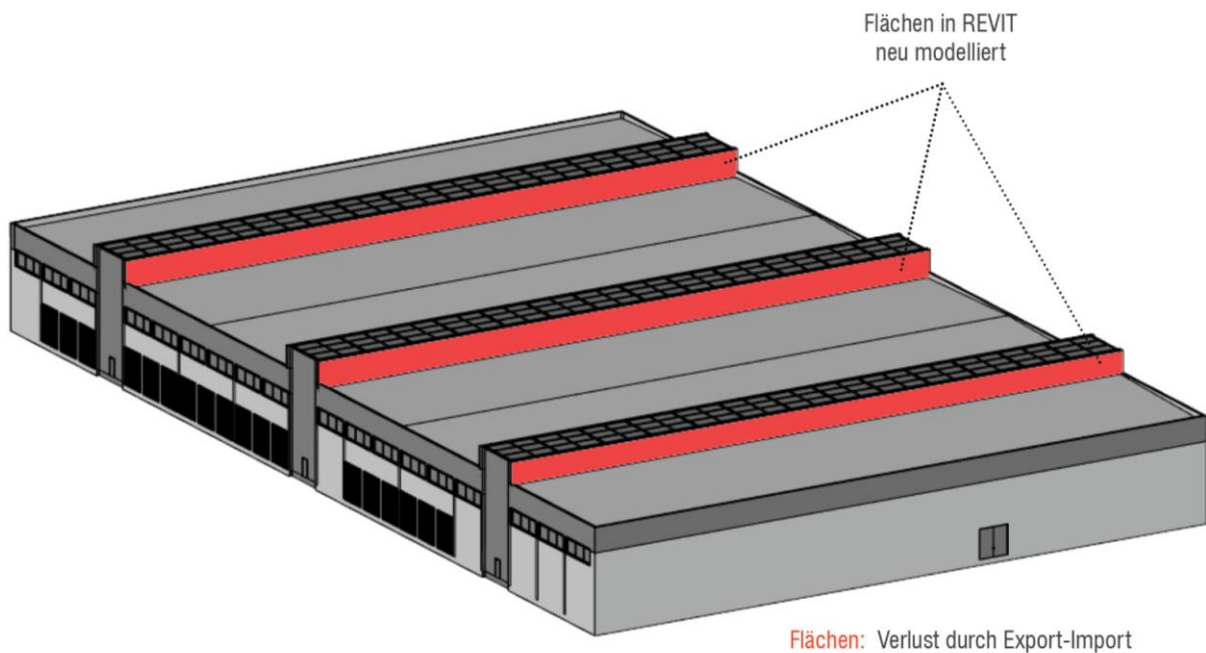


Abbildung 30: BIM Modell in Revit mit Nachmodellierung

Anders als in ArchiCAD verfügt REVIT über keine direkte Schnittstelle für ArchiPHYSIK. Dies hat für den Workflowprozess mit REVIT zur Folge, dass für den Export nach ArchiPHYSIK nur Geometrieinformationen relevant sind. Informationen über bauphysikalische Daten wie Schichtaufbau der Bauteilelemente können von REVIT nicht zu ArchiPHYSIK transportiert werden.

Um die Geometriedaten des Building Information Model von REVIT nach ArchiPHYSIK zu bekommen, wird die SketchUP Schnittstelle gewählt, die neben der ArchiCAD Schnittstelle als zweite CAD Verbindung in ArchiPHYSIK verfügbar ist.

Über das IFC Interface SimLab ist es in SketchUP 2017 möglich, IFC Modelle zu importieren. Eine von REVIT exportierte IFC Datei des Architektur Modells kann so im SketchUP Modellbereich bearbeitet werden (Abb. 31).

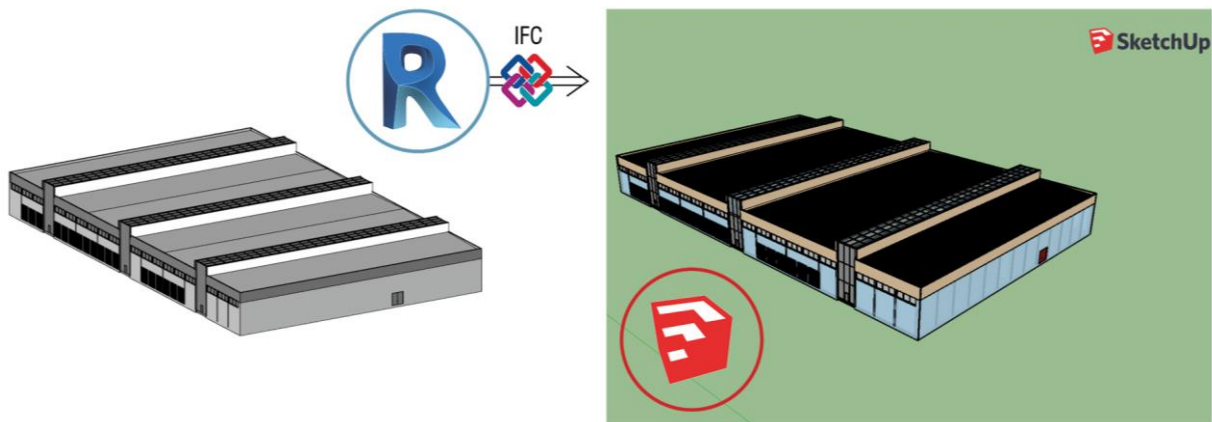


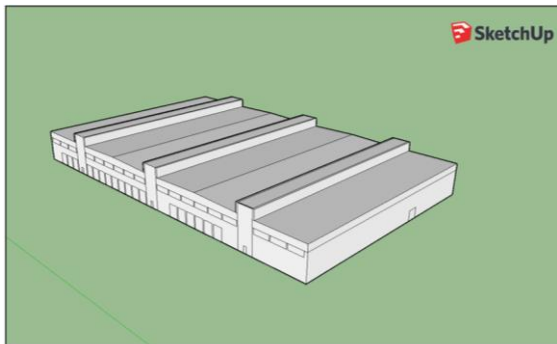
Abbildung 31: BIM Modell Transfer von Revit nach SketchUp

In SketchUP steht das Add-on für ArchiPHYSIK als Erweiterung zur Verfügung. Doch ehe die Modelldaten aus SketchUP exportiert werden können, werden an Hand des Architekturmodells Anpassungen vorgenommen. Die Vorgehensweise im Workflowprozess sieht nun das Aufbereiten des Building Energy Model in SketchUP vor, mit dem Ziel alle relevanten Geometrieinformationen der thermischen Gebäudehülle zu definieren.

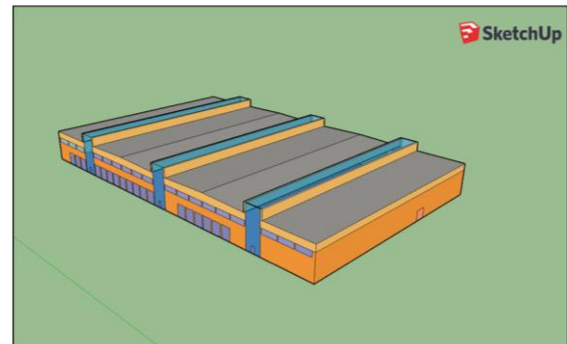
Dazu werden in erster Linie neue Layer aller Bauteile der Gebäudehülle angelegt. In weiterer Folge wird die Gebäudehülle elementweise mit den richtig zugeordneten Layern rekonstruiert. Das IFC Modell kann für diesen Vorgang als „Schablone“ verwendet werden. Dies erleichtert den Konstruktionsprozess der Außenhülle, da die Außenkonturen des vorhandenen 3D Modells einfach nachgezeichnet werden können. Beim Konstruktionsprozess des Building Energy Model ist zu berücksichtigen, dass nur jene Bauteilflächen nachgezeichnet werden, die für das thermische Modell von Relevanz sind. So werden beispielsweise Teile der Attika im Außenbereich nicht gezeichnet.

Wurde die Außenhüllfläche des BEM erfolgreich modelliert, kann das IFC Architekturmodell ausgeblendet werden. So erhält man in SketchUp ein Weißmodell, das für den Export als Energiemodell aufbereitet werden

kann. In weiteren Schritten soll nun die Geometrie des Modells mit Bauteilinformationen verknüpft werden, um die Hüllfläche des thermischen Modells für den ArchiPHYSIK Export zu definieren (vgl. Abb. 32).



BEM rekonstruiert in SketchUP



Bauteildefinition durch Materialien und Farben in SketchUP

Abbildung 32: Rekonstruktion BEM in SketchUp

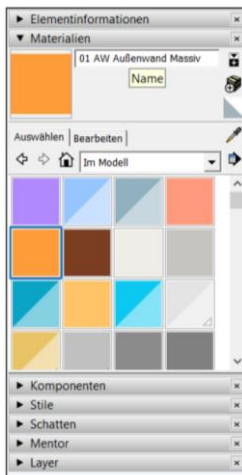


Abbildung 33: Materialkatalog in SketchUp

Um die einzelnen Bauteile der Hüllfläche zu definieren, wird für jeden Bauteiltyp ein neues Material mit einer entsprechenden Farbe angelegt. Die Materialien und Farben ermöglichen eine Zuordnung der Modellelemente zu einer jeweiligen Bauteilgruppe (Abb. 33).

Mit dem Farbeimer können in SketchUP so nun alle Bauteile mit den entsprechenden Farben gekennzeichnet werden. In der Materialbibliothek können auch transparente Materialien, durch Änderung der Deckkraft angelegt werden. Dadurch können beispielsweise Fenster und transparente Fassaden markiert werden. Elemente mit 100 % Deckkraft werden als opak dargestellt.

Sind die Bauteile der Hüllfläche definiert, wird die Bruttogeschossfläche gekennzeichnet. Dies erfolgt indem man den Bauteil Boden gegen Erdreich auf der Innenseite mit einem entsprechenden Material färbt. Der zweifarbige Bauteil liefert somit Geometrieinformation über die Bauteil- sowie Bruttogeschossfläche. Abschließend wird die Nordrichtung im Projekt festgelegt, ehe der Exportassistent geöffnet wird.

Der Export Assistent (Abb. 34) zeigt eine Übersicht aller Bauteile des Thermischen Modells und deren Flächenanteile an. Durch beenden des Vorgangs wird diese Information als aps. Datei für den Import in ArchiPHYSIK exportiert.

Anz.	Bauteilfarbe	Fläche
6	01 DA Dach flach	326,81
6	01 DA Dach geneigt	8.401,46
1	01 Boden gg Erdreich	10.052,22
1	00 Bruttogeschossfläche	10.052,22
16	01 AW Außenwand Massiv	2.750,63
28	02 AW Außenwand Leichtbau	2.482,40
1	00 Tür Opak	13,32
74	<auto>23	685,44
28	00 Fenster	1.855,37
10	01 Pfostenriegelfassade vertikal	475,73
43	00 Tore	580,80
3	02 Pfostenriegelfassade horizontal	1.326,19

Optionen: Selbstverschattung Fremdverschattung

Abbildung 34: Export Assistent in SketchUp mit Geometriedaten des thermischen Modells

Mit der .aps. Datei aus dem Building Energy Model von Sketch-UP können die Geometriedaten in ArchiPHYSIK für die Energieausweiserstellung eingelesen werden. Die CAD-Daten werden analog des zuvor beschriebenen Workflowprozess (siehe Workflow für EPC mit ArchiPHYSIK – Variante EPC 1) für die CAD Verknüpfung in ArchiPHYSIK mit angelegten Bauteilen verknüpft. Bei der CAD Datenübertragung über die SketchUp Schnittstelle ist eine Verknüpfung der importierten Bauteile mit ArchiPHYSIK Bauteilen zwingend, um bauphysikalische Informationen zu erhalten. Andernfalls würden Bauteile aus SketchUp nur mit deren Geometrieinformation und ohne Schichtaufbau angelegt.

Die weitere Vorgehensweise im Workflow zur Dateneingabe und Auswertung in ArchiPHYSIK entspricht denselben Schritten, die im vorangegangenen Unterkapitel für die Energieausweiserstellung mit ArchiCAD und ArchiPHYSIK beschrieben wurden.

WORKFLOW EPC **VARIANTE EPC 2**

Der Workflow für die Variante EPC 2 wird wie folgt graphisch dargestellt (Abb. 35)

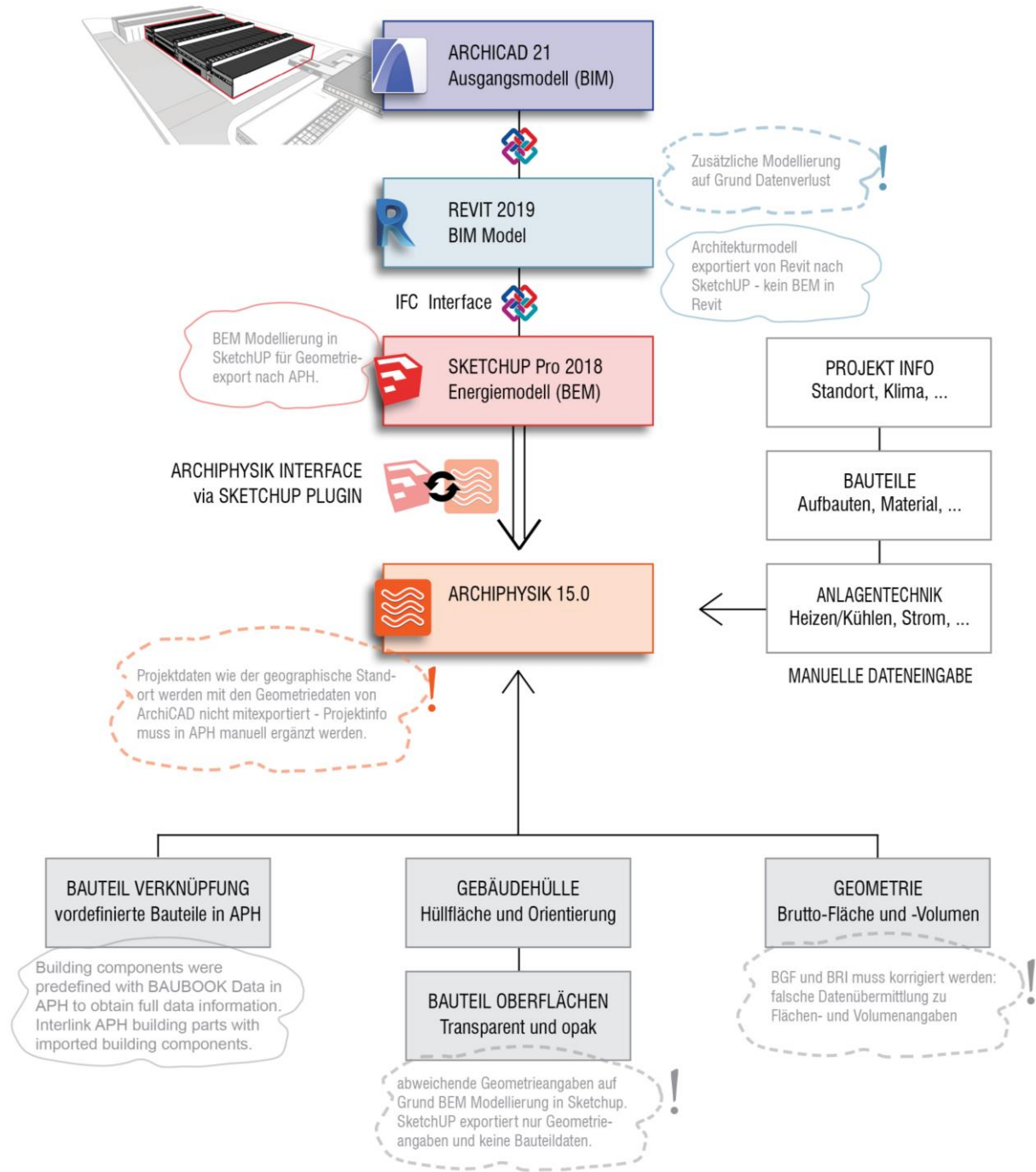


Abbildung 35: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für Variante EPC 2

3.1.4. Variante EPC 3 – Workflow mit Allplan und ArchiPHYSIK

Als dritte und letzte Variante in der Studie für BIM zu EPC wurde das Softwareprogramm Nemetschek Allplan (2018) in der Modellierungsphase gewählt. Da es zum derzeitigen Stand der Forschung für ArchiPHYSIK nur zwei CAD-Schnittstellen gibt, wurde in diesem Workflow auf eine Schnittstellenübertragung von CAD Daten verzichtet.

Grund hierfür ist die fehlende Allplan Schnittstelle in ArchiPHYSIK, gleich wie für REVIT. Diese könnte ebenso durch die Sketch-UP Schnittstelle kompensiert werden, würde jedoch dieselben Ergebnisse, wie im zuvor beschriebenen Workflow mit REVIT liefern, da die Geometrienergebnisse von der Modellierung in SketchUP abhängig sind. Ein Umweg von Allplan über ArchiCAD und die Verwendung der ArchiCAD Schnittstelle würde ebenso keine neuen Erkenntnisse liefern, da das Modell in ArchiCAD neu modelliert werden müsste.

	A	B	C	D
1		ALLPLAN	Fläche [m ²]	Volumen [m ³]
2				
3		RAUMSTEMPEL		
4	000	Brutto Geschossfläche Halle	10052,22	119212,69
5				
6		BAUTEIL AUFBAUTEN		
7	B01	Boden (gegen Erdreich)	10017,14	
8				
9	A01	Aussenwand massiv bis 9,0m		
10		Nord	709,38	
11		Süd	709,38	
12		Ost	993,60	
13		West	993,60	
14	A02	Aussenwand leicht ab 9,0m		
15		Nord	953,55	
16		Süd	953,55	
17		Ost	285,70	
18		West	285,70	
19				
20	F01	Pfostenriegelfassade vertikal		
21		Ost	240,00	
22		West	240,00	
23	F02	Pfostenriegelfassade horizontal	1335,68	
24				
25	D01	Dach geneigt	8399,70	
26	D02	Dach Flach	317,91	
27				
28		Summe Bauteilhülle:	26434,89	

Abbildung 36: Ausgelesene Geometriedaten in Excel

Somit wird mit dem Workflow für Allplan eine neue Variante durchgeführt, die ohne CAD Verbindung in ArchiPHYSIK auskommt. Nachdem das Architekturmodell in Allplan modelliert wurde, werden die Geometrieinformationen für die Energieausweisberechnung direkt aus Allplan in eine Microsoft Excel Tabelle ausgelesen (Abb. 36).

Die Dateneingabe in ArchiPHYSIK erfolgt daraufhin zur Gänze manuell. Der automatisierte Prozess beschränkt sich in diesem Workflow allein auf die Gewinnung der Geometriedaten.

Die manuelle Dateneingabe und Auswertung in ArchiPHYSIK erfolgt wie in den zuvor beschriebenen Workflows. Da in diesem Workflow auf keine CAD Daten zugegriffen werden kann, müssen alle Bauteile in ArchiPHYSIK gezwungenermaßen vordefiniert und neu angelegt werden. Im Menüpunkt „Gebäude“ wird die Gebäudegeometrie mittels Formeleingabe berechnet. Die Gebäudehülle samt Ausrichtung und Abzugsflächen wie Fenster und Türen wird ebenso manuell durch Formeleingaben erstellt und von ArchiPHYSIK automatisiert berechnet. Alle manuellen Eingaben werden von der Software für die Auswertung berücksichtigt.

WORKFLOW EPC **VARIANTE EPC 3**

Der Workflow für die Variante EPC 3 wird wie folgt graphisch dargestellt (Abb. 37)

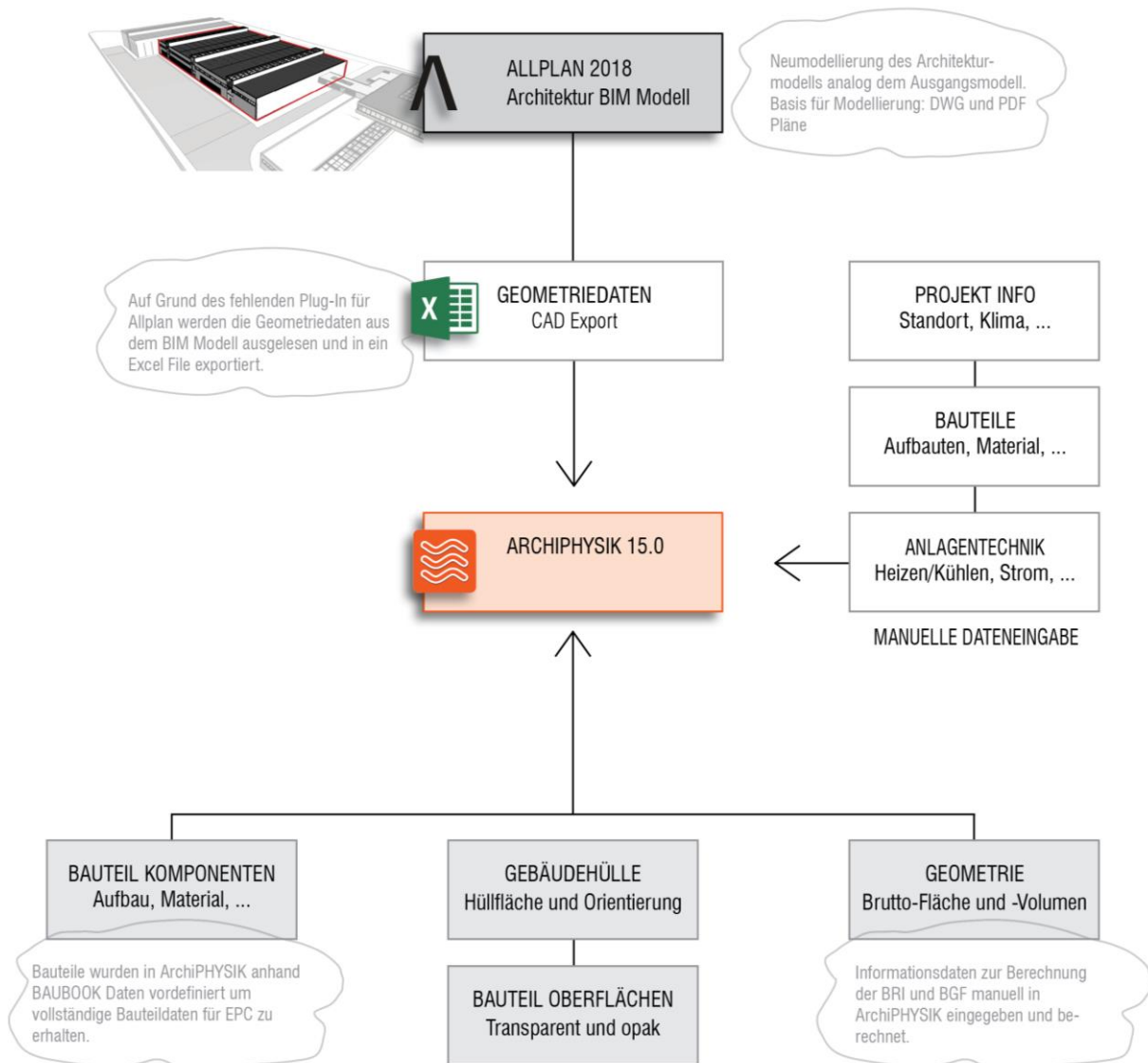


Abbildung 37: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für Variante EPC 3

3.2. BIM-basierte Workflows für die Ökobilanz (LCA)

Für die Studie der BIM-basierten Workflows einer Lebenszyklusanalyse wird gegenüber den Software Workflows für EPC nur die Modellierung in ArchiCAD verfolgt. Da lediglich ArchiCAD über eine geeignete Schnittstelle für ArchiPHYSIK besitzt, hat man sich für diesen Ansatz entschieden.

Um das Ergebnis aus der Ökobilanz von ArchiCAD zu ArchiPHYSIK zu verifizieren, wird mit den vorhandenen BIM Daten eine manuelle Berechnung in einer Microsoft Excel Tabelle durchgeführt. Um einen Ergebnisvergleich mit unterschiedlichen Datensätzen zu erhalten werden in den Berechnungsverfahren Datensätze aus zwei Quellen verwendet.

Die Abb. 38 zeigt eine Übersicht der BIM Workflows für die LCA Verfahren.

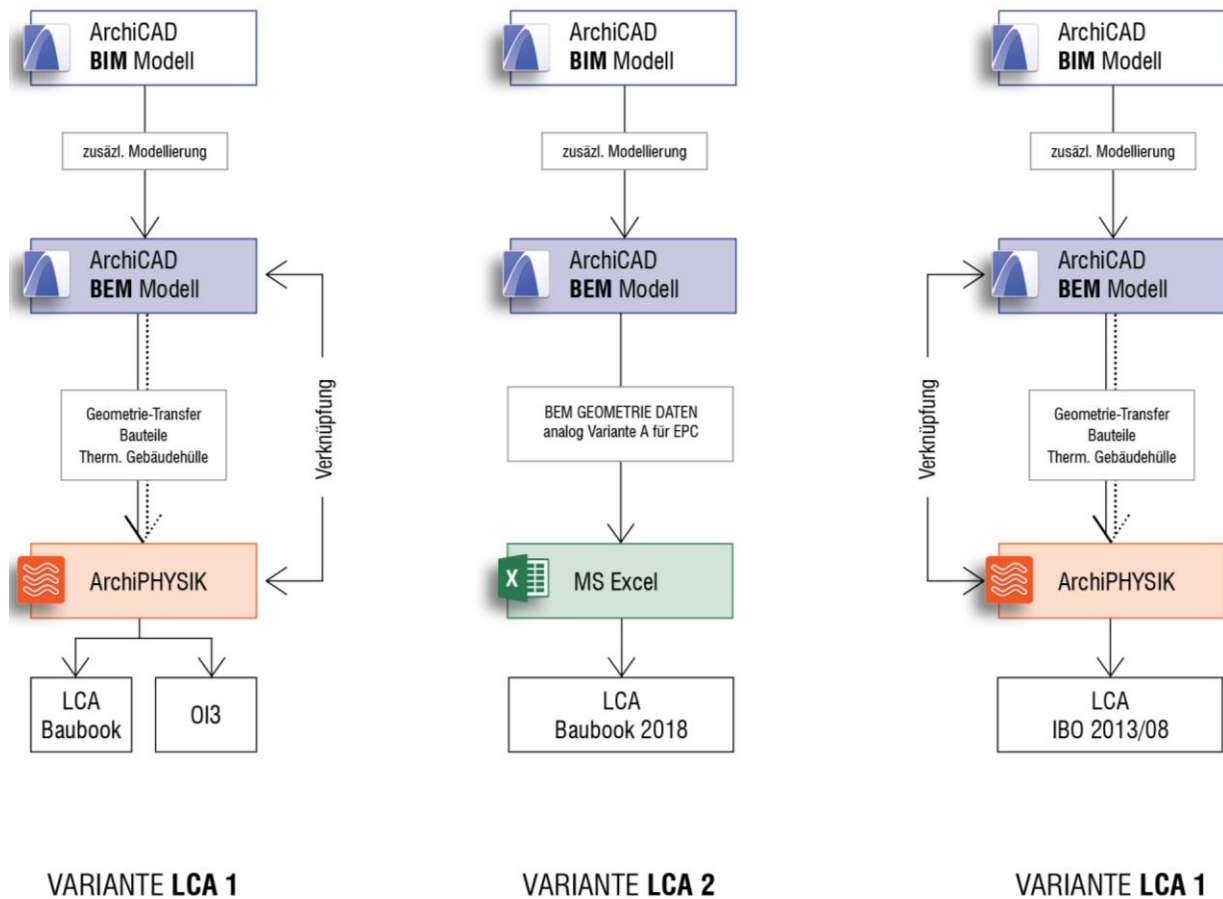
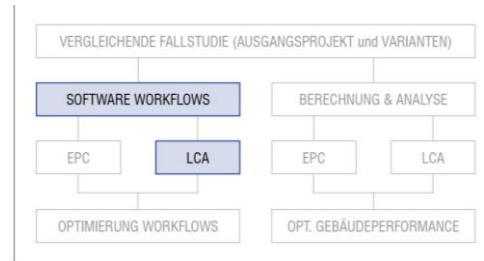


Abbildung 38: Übersicht BIM Workflows LCA Varianten

3.2.1. Variante LCA 1 – Workflow mit ArchiCAD zu ArchiPHYSIK, Datensatz Baubook 2018

Der Workflow für LCA über ArchiCAD zu ArchiPHYSIK deckt sich über weite Strecken mit dem Workflow im Verfahren EPC 1. Beiden Auswertungsprozessen liegt dieselbe Projektgrundlage des dreidimensional erstellten Architekturmodells mit ArchiCAD vor.

Da sich der LCA Vergleich in der gegenständlichen Studie auf die thermische Hüllfläche des BIM-Eco Projekts bezieht, sind zudem die Schritte in der Modellierung und dem Export des Building Energy Models mit dem EPC Workflow von ArchiCAD zu ArchiPHYSIK ident.

Nachdem das Architekturmodell zu einem Building Energy Model (Abb. 39) mit einem reduzierten, für die LCA Berechnung ausreichendem Informationsgehalt, reduziert wurde, kann das BEM nach ArchiPHYSIK mittels *aps*. Datei exportiert werden. Der Export erfolgt in ArchiCAD über den Export Assistent für ArchiPHYSIK. Die Außenhüllfläche des Building Energy Model wird für die LCA-Analyse in ArchiPHYSIK importiert.

Nun setzt sich der Workflow Prozess in ArchiPHYSIK mit dem Anlegen eines neuen Projekts fort. Im Falle eines bereits angelegten Projekts für eine Energieausweisberechnung mit BIM, kann beispielsweise darauf aufbauend die LCA Analyse im selben Projekt erfolgen.

Beginnt man jedoch mit dem Anlegen einer neuen Datei, so wiederholen sich die bereits beschriebenen Prozesse in ArchiPHYSIK. In einem ersten Schritt beginnt die manuelle Dateneingabe aller relevanten Eckdaten zum Projekt, Objektdaten wie Angabe zur Gebäudeart oder die geographische Lage und zudem Informationen über Planer, Auftraggeber und Eigentümer.

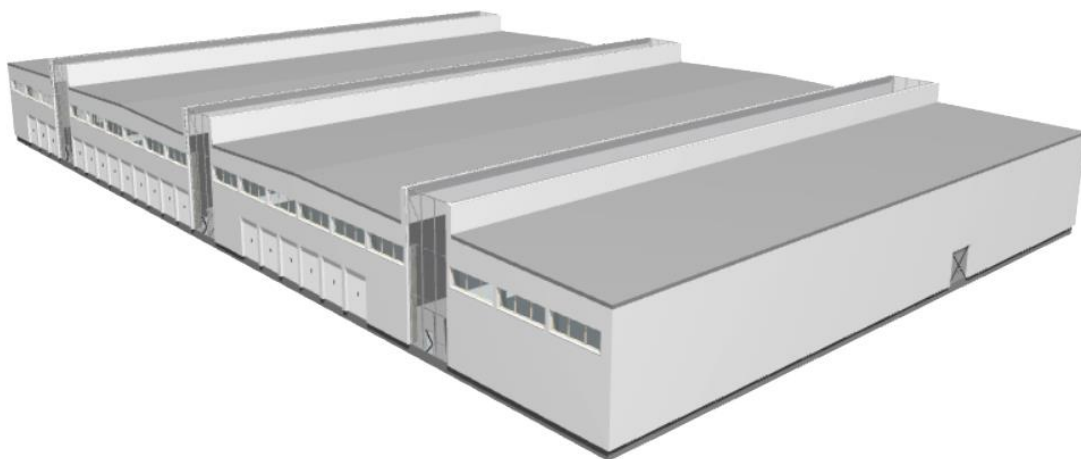


Abbildung 39: Building Energy Model ArchiCAD

Noch vor dem Import des BEM über die CAD Schnittstelle, werden unter dem Menüpunkt „Bauteile“ anhand des Aufbautenkatalogs sämtliche Bauteile der Außenhülle in ArchiPHYSIK angelegt. Dies erfolgt um komplexe

Bauteile mit inhomogenen Schichten wie hinterlüftete Bauteilelemente samt Unterkonstruktionen vollständig und korrekt in ArchiPHYSIK aufzubauen.

Bei der Erstellung von Bauteilen in ArchiPHYSIK unterstützt der integrierte Datenassistent mit teils vorgefertigten Bauteilen beziehungsweise mit einzelne Bauteilkomponenten, die direkt von Herstellerkatalogen bezogen werden können. Umfangreiche Datenkataloge mit einer Vielzahl an neuesten Herstellerprodukten werden hier in ArchiPHYSIK zur Verfügung gestellt und bieten zudem einen direkten Zugriff auf Produkte mit LCA Informationsgehalt.

Sind alle relevanten Bauteile der Hüllfläche angelegt, können diese nun mit den aus ArchiCAD importierten CAD Daten verknüpft werden. Durchgeführt wird der CAD Import im Menüpunkt „Projekt“, über die Schaltfläche „CAD Verbindung“ durch Einlesen der aps. Datei.

Sämtliche Bauteile, die von ArchiCAD exportiert wurden, können nun über die Bauteilzuordnung entweder als neuer Bauteil angelegt, oder mit vorhandenen Bauteilen verknüpft werden. Da in ArchiPHYSIK bereits neue Bauteile angelegt wurden, können die CAD Bauteile nun einfach mit den entsprechenden Bauteilen aus ArchiPHYSIK verknüpft werden. Durch die Verknüpfung wird den Bauteilen in ArchiPHYSIK die Geometrie der CAD Bauteile zugewiesen.

Unter dem Menüpunkt „Gebäude“ wird die Geometrie des Building Energy Models in ArchiPHYSIK vervollständigt. Grundflächen sowie Volumen werden aus dem BEM übernommen beziehungsweise geringfügig manuell nachgebessert. Es erfolgt eine Überprüfung der Hüllfläche und gegebenenfalls eine manuelle Anpassung von unvollständigen Eingaben.

Bis zu diesem Punkt sind der Workflow in ArchiPHYSIK für die Lebenszyklusanalyse und für die Energieausweiserstellung ident. Erfolgt die LCA-Analyse somit im gleichen ArchiPHYSIK Projekt, das beispielsweise für eine Energieausweiserstellung angelegt wurde, so können die bis hierhin beschriebene Schritte übersprungen werden und direkt mit dem nächsten Schritt für die LCA fortsetzen.

In weiterer Folge werden allen relevanten LCA Daten eingegeben (Abb. 40). Für diesen Vorgang wechselt man in den Menüpunkt „Bauteile“ und bearbeitet hier die einzelnen Schichten der angelegten Bauteile in ArchiPHYSIK. Die Werte der Indikatoren für GWP, PEI ne, und AP können, wenn vorhanden, direkt von den OI3-Herstellerangaben in den jeweiligen Bauteilschichten unter „LCA“ manuell eingetragen werden. Die OI3 Herstellerdaten im Rahmen der Studie basieren auf dem „Baubook“ Datenkatalog, der hierfür als Quelle angeführt wird.

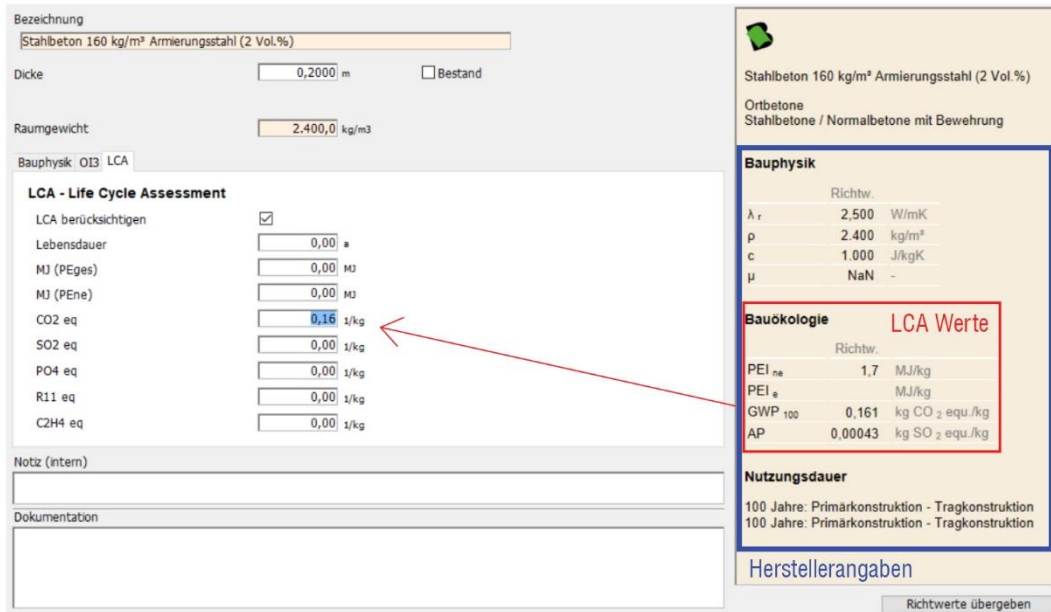


Abbildung 40: Screenshot ArchiPHYSIK 2015 – manuelle Dateneingabe von LCA Werten in APH

Für den Betrachtungszeitraum der Lebenszyklusanalyse wird eine Lebensdauer von 50 Jahren angenommen. Der Dateneingabeprozess ist im Workflow somit beendet, worauf im abschließenden Prozess die Auswertung aller Daten für die Ökobilanzberechnung in ArchiPHYSIK erfolgen kann.

Die Ergebnisauswertung für die Lebenszyklusanalyse erfolgt in ArchiPHYSIK über die Menüreiter „Gebäude“ sowie über die Option „Formulare“. Eine Übersicht der zu erwartenden Ergebnisse wird im Bereich „LCA-Bewertung“ unter dem Menüpunkt „Gebäude“ geboten. Hier werden in einer Vorberechnung die Gesamtwerte aller eingegebenen Bauteildaten tabellarisch aufgelistet und aufsummiert.

Der letzte Menüpunkt „Formulare“ ermöglicht die Zusammenstellung eines Dokuments mit projektspezifischen Auswertungsformularen für die Ökobilanzbewertung. Mit dem Datenassistent können Formulare für die Lebenszyklusanalyse angelegt und so als PDF exportiert werden.

WORKFLOW LCA **VARIANTE LCA 1**

Der Workflow für die Variante LCA 1 wird wie folgt graphisch dargestellt (Abb. 41)

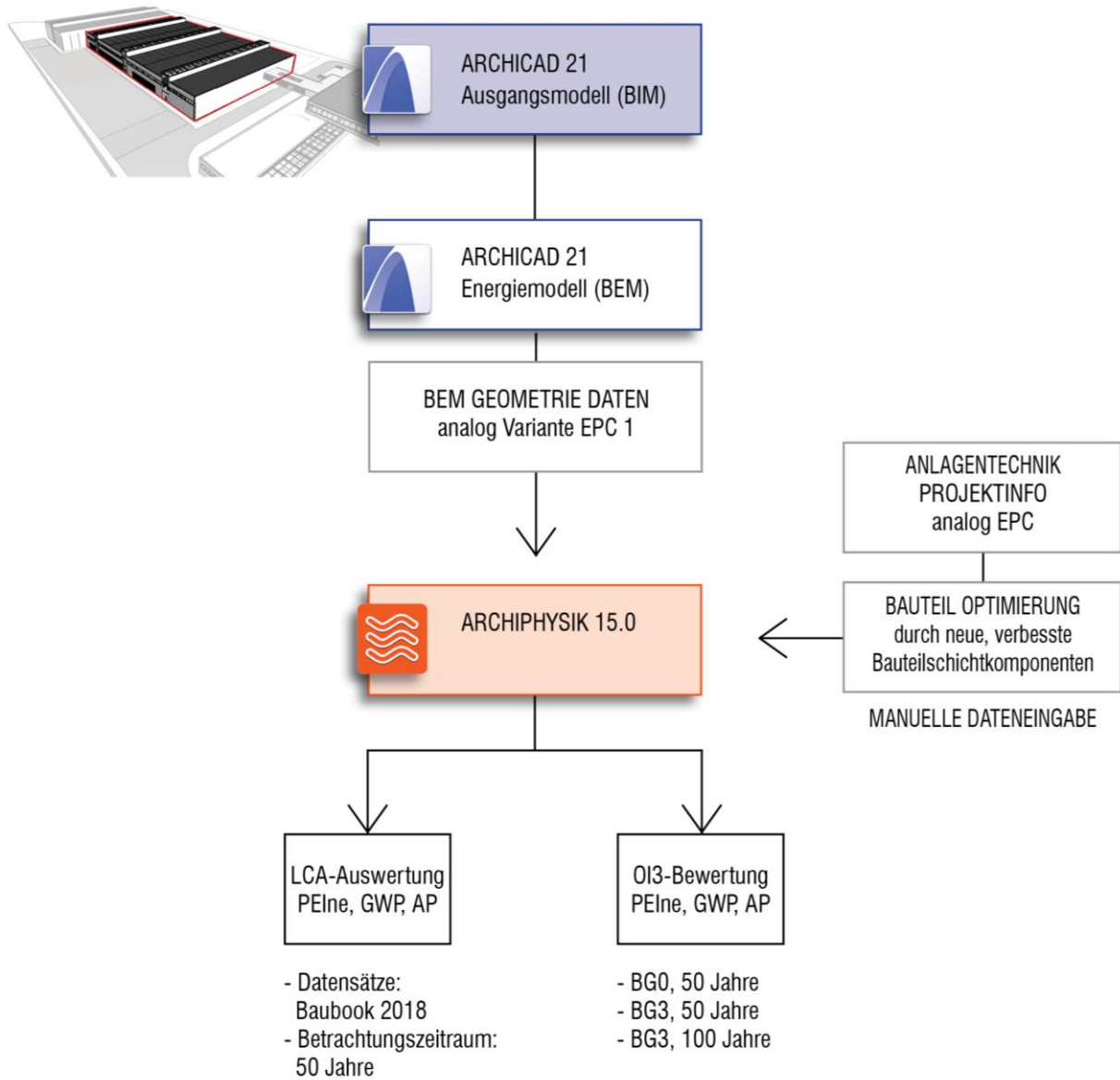


Abbildung 41: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für die Variante LCA 1

Sind die Bauteile in der Exceltabelle angelegt erfolgt das Einlesen der Bauteilflächen des Building Energy Models. In der Regel werden die Auswertungstabellen samt Bauteilangaben direkt aus ArchiCAD oder ähnlicher Authoring Software beispielsweise als xls. Datei exportiert und in weiterer Folge in Excel verknüpft oder manuell übertragen. In der gegenwärtigen Studie werden die Bauteilflächen jedoch direkt aus der CAD Verknüpfung in ArchiPHYSIK übernommen.

Als weitere Eingabewerte für die Berechnung werden nun die grundlegenden Indikatoren laut dem OI3 Ökoindex vorgegeben. Die drei Umweltindikatoren für die Ermittlung der Lebenszyklusanalyse nach dem OI3 Modell sind das **Treibhauspotential (GWP)**, die **Versauerung (AP)** und der **Primärenergiegehalt nicht erneuerbar (PEI ne)**. Der Bezug der einzelnen Werte wird durch eine Quellenangabe verifiziert. Die Quellen werden in einer hierfür eigenen Spalte für die jeweiligen Bauteilschichten angeführt. Jeder Bauteilschicht werden somit einzelne Größen für GWP, AP und PEI_{ne}, analog der Produktbeschreibungen aus den jeweiligen Datenquellen zugeschrieben. Die Datensätze in dieser Studie wurden aus dem Baubook Katalog Stand Juni 2019 bezogen.

Nach vollständiger Eintragung aller Vorgabe- und Eingabewerte können im abschließenden Schritt die Ergebnisse berechnet werden. Die Ergebnisberechnung wird automatisiert durch vordefinierte Formeleingaben durchgeführt.

Die Ergebnistabelle ist unterteilt in Werte die je m² pro Bauteilschicht, also einem Einheitswert und einem daraus resultierenden Gesamtwert für jeden Ökoindikator berechnet werden. Die Einheiten der Ökoindikatoren sind wie folgt:

- Primärenergiegehalt nicht erneuerbar **PEI_{ne}:** **MJ** (Megajoule)
- Treibhauspotenzial **GWP:** **CO₂** (Kohlenstoffdioxid)
- Versauerung **AP:** **SO₂** (Schwefeldioxid)

Um den Einheitswert für PEI, CO₂ und SO₂ zu berechnen werden die Indikatorangaben mit der Masse der jeweiligen Bauteilschicht, also mit den Bauteilstärken „dm“ und der Dichte „ρ [kg/m³]“ der Materialschichten multipliziert. Man erhält somit einen Einheitswert je m² pro Bauteilschicht. Diese Einzelwerte der Bauteilschichten werden nun summiert um je Bauteil und je Kilogramm einen Einheitswert für **PEI (MJ/m²)**, **GWP (CO₂/m²)** und **AP (SO₂/m²)** als Gesamtbewertung pro m² je kg zu erhalten.

Durch die Multiplikation des Einheitswertes der Bauteilschichten mit dem jeweiligen Gesamtflächenanteil der Schicht „A (m²)“, erhält man einen Gesamtwert für PEI, CO₂ und SO₂ je Bauteilschicht. Die Aufsummierung dieser Einzelwerte ergibt wiederum einen Gesamtwert für **PEI (MJ)**, **GWP (CO₂)** und **AP (SO₂)** als Gesamtbewertung des Bauteils.

WORKFLOW LCA **VARIANTE LCA 2**

Der Workflow für die Variante LCA 2 wird wie folgt graphisch dargestellt (Abb. 43)

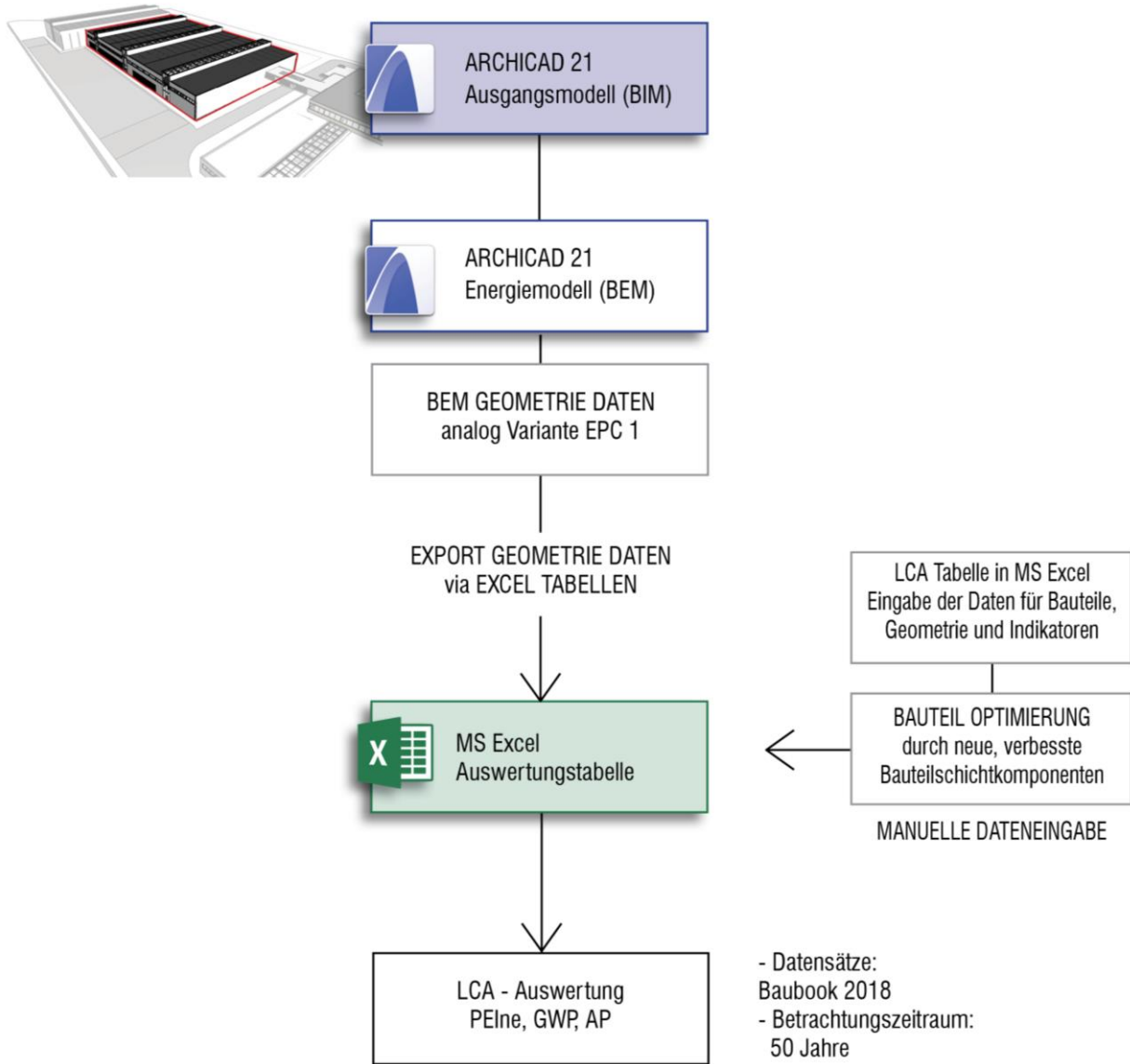


Abbildung 43: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für die Variante LCA 2

3.2.3. Variante LCA 3 – Workflow mit ArchiPHYSIK, Datensatz IBO 2013/08

Mit dieser Variante werden gegenüber den Varianten D und E neue Indikatoren aus dem IBO Datensatz verwendet. Der Variantenvergleich soll somit Ökobilanzergebnisse mit unterschiedlichen Datensätzen aus unterschiedlichen Quellen gegenüberstellen.

WORKFLOW LCA **VARIANTE LCA 3**

Der Workflow für die Variante LCA 2 wird wie folgt graphisch dargestellt (Abb. 44)

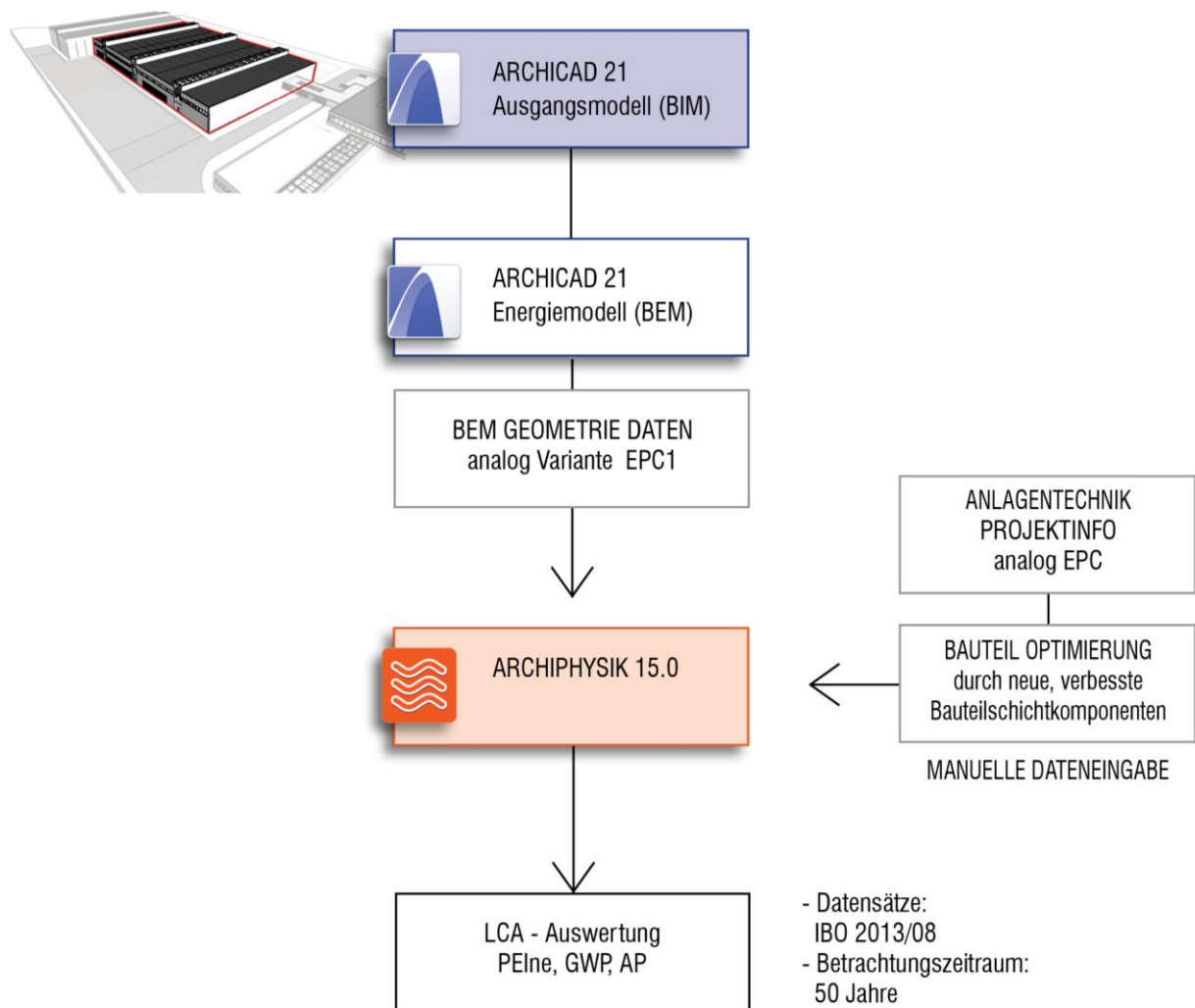
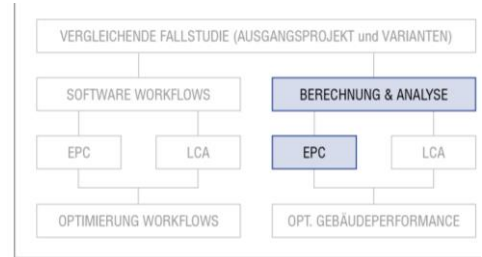


Abbildung 44: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für die Variante LCA 3

4. BIM-BASIERTE BERECHNUNGEN – VERGLEICHENDE STUDIE



In diesem Kapitel erfolgt die Ergebnisdarstellung resultierend aus den Auswertungen für die BIM-basierten Verfahren der EPC und LCA Berechnungsvarianten anhand der beschriebenen Methodik.

4.1. Ergebnisauswertung der EPC-Varianten

Die Energieausweisberechnung erfolgt anhand der beschriebenen Prozesse in den Software Workflows für das Ausgangsprojekt EPC, sowie für die Varianten EPC1, EPC2 und EPC3. Die Analyse wird in Form einer tabellarischen Ergebnisgegenüberstellung der einzelnen Varianten durchgeführt.

Ziel der Variantenstudie ist eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Workflows für EPC und deren Ergebnisse aus der Geometriermittlung sowie der Energieausweisberechnung. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus den Workflows erzielen zu können, beziehen sich alle drei Varianten auf ein Ausgangsprojekt. Um die Ergebnisse aus den BIM-basierten Workflows verifizieren zu können, wurde das Ausgangsmodell manuell ausgewertet und der Energieausweis in ArchiPHYSIK durch manuelle Dateneingabe quasi analog erstellt.

4.1.1. Ergebnis Ausgangsprojekt

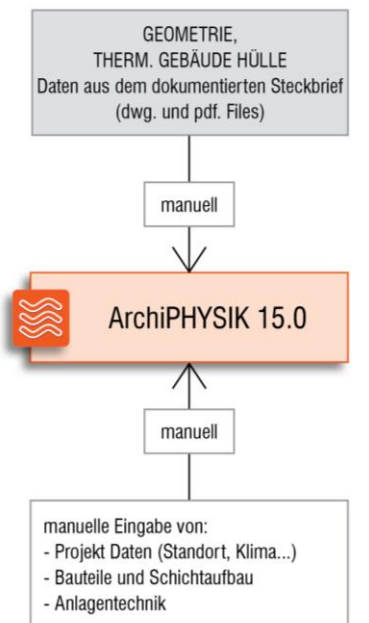


Abbildung 45:
Workflow Ausgangsprojekt

Das Ausgangsprojekt (Abb. 45) dient in der Variantenstudie als „Status Quo“. Die Geometrieangaben aus dem Ausgangsmodell wurden exakt festgelegt. Die Auswertung der Grundfläche ergibt einen Flächenanteil von 10.023 m². Das Gesamtvolumen wird mit 120.648 m³ berechnet.

Die Energieausweisberechnung zeigt im Resultat einen Heizwärmebedarf von 44,01 kWh/m²a sowie einen Endenergiebedarf von 194,67 kWh/m²a.

Ausgangsprojekt

Grundfläche [m ²]	Volumen [m ³]	HWB [kWh/m ² a]	EEB [kWh/m ² a]
10.023	120.648	44,01	194,67

Tabelle 4-1: Ergebnisse EPC Ausgangsprojekt

4.1.2. Ergebnis Variante EPC 1 – Workflow ArchiCAD

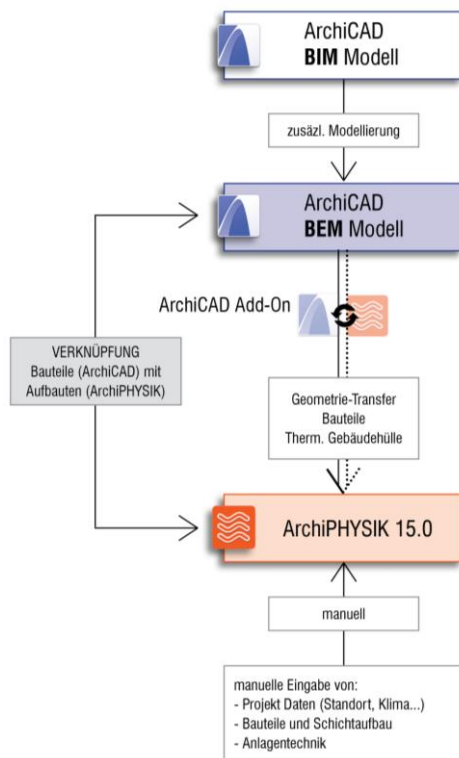


Abbildung 46: Workflow Ergebnis Variante EPC 1

Die Auswertung der Variante EPC 1 (Abb. 46) über den Exportassistent in ArchiCAD ergab bei der Geometriermittlung eine Grundfläche von 10.019 m² sowie ein Gesamtvolumen von 117.547 m³.

Der Energieausweis ergab einen Heizwärmebedarf von 46,66 kWh/m²a sowie einen Endenergiebedarf von 198,46 kWh/m²a.

Variante EPC 1

Grundfläche [m ²]	Volumen [m ³]
10.019	117.547
HWB [kWh/m ² a]	EEB [kWh/m ² a]
46,66	198,46

Tabelle 4-2: Ergebnisse EPC 1

4.1.3. Ergebnis Variante EPC 2 – Workflow REVIT

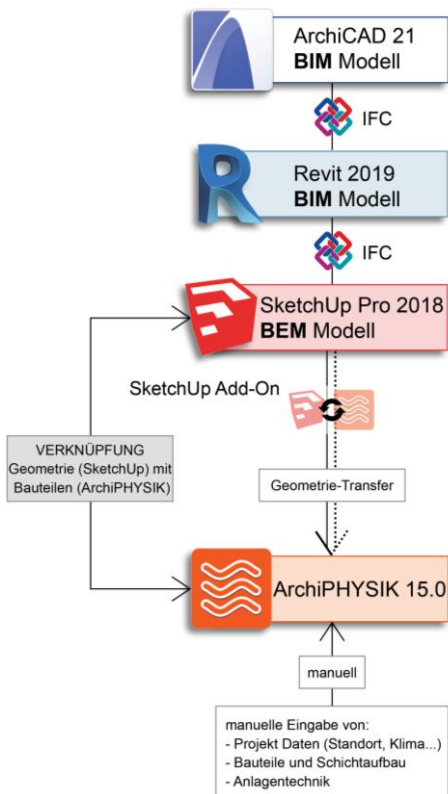


Abbildung 47: Workflow Ergebnis Variante EPC 2

Die Auswertung der Variante EPC 2 (Abb. 47) über den Exportassistent in SketchUP ergab eine Grundfläche von 10.052 m² sowie ein Gesamtvolumen von 121.879 m³.

Der Energieausweis ergab einen Heizwärmebedarf von 41,55 kWh/m²a sowie einen Endenergiebedarf von 192,17 kWh/m²a.

Variante EPC 2

Grundfläche [m ²]	Volumen [m ³]
10.052	121.879
HWB [kWh/m ² a]	EEB [kWh/m ² a]
41,55	192,17

Tabelle 4-3: Ergebnisse EPC 2

4.1.4. Ergebnis Variante EPC 3 – Workflow Allplan

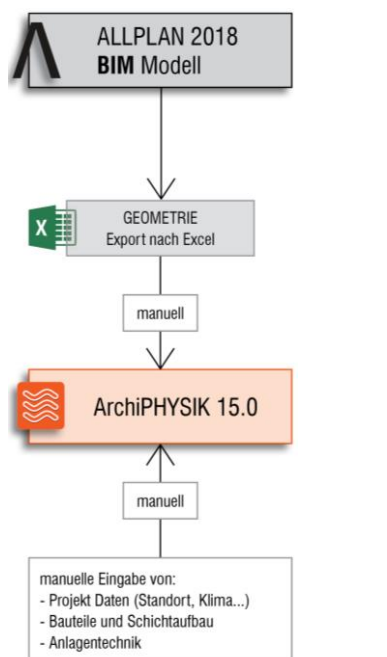


Abbildung 48: Workflow Ergebnis Variante EPC 3

Die Auswertung für die Variante EPC 3 (Abb. 48) ergab eine Grundfläche von 10.052m² sowie ein Gesamtvolumen von 119.213 m³.

Der Energieausweis ergab einen Heizwärmebedarf von 42,64 kWh/m²a sowie einen Endenergiebedarf von 192,92 kWh/m²a.

Variante EPC 3

Grundfläche [m ²]	Volumen [m ³]	HWB [kWh/m ² a]	EEB [kWh/m ² a]
10.052	119.213	42,64	192,92

Tabelle 4-4: Ergebnisse EPC 3

4.1.5. Ergebnisgegenüberstellung der EPC Variantenstudie

Gegenüberstellung der Ergebnisse für EPC

Tabelle 4-5

	Ausgangsprojekt	Variante EPC 1	Variante EPC 2	Variante EPC 3
Grundfläche [m ²]	10.023 100 %	10.019 -0,045 %	10.052 +0,29 %	10.052 +0,29 %
Volumen [m ³]	120.648 100 %	117.547 -2,57 %	121.879 +1,02 %	119.213 -1,19 %
HWB [kWh/m ² a]	44,01 100 %	46,66 +6,02 %	41,55 -5,59 %	42,64 -3,11 %
HEB [kWh/m ² a]	129,41 100 %	133,22 +2,94 %	126,91 -1,93 %	127,66 -1,35 %
EEB [kWh/m ² a]	194,67 100 %	198,46 +1,95 %	192,17 -1,28 %	192,92 -0,90 %
F _{GEE}	0,372 100 %	0,386 +3,76 %	0,364 -0,80 %	0,368 -1,07 %

Tabelle 4-5: Gegenüberstellung der Ergebnisse für EPC

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse für die EPC Berechnungsverfahren, wie in Tabelle 4-5 ersichtlich zeigt eine gewisse Schwankungsbreite der berechneten Werten. Tendenziell erzielen jene Varianten mit einer höheren Grundflächen- und Volumenberechnung bessere Werte für den Heizwärme- und Endenergiebedarf.

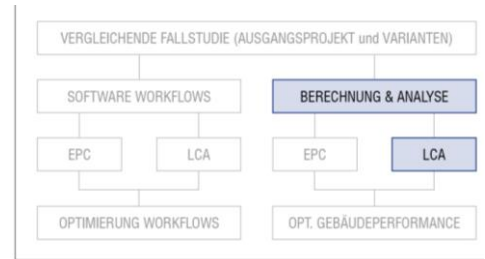
Verglichen jeweils mit dem Ergebnis aus dem Ausgangsprojekt, das mit 100 % den Status Quo bildet, werden die Werte aus den drei Varianten mit ihren plus-minus-Schwankungen in Prozenten angeführt.

Die Geometrieauswertung fällt bei der Grundflächenberechnung annähernd mit den gleichen Ergebnissen aus, mit einer Schwankungsbreite von zirka 0,30 %. Die Volumenberechnung weist eine Schwankung von in etwa 3,8 % auf.

Die höchste Schwankungsbreite zeigt der Heizwärmebedarf. Dieser beziffert sich auf etwa ± 6 %. Hier ist somit ein Ergebnisunterschied von bis zu 12 % festzustellen. Der Endenergiebedarf schwankt in einem Bereich von etwa 3,5 %.

4.2. Ergebnisauswertung der LCA-Varianten

Die LCA Berechnung erfolgt anhand der beschriebenen Prozesse in den Software Workflows für die Varianten LCA 1, LCA 2 und LCA 3.



Die Analyse wird in Form einer tabellarischen Ergebnisgegenüberstellung der einzelnen Varianten durchgeführt, sowie durch graphische Darstellungen erläutert.

4.2.1. Ergebnisgegenüberstellung Berechnungen Variante LCA 2 und LCA 1

Die nachfolgenden Tabellen 4-6, 4-7 und 4-8 zeigen die Ergebnisauswertung im Variantenvergleich LCA 2 und LCA 1 für die berechneten Kennzahlen PEIne, GWP und AP je Bauteil.

Gegenüberstellung der Ergebnisse für Primärenergiebedarf nicht ern. (PEIne)

Tabelle 4-6

PEIne Bauteil	Variante LCA 2 (MS Excel) (Quelle Daten Baubook 2018)		Variante LCA 1 (ArchiPHYSIK) (Quelle Daten Baubook 2018)	
	Einheitswert [kg MJ/m ²]	Gesamtwert [kg MJ]	Einheitswert [kg MJ/m ²]	Gesamtwert [kg MJ]
A01 Außenwand massiv	3.461,54 100 %	9.311.466,48 100 %	3.455,48 -0,17 %	9.346.604,5 +0,38 %
A02 Außenwand leicht	2.784,97 100 %	6.722.887,47 100 %	2.775,56 -0,34 %	6.696.987,6 -0,39 %
B01 Boden	2.044,09 100 %	20.384.626,70 100 %	2.053,14 +0,44 %	20.384.626,60 0,00 %
D01 Dach geneigt	1.404,69 100 %	11.793.538,04 100 %	1.405,06 +0,03 %	11.794.112,10 +0,005 %
D02 Dach flach	1.404,69 100 %	217.530,55 100 %	1.405,06 +0,03 %	217.541,1 +0,005 %

Tabelle 4-6: LCA 2 und LCA 1, Ergebnisgegenüberstellung nicht ern. (PEIne)

Gegenüberstellung der Ergebnisse für Treibhauspotenzial (GWP)

Tabelle 4-7

GWP Bauteil	Variante LCA 2 (MS Excel) (Quelle Daten Baubook 2018)		Variante LCA 1 (ArchiPHYSIK) (Quelle Daten Baubook 2018)	
	Einheitswert [kg CO2/m²]	Gesamtwert [kg CO2]	Einheitswert [kg CO2/m²]	Gesamtwert [kg CO2]
A01 Außenwand massiv	268,05 100 %	721.046,97 100 %	267,54 -0,19 %	719.112,35 -0,27 %
A02 Außenwand leicht	156,53 100 %	377.865,00 100 %	155,80 -0,47 %	376.172,06 -0,45 %
B01 Boden	171,79 100 %	1.713.132,45 100 %	172,21 +0,25 %	1.711.209,75 -0,11 %
D01 Dach geneigt	4,79 100 %	40.222,17 100 %	4,78 -0,20 %	40.299,93 +0,19 %
D02 Dach flach	4,79 100 %	741,89 100 %	4,78 -0,20 %	743,32 +0,19 %

Tabelle 4-7: LCA 2 und LCA 1, Ergebnisgegenüberstellung Treibhauspotenzial (GWP)

Gegenüberstellung der Ergebnisse für Versauerungspotenzial (AP)

Tabelle 4-8

AP Bauteil	Variante LCA 2 (MS Excel) (Quelle Daten Baubook 2018)		Variante LCA 1 (ArchiPHYSIK) (Quelle Daten Baubook 2018)	
	Einheitswert [kg SO2/m²]	Gesamtwert [kg SO2]	Einheitswert [kg SO2/m²]	Gesamtwert [kg SO2]
A01 Außenwand massiv	1,08 100 %	2.893,63 100 %	1,08 -0,07 %	2.878,28 -0,53 %
A02 Außenwand leicht	1,07 100 %	2.576,90 100 %	1,07 -0,14 %	2.558,83 -0,70 %
B01 Boden	0,49 100 %	4.902,77 100 %	0,49 +0,08 %	4.901,15 -0,03 %
D01 Dach geneigt	0,50 100 %	4.163,07 100 %	0,496 -0,01 %	4.197,91 +0,84 %
D02 Dach flach	0,50 100 %	76,79 100 %	0,496 -0,01 %	77,43 +0,84 %

Tabelle 4-8: LCA 2 und LCA 1, Ergebnisgegenüberstellung Versauerungspotenzial (AP)

4.2.2. Graphische Ergebnisdarstellung LCA 2

Die untenstehenden Diagramme (Abb. 49-51) zeigen die graphische Ergebnisdarstellung der Variante LCA 2.

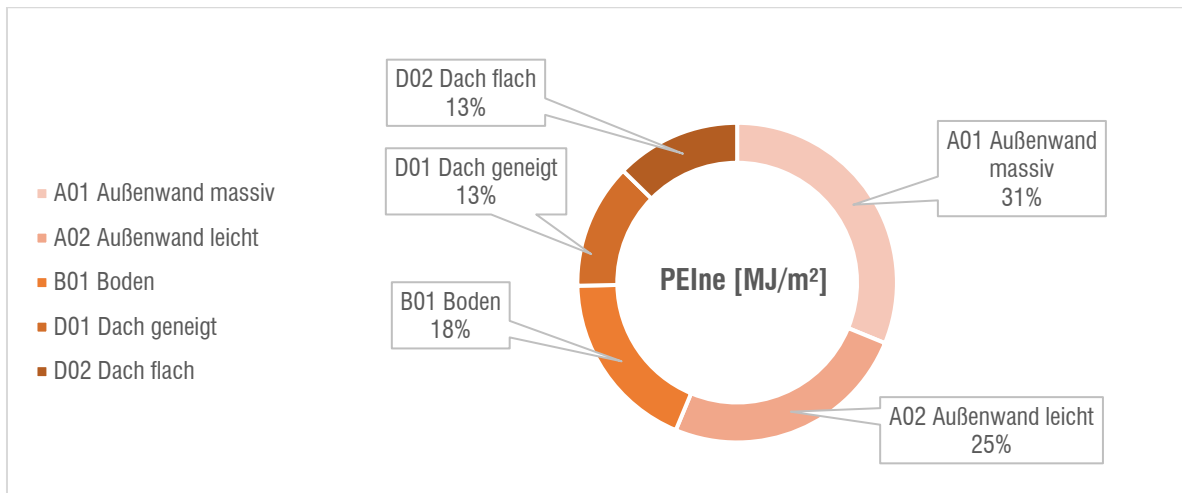


Abbildung 49: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 2 - PEIne

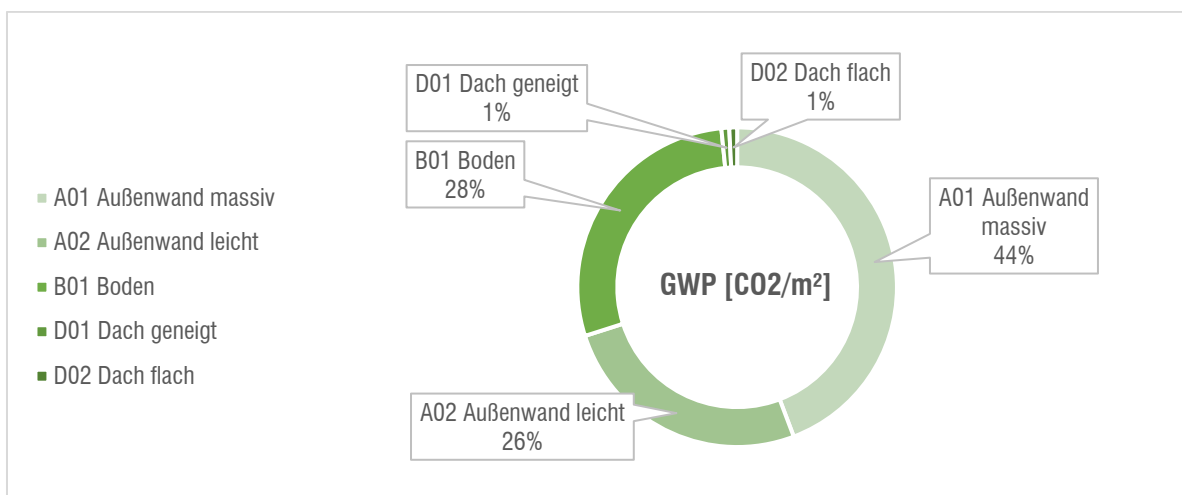


Abbildung 50: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 2 - GWP

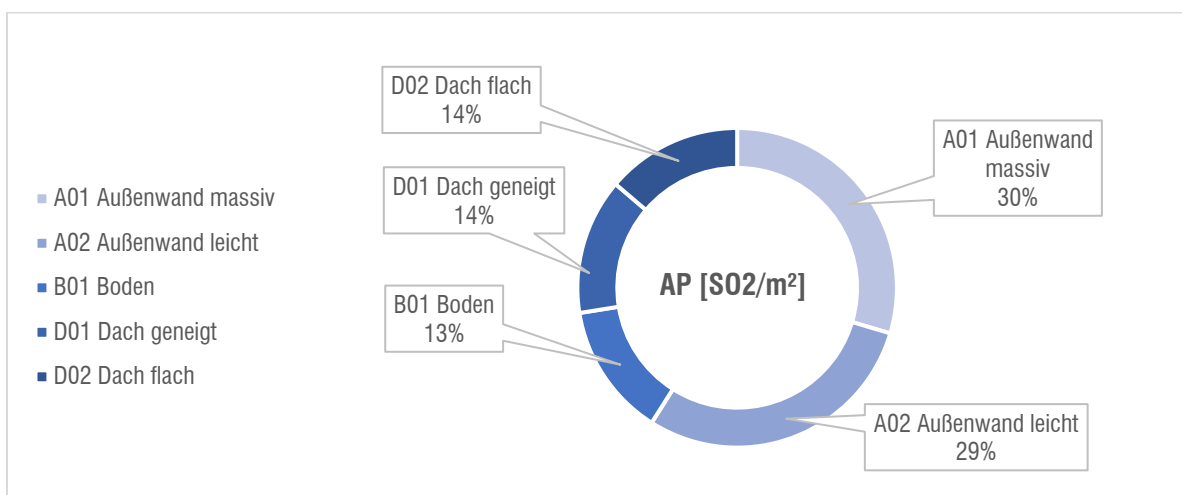


Abbildung 51: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 2 - AP

4.2.3. Graphische Ergebnisdarstellung LCA 1

Die untenstehenden Diagramme (Abb. 52-54) zeigen die graphische Ergebnisdarstellung der Variante LCA 1.

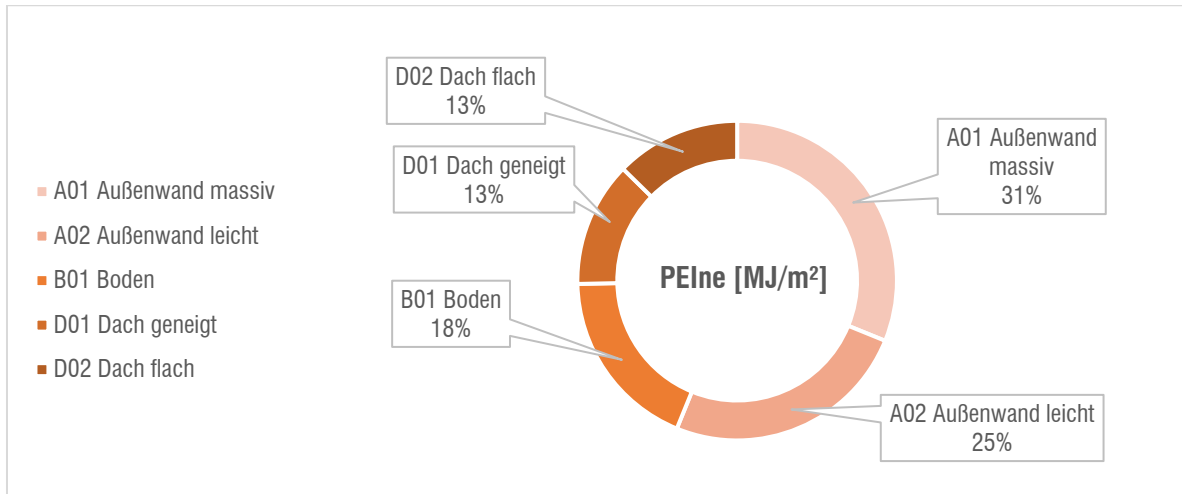


Abbildung 52: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 1 - PEIne

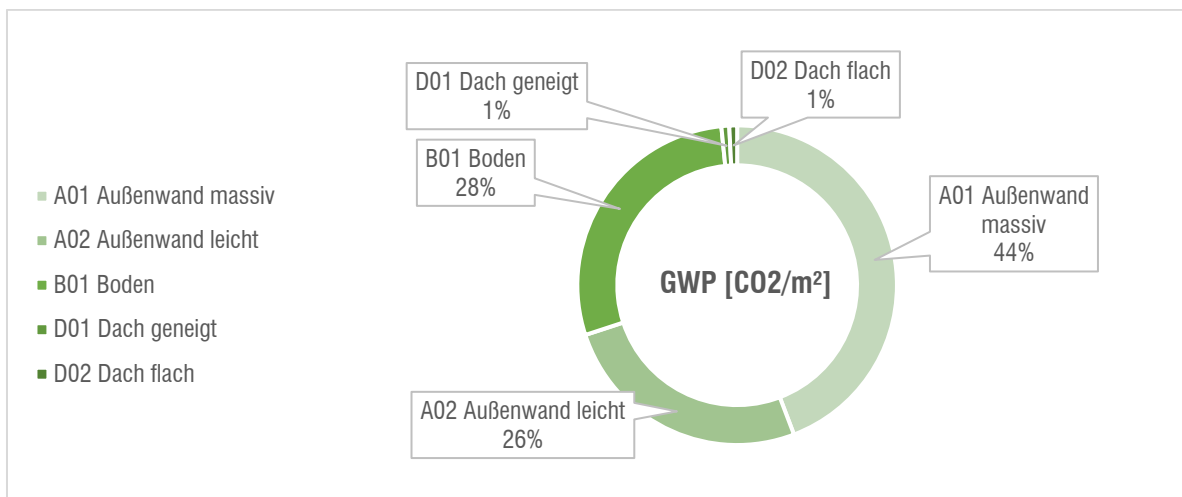


Abbildung 53: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 1 - GWP

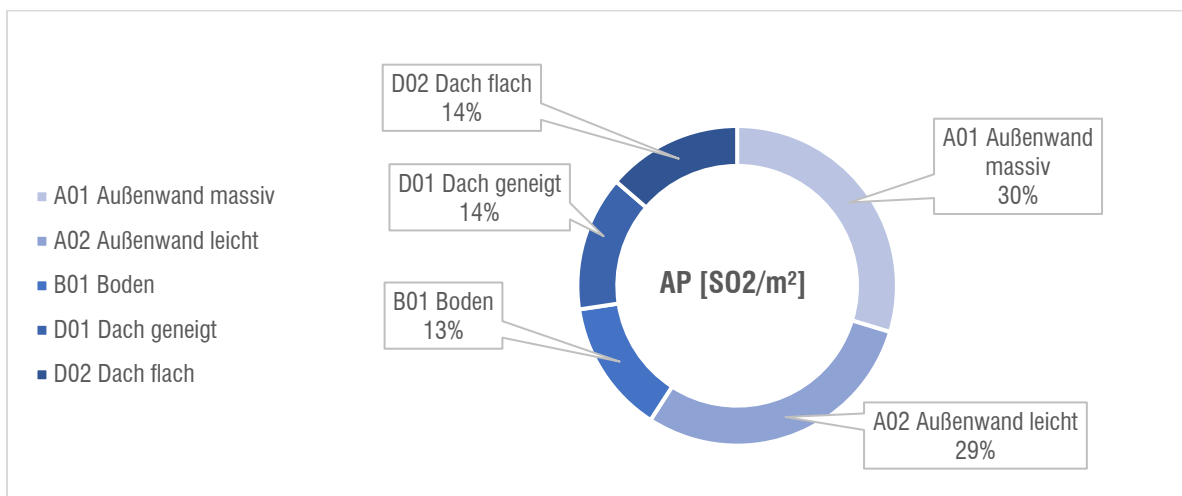


Abbildung 54: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 1 - AP1

4.2.4. Ergebnisgegenüberstellung Berechnungen Variante LCA 2 und LCA 3

Gegenüberstellung der Ergebnisse für Primärenergiebedarf nicht ern. (PEIne)

Tabelle 4-9

PEIne Bauteil	Variante LCA 2 (MS Excel) (Quelle Daten Baubook 2018)		Variante LCA 3 (ArchiPHYSIK) (Quelle Daten IBO 2013/08)	
	Einheitswert [kg MJ/m ²]	Gesamtwert [kg MJ]	Einheitswert [kg MJ/m ²]	Gesamtwert [kg MJ]
A01 Außenwand massiv	3.461,54 100 %	9.311.466,48 100 %	3.386,05 -2,18 %	9.108.487,40 -2,18 %
A02 Außenwand leicht	2.784,97 100 %	6.722.887,47 100 %	3.001,96 +7,79 %	7.246.725,5 +7,79 %
B01 Boden	2.044,09 100 %	20.384.626,70 100 %	1.661,10 -18,73 %	16.565.246,6 -18,73 %
D01 Dach geneigt	1.404,69 100 %	11.793.538,04 100 %	1.559,99 +11,05 %	13.097.395,2 +11,05 %
D02 Dach flach	1.404,69 100 %	217.530,55 100 %	1.559,99 +11,05 %	241.580,0 +11,05 %

Tabelle 4-9: LCA 2 und LCA 3, Ergebnisgegenüberstellung Primärenergiebedarf nicht ern. (PEIne)

Gegenüberstellung der Ergebnisse für Treibhauspotenzial (GWP)

Tabelle 4-10

GWP Bauteil	Variante LCA 2 (MS Excel) (Quelle Daten Baubook 2018)		Variante LCA 3 (ArchiPHYSIK) (Quelle Daten IBO 2013/08)	
	Einheitswert [kg CO ₂ /m ²]	Gesamtwert [kg CO ₂]	Einheitswert [kg CO ₂ /m ²]	Gesamtwert [kg CO ₂]
A01 Außenwand massiv	268,05 100 %	721.046,97 100 %	244,28 -8,87 %	657.135,21 -8,87 %
A02 Außenwand leicht	156,53 100 %	377.865,00 100 %	159,17 +1,68 %	384.234,78 +1,68 %
B01 Boden	171,79 100 %	1.713.132,45 100 %	147,12 -14,36 %	1.467.115,35 -14,36 %
D01 Dach geneigt	4,79 100 %	40.222,17 100 %	5,57 +16,28 %	46.764,71 +16,28 %
D02 Dach flach	4,79 100 %	741,89 100 %	5,57 +16,28 %	862,57 +16,28 %

Tabelle 4-10: LCA 2 und LCA 3, Ergebnisgegenüberstellung Treibhauspotenzial (GWP)

Gegenüberstellung der Ergebnisse für Versauerungspotenzial (AP)

Tabelle 4-11

AP Bauteil	Variante LCA 2 (MS Excel) (Quelle Daten Baubook 2018)		Variante LCA 3 (ArchiPHYSIK) (Quelle Daten IBO 2013/08)	
	Einheitswert [kg SO ₂ /m ²]	Gesamtwert [kg SO ₂]	Einheitswert [kg SO ₂ /m ²]	Gesamtwert [kg SO ₂]
A01 Außenwand massiv	1,08 100 %	2.893,63 100 %	1,06 -1,46 %	2.851,38 -1,46 %
A02 Außenwand leicht	1,07 100 %	2.576,90 100 %	1,05 -1,64 %	2.534,69 -1,64 %
B01 Boden	0,49 100 %	4.902,77 100 %	0,41 -16,60%	4.087,52 -16,63 %
D01 Dach geneigt	0,50 100 %	4.163,07 100 %	0,47 -5,21 %	3.946,04 -5,21 %
D02 Dach flach	0,50 100 %	76,79 100 %	0,47 -5,21 %	72,78 -5,21 %

Tabelle 4-11: LCA 2 und LCA 3, Ergebnisgegenüberstellung Versauerungspotenzial (AP)

Die oben dargestellten Tabellen 4-9, 4-10 und 4-11 zeigen die Ergebnisauswertung im Variantenvergleich LCA 2 und LCA 3 für die berechneten Kennzahlen PE_{ne}, GWP und AP je Bauteil.

4.2.5. Graphische Ergebnisdarstellung LCA 3

Die untenstehenden Diagramme (Abb. 55-57) zeigen die graphische Ergebnisdarstellung der Variante LCA 1.

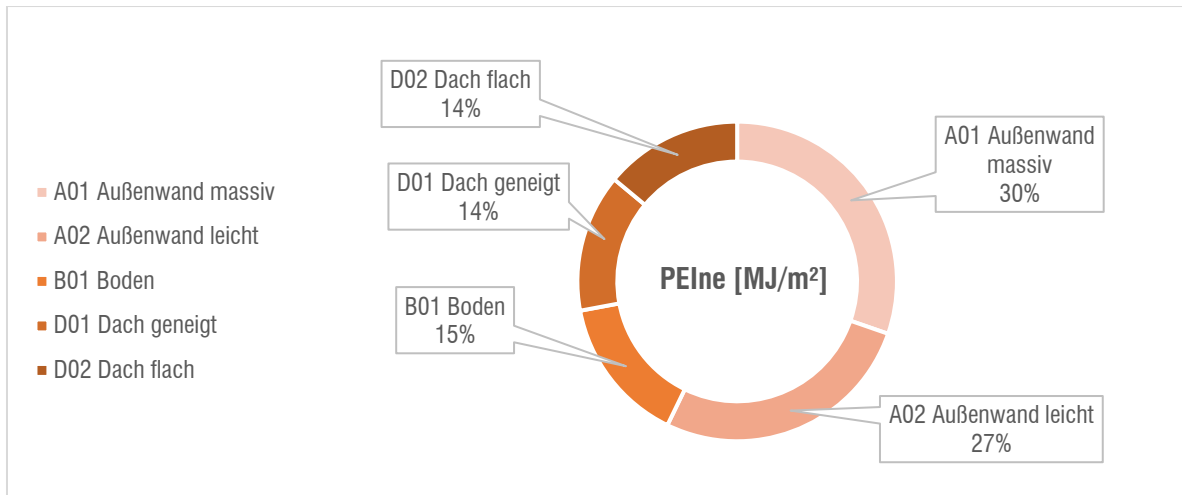


Abbildung 55: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 3 - PEIne

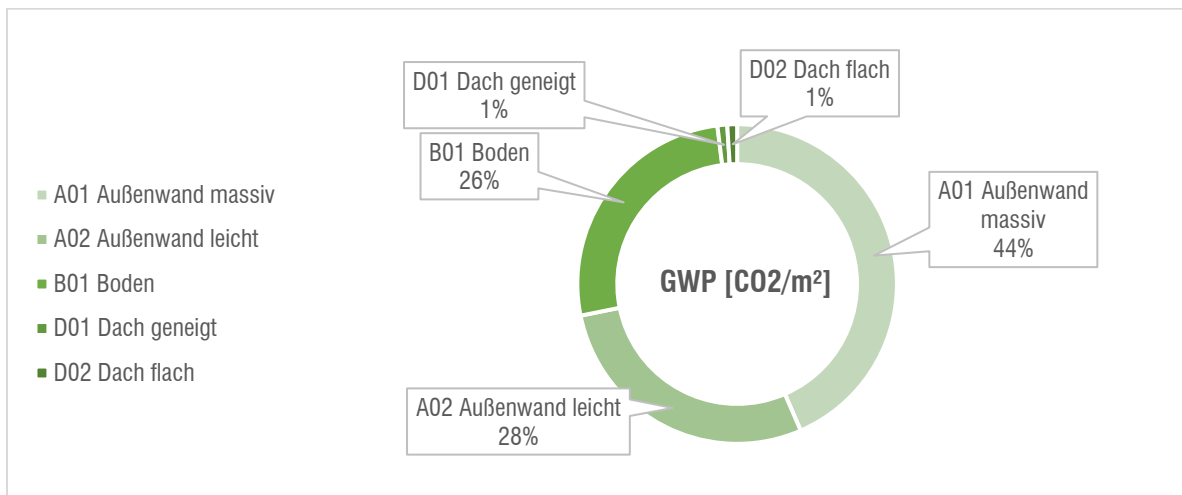


Abbildung 56: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 3 - GWP

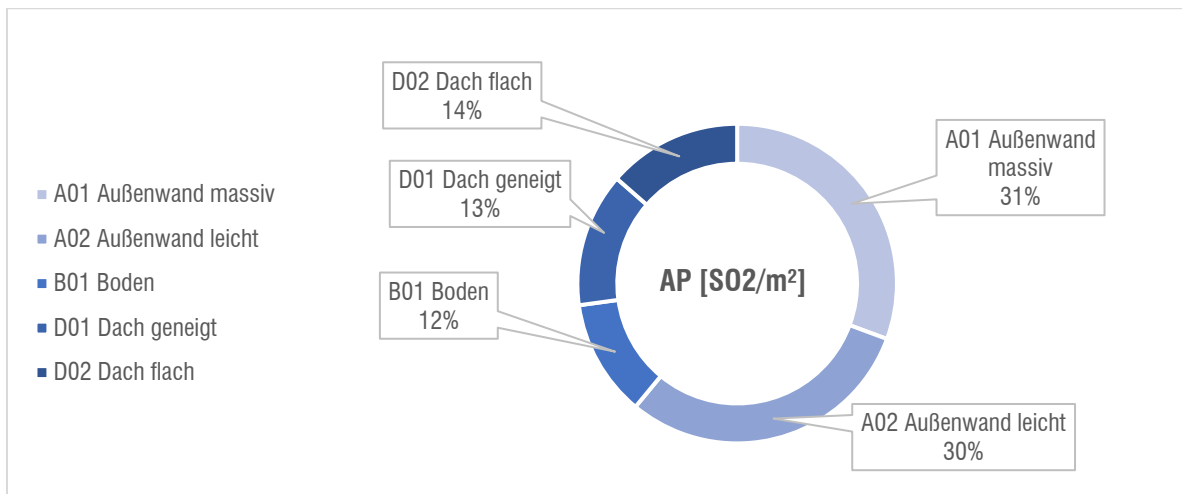


Abbildung 57: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 3 - AP

4.2.6. OI3 Index Bewertung mit ArchiPHYSIK für Variante LCA 1

Die Tabelle 4-12 zeigt die Ergebnisauswertung aus der OI3 Bewertung für die Variante LCA 1. In diesem Vergleich wurde die OI3 Bewertung in drei Szenarien durchgeführt. Die Berechnung erfolgte mit folgenden Annahmen:

- Bilanzgrenze 0, Betrachtungszeitraum 50 Jahre
- Bilanzgrenze 3, Betrachtungszeitraum 50 Jahre
- Bilanzgrenze 0, Betrachtungszeitraum 100 Jahre

OI3 Bewertung aus Variante LCA 1 berechnet

Tabelle 4-12

Bilanzgrenze Betrachtungszeitraum	BG0 50 Jahre	BG3 50 Jahre	BG3 100 Jahre
PEI_{ne} [MJ]	32.182.148	53.229.975	92.418.974
GWP [t CO₂]	1.818,58	3.006,89	5.452,82
AP [kg SO₂]	9.858	15.215	26.796
OI3 Bewertung [Pkt]	182,8	429,6	754,8

Tabelle 4-12: LCA 1 OI3 Bewertung

4.3. Auswertung Workflows - Nutzbarkeit

Die Software Workflows werden je nach Gebrauch optimal auf Nutzerbedürfnisse zugeschnitten. Die Vorteile der jeweils unterschiedlich eingesetzten Tools lassen sich somit durch eine gewisse Pragmatik beurteilen (vgl. Abb. 58).

Die System-interne Nutzung der ArchiCAD Schnittstelle hebt sich als ein großer Pluspunkt für den ArchiCAD Workflow hervor. Das in ArchiCAD integrierte ArchiPHYSIK Plugin ermöglicht sozusagen ein Arbeiten innerhalb eines Systems, ohne dies verlassen zu müssen.

Die ArchiPHYSIK Schnittstelle über SketchUp zeigt allerdings eine große Flexibilität in der Anwendung. Über SketchUp können Geometriedaten für den Export nach ArchiPHYSIK sehr einfach erfasst werden. Die Möglichkeit der freien Modellierung in SketchUp bietet eine gewisse Unabhängigkeit im BIM-Workflow. Ein Building Energy Modell kann auf simple Weise unabhängig vom BIM nachmodelliert werden. Dies erfordert jedoch zusätzlichen Modellieraufwand.

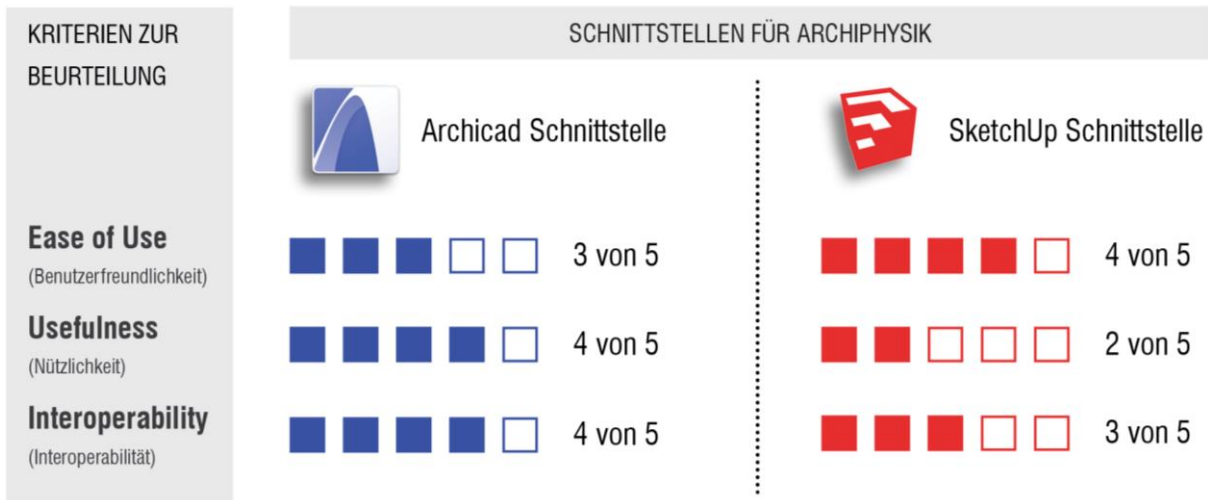


Abbildung 58: Beurteilung der Schnittstellen für ArchiPHYSIK

Wertung in Abhängigkeit der höchstmöglichen Punktezahl die zu erreichen ist: 1 von 5 niedrigster Wert, 5 von 5 höchster Wert

5. OPTIMIERUNG

Die Workflows zeigen anhand der Variantenstudien, dass das Building Information Model beziehungsweise das daraus abgeleitete Building Energy Model vor allem für die Gewinnung und den Transfer von Geometrieinformationen von Bedeutung ist. Eine Optimierung im Sinne einer Prozessoptimierung, um zu einer raschen und effizienten Auswertungsanalyse beispielsweise in der Entwurfsphase zu gelangen, sieht aus Sicht der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit eine gewisse Kompetenzverteilung (Abb. 59) vor. In einer frühen Entwurfsphase ist es nämlich noch nicht zwingend erforderlich, dass ein Gebäudemodell mit allen bauphysikalischen Daten und Indikatoren für eine Energieausweis- oder Lebenszyklusberechnung ausgestattet sein muss. Das digitale Gebäudemodell kann, selbst wenn es nur grundlegende Basisinformationen über die bauliche Beschaffenheit, wie Flächen und Volumina beinhaltet, dennoch für eine Auswertung herangezogen werden.

Auf den Punkt gebracht würde das Schema einer Kompetenzverteilung im Workflow bedeuten, dass dem BIM-Modell nicht alle notwendigen Informationen einseitig entzogen werden können und müssen. Wie die semi-automatisierten Workflows zeigen, werden Daten und Informationen sozusagen beidseitig (vom Modellersteller bzw. Architekt und vom Modellauswerter bzw. Bauphysiker) teils automatisiert und teils manuell beigesteuert. Um zu verhindern, dass Informationen und Daten unnötigerweise mehrfach eingegeben und bearbeitet werden müssen, zielt das Modell der Kompetenzverteilung auf eine beidseitige, den jeweiligen Kompetenzen zugeordnete Datenbeschaffung ab. Für die Kompetenz des Modellerstellers bzw. der Architektur würde das in diesem Fall bedeuten, dass das digitale Gebäudemodell nur für die Beschaffung der Geometrieinformation benötigt werde. Die Kompetenz der bauphysikalischen Datenbeschaffung kommt von einer zweiten Seite. Das BIM oder BEM nimmt somit nur eine Nebenrolle ein. Diese Vorgehensweise eignet sich auch gut für frühe Projektphasen, wie beispielsweise das Entwurfsstadium, in dem ein digitales Gebäudemodell möglicherweise noch keinen ausgereiften Detaillierungsgrad besitzt.

Eine rasche und einfache Anwendung von BIM-basierten Prozessen für EPC und LCA ermögliche eine optimale Nutzung dieser Tools unabhängig der Projektphase. So macht zum Beispiel die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen mit folgendem Zitat auf die prozessbegleitende Anwendung und Optimierung von Ökobilanzen aufmerksam:

„Ziel der planungsbegleitenden Ökobilanz-Optimierung ist es, die ökologischen Auswirkungen aller Lebensphasen eines Gebäudes bereits frühestmöglich in der Planung zu adressieren und über Variantenberechnungen zu senken bzw. zu optimieren. Ökobilanz-Optimierungen sollten zu verschiedenen geeigneten Zeitpunkten durchgeführt werden“ (DGNB, 2019)

In diesem Zusammenhang wird die Notwendigkeit von EPC und LCA zu verschiedenen Projektzeitpunkten hervorgehoben. Einhergehend sollte eine Optimierung der Workflows eine flexible Anwendung in jeder Projektphase als Zielsetzung haben.

Die in den folgenden Unterkapiteln genannte Optimierung bezieht sich einerseits auf eine Optimierung der bereits vorangegangenen beschriebenen semi-automatisierten Workflows, andererseits soll eine zukunftsweisende Vision der optimalen Nutzung eines zentralisierten, automatisierten BIM-Prozesses vorgeschlagen werden.

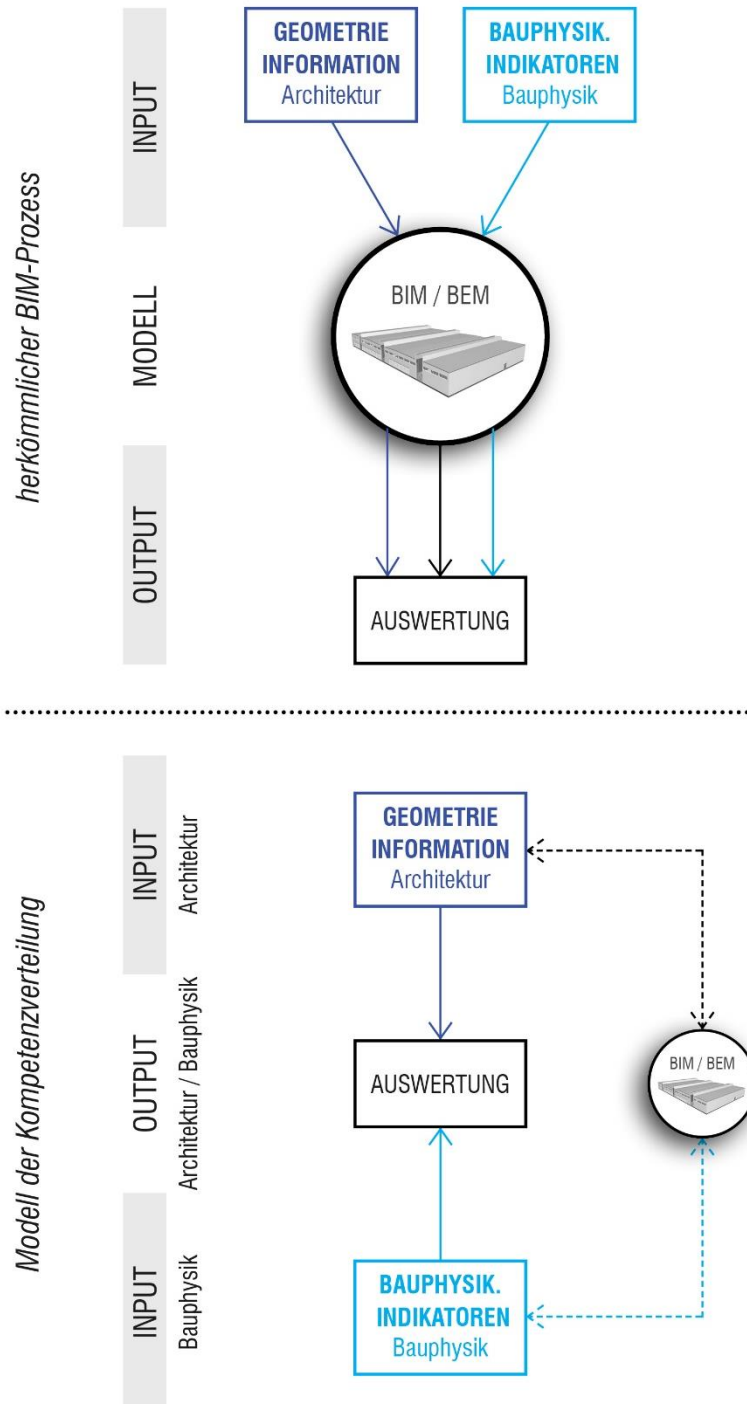


Abbildung 59: Workflowschema „herkömmlicher BIM Prozess“ vs. „Modell der Kompetenzverteilung“

5.1. Optimierung der Software Workflows

Die Workflows für EPC und LCA sind auf die jeweiligen eingesetzten Software-Tools zugeschnitten. Überschneidungen in der Theorie und Anwendung sind dennoch erkennbar und zudem findet man eine einheitliche Vorgehensweise unabhängig von den einzelnen Softwarelösungen vor. Dies wird in der unten dargestellten Grafik (Abb. 60) ersichtlich.

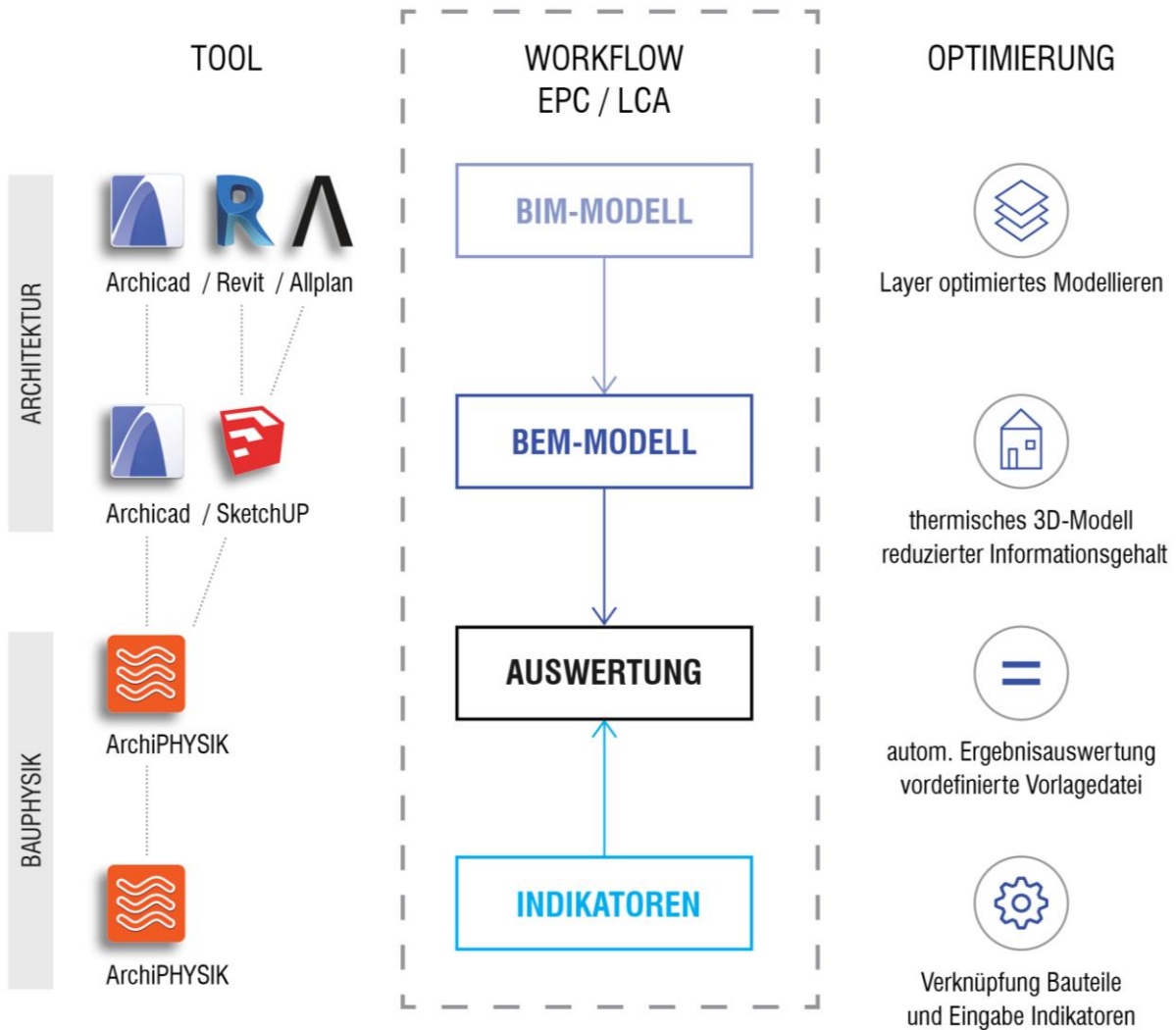


Abbildung 60: Optimierungsschema

In der oben dargestellten Grafik sind die übergeordneten Workflow Phasen und die jeweils dazugehörigen Software-Tools und Optimierungsvorschläge abgebildet.

Für die Erstellung eines digitalen Gebäudemodells sind in der AEC Branche unterschiedliche Authoring Softwarelösungen verfügbar. In der Variantenstudie wurde mit ArchiCAD, Revit und Allplan auf drei gängige Softwarelösungen zugegriffen. Für EPC und LCA ist in der Modellierungsphase die Berücksichtigung der Anpassungsfähigkeit eines Building Information Models hin zum Building Energy Model entscheidend. Der

Export des Building Energy Models kann je nach verwendeter Schnittstelle über ArchiCAD oder SketchUp erfolgen.

Betrachtet man den Weg über ArchiCAD, so ist ein Layer-optimiertes Modellieren von großem Vorteil. Über das gezielte Ein- und Ausblenden von Ebenen kann die benötigte Information im Modell rasch „gefiltert“ werden. Es empfiehlt sich daher eine Ebenen-Kombination für den Export-Vorgang zu erstellen, bei der nur für das BEM relevante Gebäudeinformationen exportiert werden können. Die Ebenenkombination erlaubt somit ein optimales Steuern und Umschalten zwischen BIM und BEM. Modellelementen die für das thermische Gebäudemodell zum Teil nachmodelliert oder angepasst werden müssen, können auch mittels geeigneten Ebenen-Konfigurationen ein oder ausgeblendet werden. Alternativ dazu eignet sich auch der „*Umbafilter*“ im ArchiCAD. Über diesen können unterschiedliche Bauzustände leicht dargestellt werden. Der Umbafilter funktioniert ähnlich der Funktion des Ein- und Ausblendens über die Ebenen-Konfiguration. Gebäudeteile können somit ebenfalls gezielt sichtbar oder unsichtbar gemacht werden. Im Idealfall sollte im Modellierungsprozess ein ArchiCAD Template herangezogen werden, bei dem sogenannte „*Ausschnittmappen*“ bereits voreingestellte Ebenen-Kombinationen und Umbafilter für das Building Energy Model besitzen. So können durchdachte Voreinstellungen bereits im Vorfeld einmalig getätigt werden und in der weiteren Anwendung den Vorteil einer Arbeitszeiterparnis mit sich bringen.

Die Workflow Varianten über Revit und Allplan benötigen anders als beim ArchiCAD Workflow den Umweg über eine weitere Software, nämlich SketchUp. Zwar lässt sich mit SketchUp das digitale Gebäudemodell einfach über die IFC Schnittstelle importieren, benötigt aber für die Erstellung des BEM einen zusätzlichen, teils erhöhten, Modellieraufwand. Die thermische Hülle muss nämlich im SketchUp zur Gänze nachmodelliert werden. Der Vorteil von SketchUp hingegen ist die „Unabhängigkeit“ vom Detaillierungsgrad des Building Information Model. Mit SketchUp können sogar sehr vereinfachte und abstrakte digitale Gebäudemodelle mit der nötigen Geometrieinformation für einen Export zu ArchiPHYSIK herangezogen werden.

Wo einerseits das BIM Modell über die ArchiCAD Schnittstelle sehr effizient genutzt werden kann, kommt andererseits dem BIM Modell bei der Workflow Variante über SketchUp nur eine „statistische Rolle“ zu.

Der optimale Modellzustand für den Workflow für EPC und LCA zeigt aber in allen Fällen ein Thermisches Gebäudemodell, das sogenannte Building Energy Model (BEM), bei dem ein reduzierter Informationsgehalt durch die nötige Geometrieinformationen für die weiteren Berechnungen und Auswertungen in ArchiPHYSIK definiert ist.

Von Seiten der Bauphysik werden in ArchiPHYSIK die nötigen Bauteilinformationen und Indikatoren festgelegt. Diese können im Optimalfall bereits in einer Bibliothek vordefiniert sein, um so nur auf die fertigen Bauteile zugreifen zu müssen. Die im ArchiPHYSIK mit allen relevanten Bauteilschichten und spezifischen bauphysikalischen Indikatoren ausgestatteten Bauteile können daraufhin mit den entsprechenden Bauteilen vom BEM verknüpft werden. Die Verknüpfung im ArchiPHYSIK erfolgt über den CAD Import der aps. Files.

Eine geeignete Vorlagedatei für ArchiPHYSIK bietet sich an, um auf Projektdaten, Gebäude-Eckdaten, Bauteile, vordefinierte Einstellungen für Anlagenkomponenten sowie für die Auswertung benötigte Formulare zugreifen zu können. Mit den nötigen Eingabedaten, die zwar im ArchiPHYSIK zum Teil noch manuell eingegeben werden müssen, können eine Vielzahl an bauphysikalischer Vorberechnungen und Simulationen direkt im Programm durchgeführt werden. Eine automatisierte Ergebnisberechnung für die Energieausweis- oder Ökobilanzberechnung kann über die Formularfunktionen direkt als PDF-Dokument exportiert werden.

5.2. Optimierter semi-automatisierter BIM-Workflow für EPC und LCA

Das optimale Tool und einen optimalen Workflow für Arbeitsprozesse zu eruiieren obliegt stark der jeweiligen Nutzeranwendung und sollte auf die individuellen Bedürfnisse der Anwender zugeschnitten werden.

In Anbetracht der Software Workflows für die Energieausweis- und Ökobilanzerstellung, die aus dieser Arbeit hervorgehen, kristallisiert sich jedoch die Workflow Variante mit ArchiCAD heraus. Nicht zuletzt, da ArchiCAD durch die Programm-interne Schnittstelle für ArchiPHYSIK bis zum Export hin so zu sagen ein Arbeiten innerhalb eines Systems ermöglicht. Vor allem hinsichtlich des alltäglichen Anwendungsbedarf von BIM-basierten Tools für Architekten wird an dieser Stelle das Programm ArchiCAD hervorgehoben.

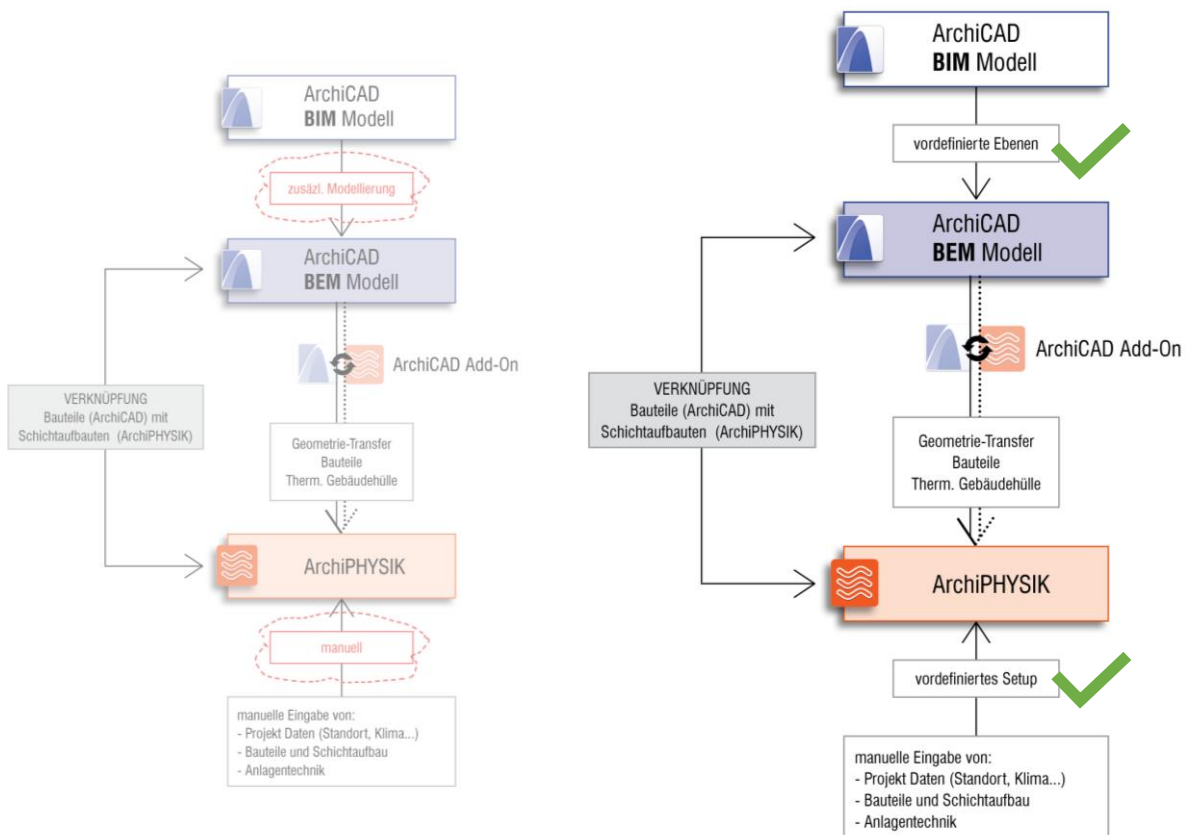


Abbildung 61: Semi-automatisierter BIM-basierter Workflow für EPC und LCA

Abbildung 62: Optimierter semi-automatisierter BIM-basierter Workflow für EPC und LCA

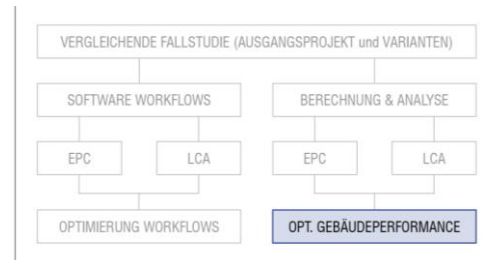
Ein semi-automatisierter BIM-basierter Workflow mittels ArchiCAD und ArchiPHYSIK kann demnach für EPC und LCA wie in der oben dargestellten Grafik (Abb. 62) optimiert angewendet werden.

Die Optimierung gegenüber des in der Variantenstudie dargestellten Workflows (Abb. 61) liegt vorwiegend in den Zwischenschritten bei der Anpassung vom BIM zum BEM, sowie auf Seiten der Bauphysik in den Voreinstellungen durch eine Vorlage-Datei von ArchiPHYSIK. Diese Anpassungen zur Optimierung wurden im vorangegangenen Unterkapitel bereits beschrieben.

5.3. Optimierung der Gebäudeperformance

Mit der Möglichkeit durch BIM-basierte Lösungen für EPC und LCA bereits in frühen Projektphasen die Öko- und Energiebilanz eines Gebäudes überprüfen zu können, wird ein großes Potenzial

für Optimierungsoptionen in den Early Design Stages gesehen. Durch alternative Kombinationslösungen der Gebäudegeometrie oder Gebäudekonstruktion können relativ rasch unterschiedlichste Szenarien hinsichtlich Effizienz und Einsparungspotenzialen überprüft und verglichen werden.



5.3.1. Optimierung der Gebäudeperformance durch Produktverbesserungen – OPTI 1

In einem ersten Variantenvergleich für EPC (siehe Tabelle 5-1), werden die Auswirkungen auf den Energieausweis durch Bauteilverbesserungen untersucht. Die Variante EPC 1 wird hierbei durch Verbesserung der Bauteilschichten zur neuen Variante OPTI 1 optimiert. Gegenüber dem Ausgangsprojekt und der Variante EPC 1 besitzt die neue Variante OPTI 1 bessere Produkte, wie zum Beispiel verbesserte Lambdawert der einzelnen Bauteilschichten. Bei gleichbleibendem Schichtaufbau wird somit noch keine Änderung bzw. Optimierung des Gesamtaufbaus der Bauteile vorgenommen!

Die Optimierung von Variante EPC 1 auf Variante LCA 1 bzw. OPTI 1 erfolgte zudem als notwendiger Schritt für die LCA Auswertungsphase. In dieser Projektphase wurde festgestellt, dass die in ArchiPHYSIK vordefinierten Bauteile teilweise ohne Indikatoren für die ökologischen Berechnungen ausgewiesen waren. Im Zuge der Workflows für den Energieausweis (vgl. Variante EPC 1 bis 3) wurden Bauteile erstellt, die für die Energieausweisberechnung die nötigen Herstellerangaben aufweisen konnten. Für die LCA, bzw. OI 3 Berechnung waren teilweise nur lückenhafte, bzw. keine Datensätze vorhanden.

Somit wurden die Bauteile der thermischen Außenhülle überarbeitet. Durch Produktänderungen konnten einzelne Bauteilschichten in ArchiPHYSIK ausgewechselt werden. Der gesamte Bauteilaufbau blieb jedoch unverändert. Es wurden lediglich Baustoffe in die Schichtaufbauten eingepflegt, die Herstellerangaben für die Ökobilanz mitliefern konnten.

Gegenüberstellung Ausgangsprojekt zu Variante EPC 1 und Variante OPTI 1

	Ausgangsprojekt	Variante EPC 1	Variante OPTI 1
Grundfläche [m ²]	10.023 100 %	10.019 -0,045 %	10.019 -0,045 %
Volumen [m ³]	120.648 100 %	117.547 -2,57 %	117.547 -2,57 %
HWB [kWh/m ² a]	44,01 100 %	46,66 +6,02 %	37,37 -15,09 %
EEB [kWh/m ² a]	194,67 100 %	198,46 +1,95 %	187,78 -3,54 %
HEB [kWh/m ² a]	129,41 100 %	133,22 +2,94 %	122,54 -5,31 %
F _{GEE}	0,372 100 %	0,386 +3,76 %	0,377 0,5 %

Tabelle 5-1 Ergebnisvergleich Variante OPTI 1

5.3.2. Optimierung der Gebäudeperformance durch Änderung der Aufbauten – OPTI 2

In einem weiteren Variantenvergleich wurde sowohl die Auswirkung auf den Energieausweis als auch auf die Ökobilanz evaluiert (siehe Tabelle 5-2). Diese Variante wurde herangezogen, um die Auswirkungen für EPC und LCA durch die Änderungen des Gesamtaufbaus von Bauteilen zu untersuchen. Aufbauten der Bauteile A02, D01 und D02 der bereits optimierten Variante OPTI 1 werden von Leichtbauweise (Holz-Sandwich Konstruktion) in Massivbauweise (Stahlbeton mit hinterlüfteter Alu-Fassade, bzw. Warmdach) geändert und ergeben somit eine weitere neue Variante OPTI 2.

Die Variante OPTI 2 zeigt in der Ergebnisauswertung, dass die Konstruktionsänderungen der Bauteile A02, D01 und D02 Verbesserungen im Energieausweis liefern, sich jedoch negativ auf die Ökobilanz des Gebäudes auswirken. Die umweltfreundliche Leichtbauweise mit Holz zeigt in diesem Fall eine bessere Bilanz hinsichtlich der Primärenergie nicht erneuerbar (PE_{ne}) und dem Globalen Erderwärmungspotenzial bzw. in der CO₂ Bilanz (GWP).

Gegenüberstellung Variante OPTI 1 zu Ausgangsprojekt, Variante EPC 1 und Variante OPTI 2

	Ausgangsprojekt	Variante EPC 1	Variante OPTI 1	Variante OPTI 2
Grundfläche [m ²]	10.023 +0,04 %	10.019 ± 0,00 %	10.019 100 %	10.019 ± 0,00 %
Volumen [m ³]	120.648 +2,64 %	117.547 ± 0,00 %	117.547 100 %	117.547 ± 0,00 %

EPC Energieausweis

HWB [kWh/m ² a]	44,01 +17,76 %	46,66 +24,86 %	37,37 100 %	32,78 -12,28 %
EEB [kWh/m ² a]	194,67 +3,67 %	198,46 +5,69 %	187,78 100 %	182,27 -2,93 %
HEB [kWh/m ² a]	129,41 +5,60 %	133,22 +8,72 %	122,54 100 %	117,03 -4,50 %
F _{GEE}	0,372 -1,33 %	0,386 +2,39 %	0,377 100 %	0,366 -2,92 %

LCA OI3 Bewertung

PEI [MJ]	-	-	92.418.974 100 %	103.580.431 +12,07 %
GWP [t CO ₂ /m ² a]	-	-	5.452 100 %	6.466 +18,60 %
AP [kg SO ₂ /m ² a]	-	-	26.796 100 %	23.995 -10,45 %
OI3 [Pkt] BG3, 100 Jahre	-	-	754,8 100 %	771,51 +2,21 %

Tabelle 5-2 Ergebnisvergleich Variante OPTI 2

6. SCHLUSSFOLGERUNG

Zusammenfassend soll an dieser Stelle der Diplomarbeit ein kurzer Rückblick über den Verlauf der Forschungsarbeit und der daraus gewonnenen Erkenntnisse erfolgen.

Für eine konkrete Vergleichende Studie wurde das Projekt BIM Eco im Entwurfsstadium herangezogen. Ein Ausgangsprojekt wurde nach einer genauen Festlegung von Systemgrenzen und Rahmenbedingungen definiert. Über BIM-basierte Anwendungen für die Berechnung der Energieausweise und Ökobilanzierung konnte der Gebäudeentwurf evaluiert und in weiterer Folge einer Energieausweis- wie Ökobilanzberechnung unterzogen werden. Hierbei wurden die Software Workflows in einer Variantenstudie evaluiert und durch Berechnungsverfahren mit unterschiedlicher Software ausgewertet. Die Ergebnisgegenüberstellung der aus den Varianten erhaltenen Resultate, liefert einen Vergleich über die Gebäudeeffizienz in Abhängigkeit der jeweils angewandten Methode. Abschließend konnte eine Entwurfsoptimierung durch Verbesserung der Gebäudeperformance durchgeführt werden (Abb. 63).



Abbildung 63: Schlussfolgerung Projektverlauf

Im Bereich der Ergebnisanalyse aus den EPC Workflows wird eine geringe Schwankungsbreite bei der Geometrieauswertung vermerkt. Die Geometrieermittlung zeigt eine Abweichung bei der Volumenberechnung mit einem Delta von insgesamt 3,59 %. In den Energiebedarfsberechnungen hingegen zeigt sich eine Schwankungsbreite von bis zu 11,61 % in der Heizwärmebedarfsberechnung. Die Variante EPC 1 erfährt mit einem HWB von 46,66 kWh/m²a und somit +6,02 % gegenüber dem Ausgangsprojekt das schlechteste Ergebnis in der HWB Berechnung, wogegen die Variante EPC 2 mit -5,59 % und einem HWB von 41,55 kWh/m²a in dieser Wertung das beste Ergebnis einführt. Diese Unterschiede sind auf die Differenzen in der Geometrieermittlung (Brutto Grundfläche und Brutto Volumen) der Building Energy Models zurückzuführen. Festzustellen ist, dass Varianten, bei denen eine größere Grundfläche ausgelesen wurde, ein verbesserter HWB Wert festzustellen ist. Dies ist zurückzuführen auf die flächenbezogenen Verhältnisse der Energiebedarfsrechnungen, gemessen in Kilowattstunden per Quadratmeter [kWh/m²].

Die Ergebnisgegenüberstellung der LCA Berechnungen für die Varianten LCA 1 und LCA 2, bei denen die gleichen Datensätze verwendet wurden, zeigt eine annähernd idente Auswertung für die Primärenergie nicht erneuerbar (PE_{ne}), ebenso für das Treibhauspotenzial (GWP) und das Versauerungspotenzial (AP). Somit kann das Berechnungsverfahren in der Variante LCA 1 mit dem Software Workflow über ArchiPHYSIK bestätigt werden. Die Gegenüberstellung verifiziert die ArchiPHYSIK Auswertung anhand der Ergebnisse aus der herkömmlichen, manuellen Berechnungsmethode mittels MS Excel Tabellen in der Variante LCA 2.

Im LCA Variantenvergleich resultierend aus der Berechnung mit unterschiedlichen Datensätzen sind weitaus höhere Abweichungen festzustellen. Der Variantenvergleich LCA 2 und LCA 3 zeigt beispielsweise eine Diskrepanz von bis zu 18,73 % bei der Auswertung PE_{ne} des Bauteils B01. Grundsätzlich werden hier die abweichenden Datensätze aus unterschiedlichen Quellen als Ursache festgehalten. Vor allem der Bauteil B01 zeigt in allen Auswertungen für PE_{ne}, GWP und AP hohe Differenzen. Auch wenn die für die LCA Berechnung eingesetzten Indikatoren aus Baubook bzw. aus dem IBO Katalog nur geringe Unterschiede aufweisen, können die Gesamtergebnisse stark variieren.

In der ökologischen Einzelbewertung der Bauteile der thermischen Hülle ist festzustellen, dass der Massivbauteil A01 (Stahlbeton, WDVS und hinterlüftete Alufassade) in allen Kategorien der LCA Bewertung das höchste Ausmaß trägt.

Die Erkenntnisse aus der Optimierung der Gebäudeperformance zeigen, dass die BIM-basierten Verfahren bereits in frühen Entwurfsphasen gut eingesetzt werden können. Potenzielle Änderungen beispielsweise im Bauteilaufbau oder bei der Wahl der Gebäudekonstruktion können bereits in den Early Design Stages in ihrer Gesamtauswirkung auf die Ökologie eines Gebäudes untersucht werden. Somit kann in der Entwurfsphase rasch auf Änderungen reagiert und auch mögliche Optimierungen der Gebäudeperformance erzielt werden.

Die Optimierungsvariante OPTI 1 zeigt eine wesentliche Verbesserung des Energieausweises gegenüber dem berechneten Ausgangsprojekt und der Variante EPC 1. Dieser Variantenvergleich zeigt, dass allein durch die Verbesserung einzelner Bauteilschichten der thermischen Hülle und durch einen Produktaustausch bessere Ergebnisse in der Energiebedarfsberechnung erreicht werden können. Die Variante OPTI 1 zeigt einen verbesserten HWB Wert von 37,37 kWh/m²a mit einem Optimierungsausmaß von 15,09 % gegenüber dem Ausgangsprojekt. Ohne den gesamten Schichtaufbau ändern bzw. gar die Gesamtkonstruktion ändern zu müssen können hier optimierte Ergebnisse erreicht werden.

Einen noch besseren Energieausweis liefert die Variante OPTI 2. Gegenüber der Variante OPTI 1 liegt der HWB der Variante OPTI 2 bei 32,78 kWh/m²a und ist somit um weitere 12,28 % optimiert. Diese Optimierung im Bereich der Energieausweisberechnung lässt sich auf den Bauteilaustausch der Bauteile A02, D01 und D02 zurückzuführen. Die Gebäudeperformance sollte hier durch einen Austausch von gesamten Bauteilen und somit einer Konstruktionsänderung der thermischen Außenhülle optimiert werden. Die Ergebnisse zeigen eine positive Auswirkung auf den Energieausweis, jedoch eine teilweise Verschlechterung in der ökologischen

Bewertung. Die Werte PEI_{ne} und GWP der Variante OPTI 2 sind um jeweils +12,07 % bzw. +18,60 % erhöht, wobei das Versäuerungspotenzial (AP) mit -10,45 % im grünen Bereich liegt. Durch die Änderung der Konstruktionsweise der Bauteile A02, D01 und D02 von einer Holz-Leichtbauweise auf eine Massivbauweise konnte zwar der Energiebedarf nochmals um einiges optimiert werden, der ökologische Vorteil des Materials Holz geht jedoch durch den Austausch mit Stahlbeton und einer Alufassade abhanden.

Im Bereich der Software Workflows zeigt die Evaluierung, dass eine Vollautomatisierung von BIM-basierten Verfahren derzeit noch nicht bzw. nur beschränkt möglich ist. Vor allem die bereits angesprochene gewerkübergreifende Schnittstellenproblematik in beide Richtungen auf- und abwärts ist zum jetzigen Stand der Technik ein brisantes Thema.

Über die Notwendigkeit und den Einsatz von BIM in der AEC Branche lässt sich im zunehmenden und stets rasant entwickelnden digitalen Zeitalter jedoch kaum mehr streiten. Arbeitserleichterung, Zeitersparnis, computerunterstütztes Design oder interdisziplinäre Vernetzung sind nur ein paar der Stichwörter und wohlgeheißenen Vorteile, die durch eine revolutionäre Arbeitsweise in der Baubranche versprochen werden.

Diese Versprechungen werden zu einem Großteil bereits eingehalten. Bahnbrechende Lösungen in der Software-Industrie haben die Arbeitsweise von Architekten und Ingenieuren maßgeblich beeinflusst und auf eine neue, nie zuvor dagewesene Ebene gehoben.

Doch mit stetig wachsendem Know-how und dem fulminanten technischen Fortschritt steigen zugleich auch die maßgeblich hohen Anforderungen an die Industrie. Der Themenkomplex rund um BIM ist zudem ohnehin schon in sehr breit gestreutem Umfang. Mit dieser Arbeit wird zum Teil ein kleiner Ausschnitt dessen gezeigt, welche Komplexität sich hinter dem Themengeflecht der BIM-Welt verbergen kann.

6.1. BIM ≠ BEM

Eines der Kernthemen, auf die im Zuge dieser Arbeit eingegangen wurde, ist die formale Ausprägung eines digitalen Gebäudemodells. Im Bereich von energietechnischen Fragen, die ein Gebäudemodell im Laufe seines Lebenszyklus beantworten muss, steht das Building Energy Model im Vordergrund. Der Prozess, um ein Building Energy Model zu generieren stellt in Software Workflows für EPC und LCA somit eine entscheidende Kernkompetenz dar.

Das Energiemodell wird in der gegenständlichen Variantenstudie durch zusätzliche Modellierung von einem Building Information Model abgeleitet. Je nach verwendeter Software gibt es hierfür unterschiedliche Lösungsansätze wie das BIM zum BEM wird.

Im BIM und BEM Vergleich zeigen sich wesentliche Unterschiede in der Modelleigenschaft, der Modellstruktur und den Rahmenbedingungen des Modells. Das BEM als Energiemodell zeigt einen deutlich niedrigeren

Informations- und Modellinhalt gegenüber dem zentralen, sehr umfangreich detaillierten Building Information Model. Dies ist auf die Systemgrenzen zurückzuführen, die für energietechnisch bezogene Berechnungen vom Gesamtmodell abgesteckt werden. So wird bei einem Energieausweis hauptsächlich die Gebäudehülle, als thermische Systemgrenze eines Modells analysiert. Komponenten wie Innenwände, Zwischendecken, Möblierung oder ähnliches, die nicht Teil der thermischen Hülle sind, können zudem vernachlässigt werden.

Massen und Mengen, die aus dem BEM herausgelesen werden sind zudem maßgeblich zu berücksichtigen. Die Geometriedaten sind wesentlicher Bestandteil für die Berechnungen, die somit auf Grund der Geometrie-Abweichungen vom BIM zum BEM unterschiedlich ausfallen können.

6.2. Bedarf vs. Verbrauch

Als Thema am Rande dieser Diplomarbeit wird an dieser Stelle in einer kurzen Schlussfolgerung auf das Verhältnis zwischen einem prognostizierten Energiebedarf und dem tatsächlich gemessenen Energieverbrauch eingegangen.

Im heutigen Zeitalter, das Großteils von standardisierten Werten geprägt ist, wird stets der Versuch einer Vergleichbarkeit bemüht. So auch im Gebäudesektor, wo beispielsweise Neubauten bereits im Genehmigungsverfahren etliche normierte Anforderungen erfüllen müssen. Energiekennzahlen wie der Heizwärmebedarf eines Energieausweises spielen hierbei eine bedeutende Rolle. Für den einfachen Gebäudenutzer bekommen diese semantischen Werte eine gewisse „Greifbarkeit“ durch die tatsächlichen Verbrauchswerte, die wiederum für Kostenabrechnungen oder dergleichen herangezogen werden.

Es wäre somit sinnvoll, mit Verbräuchen zu rechnen, da diese tatsächlich messbar sind. Ein Bedarf, wie der Heizwärmebedarf, wird im Vorfeld der Gebäudenutzung prognostiziert und muss erst verifiziert werden, ehe dieser eine vernünftige Aussagekraft bekommt. So zeigt die Praxis, dass die Bedarfswerte von Energieausweisen mit einer Abweichung von 10 bis 20 Prozent gegenüber den tatsächlichen Verbrauchswerten liegen.

In der Phase der Planung geben die Bedarfswerte dennoch eine sehr vernünftige Vergleichbarkeit und gute Einschätzung der ökonomischen und ökologischen Faktoren eines Gebäudes. Zum Zeitpunkt der Planung und Errichtung können keine Verbrauchswerte generiert werden, weshalb Bedarfswerte herangezogen werden müssen. Diese sind jedoch mit Vorbehalt des späteren Nutzerverhaltens zu betrachten, da die Verbrauchswerte in Abhängigkeit der Gebäudenutzung unterschiedlich stark beeinflusst werden können.

Ein weiterer Verhältnisaspekt, der in der Aussagekraft von Bedarfs- und Verbrauchswerten eine entscheidende Rolle spielt, ist letztendlich die Nutzung des Gebäudes. Um dies anhand eines fiktiven Beispiels zu erklären, wird als Rahmenbedingung eine 100 m² Wohnung mit einem Heizwärmebedarf von 20 kWh/m²a gewählt.

Dieser Heizwärmebedarf stellt einen sehr guten Wert dar, der beinahe Passivhausstandard entspricht. Um die Aussagekraft dieses „guten Wertes“ jedoch zu steigern, könnte man nun die Wohnfläche von 100 m² beispielsweise gegenüber der tatsächlichen Nutzerzahl, also der Bewohner gegenüberstellen. In der Annahme, dass die 100 m² Wohnung von nur einer Person genutzt wird, steht dieser gute Wert nicht im Vergleich dazu, wenn dieselbe Wohnung zum selben Bedarf von beispielsweise einer Kleinfamilie mit vier Personen genutzt wird. Im Pro Kopf Vergleich wäre ein besserer Energiewert bei dem größeren Haushalt zu sehen, sprich bei der vierköpfigen Familie mit einem HWB von 5 kWh/m²a pro Person, gegenüber dem Singlehaushalt mit demselben Bedarf zu 20 kWh/m²a pro Person.

In einem weiteren Kontext sollten die Eingabewerte für die Energieausweisberechnung proportional an den Flächen und Volumenanteil angeglichen werden, da der gleiche Energiewert bei höherem Flächen- oder Volumenanteil bessere Bedarfswerte ergibt.

Zusammenfassend gilt zu sagen, dass der Einfluss diverser Faktoren in unterschiedlichen Zusammenhängen einen Spielraum für Interpretationen und Auslegungen von Vorgabewerten und deren Zielvorgaben übrig lässt. Um einen aussagekräftigen Vergleich heranziehen zu können, bedarf es teilweise nicht nur einer Gegenüberstellung allein. So ist auch die Gegenüberstellung vom Bedarf und Verbrauch aus mehreren Perspektiven zu betrachten.

6.3. Zukunftsvision: zentralisierter, automatisierter BIM-basierter Workflow für EPC und LCA

Im Verlauf dieser Diplomarbeit wurden unterschiedliche Herausforderungen, aber auch Potenziale diverser Arbeitsmechanismen zum derzeitigen Stand der Technik betrachtet. Um ein mögliches Zukunftsszenario im Kontext dieser Diplomarbeit aufzuzeigen und einen Denkanstoß für weitere Entwicklungsansätze in Richtung automatisierter BIM-Workflows zu bieten, wird an dieser Stelle der Arbeit ein visionärer Standpunkt eingenommen: Ein Konzeptvorschlag für einen automatisierten und zentralisierten, BIM-basierten Workflow für EPC und LCA soll den Versuch eines zukunftsorientierten Lösungsvorschlages vermitteln – Ein Ausblick in eine mögliche revolutionäre Zukunft.

Eines der Hauptthemen das es zu lösen gilt, liegt im Bereich der Schnittstellenthematik. Die Forschung und Technik wird vor allem in der Open-BIM Anwendung Lösungen finden müssen, die ein uneingeschränktes disziplinübergreifendes Arbeiten an einer zentralen Grundlage, nämlich dem digitalen Modell, ermöglichen.

Der Schritt in Richtung Automatisierung wird vermutlich über ein zentrales Building Information Model (Abb. 64) führen, auf das alle Fachdisziplinen Zugriff haben – sei es im Closed Bim innerhalb eines Systems oder über Schnittstellen wie IFC im Open BIM. Werden alle Informationen zentralisiert und gebündelt in einem Modell gespeichert, kann auf diese nach Bedarf zugegriffen werden – das digitale Gebäudemodell bleibt somit durchgängiger Informationsträger. So können benötigte Daten auf direktem Weg in das zentrale Medium

eingespeist werden. Beispielsweise könnte für eine energetische Analyse und Auswertung der disziplinspezifische Input von Architekten, Bauphysikern, Elektroplanern und Haustechnikern in einem Modell zusammengefasst werden. Die Mehrfacheingabe von Informationen in weiteren Arbeitsschritten kann dadurch unterbunden werden. Mit dem BIM als zentrales Speichermedium können alle Daten aus einer Hand zur Auswertung herangezogen werden. Das Building Information Model liefert auf Grund des vorgeleisteten Inputs die konkreten BEM Daten für einen Energieausweis oder eine Ökobilanz. Geometrie, Bauteile, bauphysikalische Indikatoren, Anlagentechnik und Geo-Daten wie Klima und Lage sind jederzeit über das Modell verfügbar.

Mit dem Modell als digitalem Abbild eines physischen Gebäudes könnten unterschiedliche Simulationen durchgeführt werden. Ergebnisauswertungen könnten zudem am Modell „sichtbar“ gemacht werden. Beispielsweise könnten im Zuge einer Energieausweisberechnung Schwachstellen in der Gebäudehülle anhand thermischer Simulationen erkannt werden. Erkenntnisse aus der Auswertung würden somit nicht nur in alphanumerischen Daten verfügbar, sondern direkt am Modell erkennbar sein.

Im Weiteren werden zwei Workflows präsentiert, die sich auf diese Konzeptionsweise beziehen. Eine Closed-BIM Variante (Abb. 65) zeigt einen möglichen automatisierten Workflow für EPC und LCA innerhalb einer Systemlösung. Als geschlossenes System könnte beispielsweise ArchiCAD mit dem systeminternen Plugin ArchiPHYSIK so weiterentwickelt werden, dass eine Energieausweis- und Ökobilanzberechnung direkt im Authoring Programm durchgeführt werden könnte. Eine Open-BIM Lösung (Abb. 66) würde einen systemunabhängigen Modellaustausch bedeuten. Für den Modelldatenaustausch kann beispielsweise der offene Standard der IFC Schnittstelle gewählt werden. Wie bereits geschildert würden in beiden Fällen die BEM-Daten direkt aus dem digitalen Modell entnommen und verarbeitet werden. Energietechnisch relevante Simulationen für den Energieausweis und die Lebenszyklusanalyse würden eine Analyse am Modell ermöglichen und Rückschlüsse aus den gewonnenen Erkenntnissen direkt in das BIM zurückführen. Die Ergebnisauswertung könnte zudem durch die Simulation unterstützt werden.

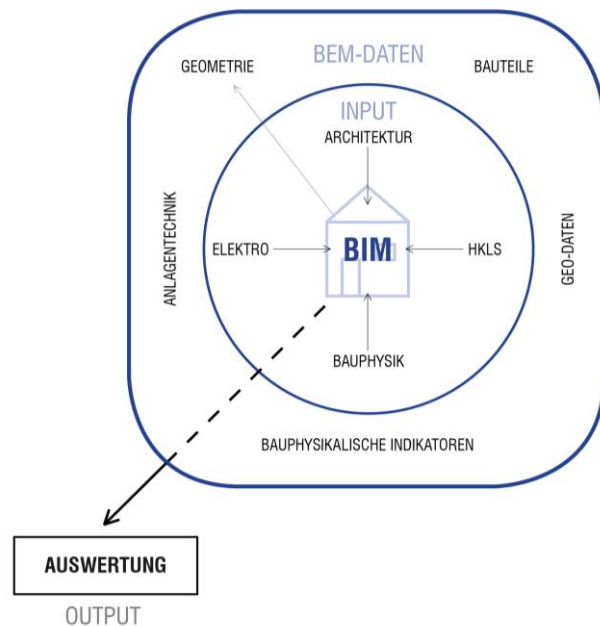


Abbildung 64: Schema zentralisierter, automatisierter BIM-basierter Workflow für EPC und LCA

Workflow Closed BIM Variante

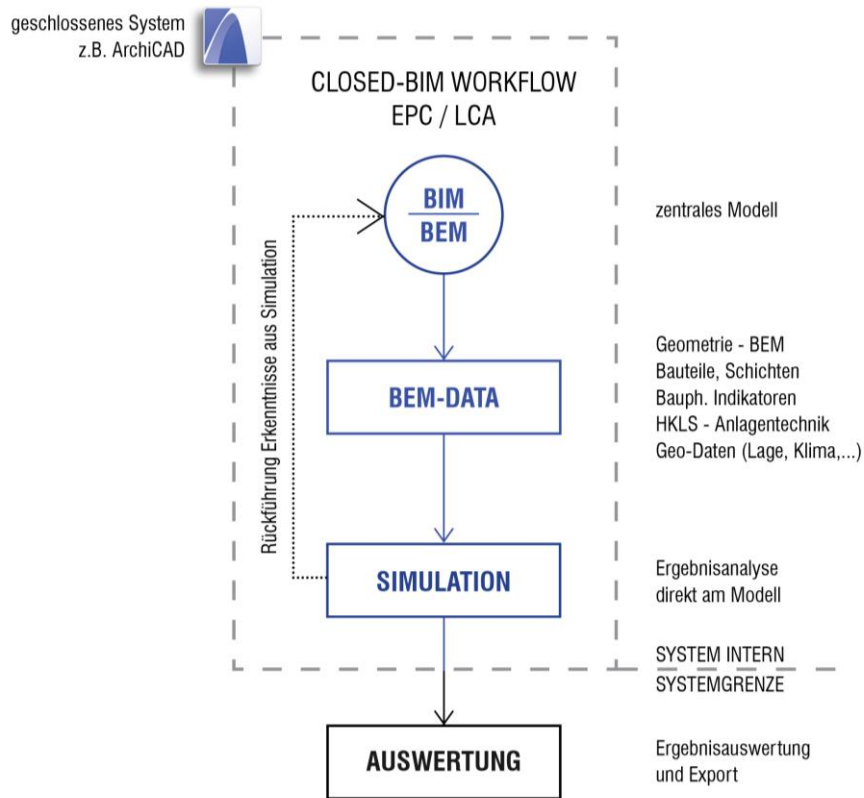


Abbildung 65: Workflow Closed BIM Variante

Workflow Open BIM Variante

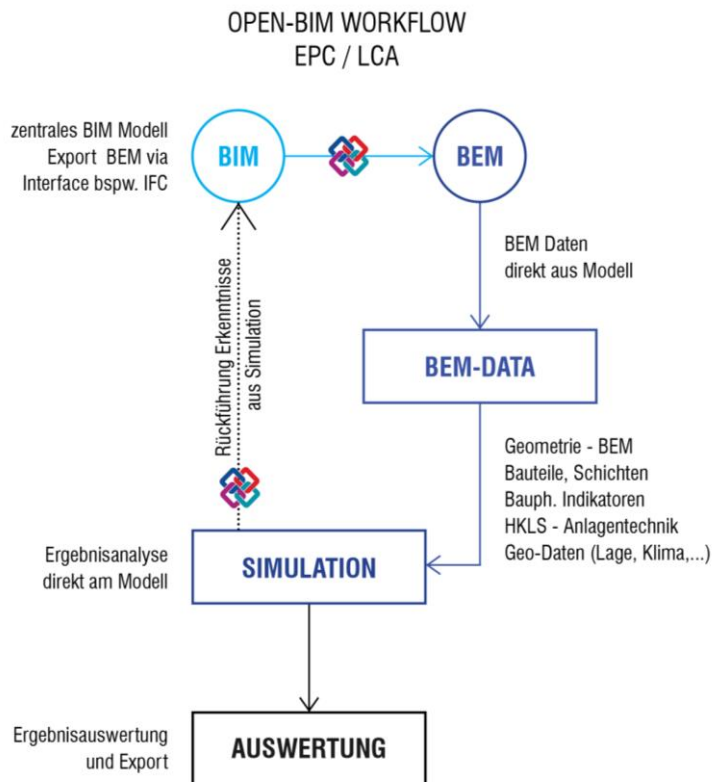


Abbildung 66: Workflow Open BIM Variante

6.4. Zukunftsblick

In einem kurzen abschließenden Resümee wird erneut auf die Thematik von semi-automatisierten BIM Prozessen eingegangen.

Im Sektor der Gebäudedigitalisierung bietet die Industrie derzeit eine Vielzahl an außergewöhnlichen Neuerungen und Lösungen in einer immer zunehmend digitalen Branche. Von der Vision der papierlosen Baustelle bis hin zu Virtual Reality am Bau erleben neue Konzepte und Technologien eine noch nie dagewesene Renaissance. Doch liegt in dieser bunten Vielfalt und der unbändigen Dynamik mit der die Entwicklungen, vor allem in der Technikbranche vorangetrieben werden zugleich Fluch und Segen.

Auf einem sehr stark konkurrierenden Markt kämpfen Unternehmen und Hersteller um die Vormacht. Das sprichwörtliche „Kochen in der eigenen Suppe“, wie es vor allem in Closed-BIM Ansätzen gesehen wird, unterstreicht zudem den Drang danach, eine gewisse Dominanz und Stellung im Feld der Forschung und Technik einzunehmen. Der programmübergreifende Austausch ist in der Softwareindustrie zum Teil bewusst limitiert und eingeschränkt, weshalb Automatismen außerhalb eines Systems nur begrenzt möglich sind.

Auf die Herausforderungen der manuellen Dateneingabe bei gewerkeübergreifenden, interdisziplinären Projektarbeiten wurde in dieser Arbeit bereits vermehrt hingewiesen. Diese müssen aber nicht zwingend als Nachteil gesehen werden. So kann beispielsweise die manuelle Dateneingabe in einem semi-automatisierten Prozess auch als Kontrollinstanz durch die Expertise von Fachkräften gesehen werden. Die menschliche Interaktion zwischen „Geist“ und Automatismus erlaubt eine Symbiose aus natürlichen Instinkten und computergestützter Programmierung. So wird automatisierten Prozessen eine gewisse „Menschlichkeit“ verliehen und das Aussetzen von menschlichem Verstand unterbunden. Ziel von BIM-unterstützten Prozessen sei es nämlich nicht, den Menschen und dessen Wissen zu ersetzen, sondern die Unterstützung einer effektiveren Arbeitsweise zu ermöglichen.

Um dennoch einen kurzen Zukunftsblick zu wagen, kann man festhalten, dass der Gedanke von Open-BIM in Zusammenhang mit den disziplinübergreifenden Anforderungen stets an Bedeutung und Wichtigkeit gewinnt und eine kontinuierliche Entwicklung erfahren wird – der „Factor Mensch“ wird hierbei auch in naher und ferner Zukunft weiterhin eine entscheidende Rolle in der Prozessgestaltung spielen.

7. VERZEICHNISSE

7.1. Literaturverzeichnis

Achammer, C. M., Kovacic, I. (2013): *BIM for LCS. Building Information Modeling for Life Cycle Structures*. Praxisreport 2013. Neuer Wissenschaftlicher Verlag – NWV Verlag GmbH. Wien.

Adamus L. W. (2013): *BIM: Interoperability for Sustainability Analysis in Construction. Central Europe towards Sustainable Building 2013*.

Ahn KU, Kim YJ, Park CS, Kim I, Lee K. (2014): *BIM interface for full vs. semi-automated building energy simulation*. Energy Build 2014

Ajayi, S.O. et al., (2015): *Life cycle environmental performance of material specification: a BIM-enhanced comparative assessment*. Int. J. Sustain. Build. Technol. Urban Dev. 6

ArchiPHYSIK ©2019 Software. URL:

<https://www.archiphysik.at/software/> (Zugriff am 26.03.2019)

ArchiPHYSIK, Online Text. URL:

<https://www.archiphysik.at/> (Zugriff am 26.04.2019)

Barbour, C.E. et al. (2016): *Research & Development Roadmap for Building Energy Modeling – Draft – for Review Only*. Washington: Navigant Consulting Inc.

Basbagill, J. et al. (2013): *Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts*. Build. Environ. 60 (2013)

Baunetz_Wissen_ Glossar. URL:

<https://www.baunetzwissen.de/glossar/l/level-of-detail-5314502> (Zugriff am 27.03.2019)

Baunetz_Wissen_ Artikel: *Was bedeutet LOD/LOI?* URL:

<https://www.baunetzwissen.de/bim/fachwissen/modellinhalte/was-bedeutet-lod-loi-5285890> (Zugriff am 27.03.2019)

Beazley, S. et al. (2017): *"Enhancing energy efficiency in residential buildings through the use of BIM: The case for embedding parameters during design," Energy Procedia*, vol. 121, pp. 57-64, 2017/09/01/ 2017.

DGNB, Online Text: <https://www.dgnb.de/de/>

Energy Performance of Building Directives (EU). URL:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>

Zugriff und Download 12.03.2019

Europäische Kommission, Online Artikel: *Rahmen für die Klima- und Energiepolitik der EU bis 2030*. URL:
https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_de (Zugriff am 12.03.2019)

Europäische Kommission, Online Artikel: *Pariser Abkommen*,
https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en (Zugriff am 12.03.2019)

F.Flager, J. Basbagill, M. Lepech, M. Fischer (2012): *Multi-objective building envelope optimization for life-cycle cost and global warming potential*. Stanford University, Stanford, CA, USA

Foucquier, A. et al. (2013): *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd.

Georges, L. et al. (2014): *Life cycle emissions analysis of two nZEB concepts*. Build. Res. Inf. 43

Häkkinen, T., Kiviniemi, A. (2008): *Sustainable Building and BIM*, in: World Conf. SB08, 2008: pp. 679–686.

Hannewald, T. (2017): *Der richtige Einstieg in BIM* (Online Blog). URL:

<https://blog.nupis.de/einstieg-open-bim-closed-bim/>

Veröffentlicht am 08. März 2017 (Zugriff am 14.03.2019)

Hirner, H.: *Building Information Modeling*. Online Artikel, URL:

<https://www.austrian-standards.at/infopedia-themencenter/infopedia-artikel/building-information-modeling-bim/> © 2019 Austrian Standards (Zugriff am 11.03.2019)

<https://www.austrian-standards.at/produkte-leistungen/kostenlose-downloads/supplements-zu-normen/oenorm-a-6241-1/> © 2019 Austrian Standards (Zugriff am 25.03.2019)

Hirner, H.: *Energieausweis*. Online Artikel, URL:

<https://www.austrian-standards.at/infopedia-themencenter/infopedia-artikel/energieausweis/>

© 2019 Austrian Standards (Zugriff am 24.04.2019)

Houlihan Wiberg, A. et al. (2014): *A net zero emission concept analysis of a single-family house*. Elsevier, Energy Building 74

Jalaei F., Jarde A. (2014): *An Automated BIM Model to Conceptually Design, Analyze, Simulate, and Assess Sustainable Building Projects*. Hindawi 2014.

Jalaei F., Jarde A. (2013): *Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage*. Springer, Building Simulation 6

König, H., et al. (2009): *Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung. Grundlagen, Berechnung, Planungswerkzeuge*. Detail Green Books. München: Detail Green Books, 1. Auflage

Kovacic, Rüdiger, Oberwinter, Kölbl: BIM_Bake, UE 253.B35 (TISS)

<https://tiss.tuwien.ac.at/course/courseDetails.xhtml?dswid=3974&dsrid=23&courseNr=253B35&semester=2017W> (Zugriff am 14.03.2019)

BIM_Bake, UE 253.B35, TISS, Ziele der Lehrveranstaltung, <https://tiss.tuwien.ac.at/course/>

Motawa I., Karter C. (2012): *Sustainable BIM-based Evaluation of Buildings*. Elsevier Ltd.

O'Donnell, J. T. et al. (2013): *Transforming BIM to BEM: Generation of Building Geometry for the NASA Ames Sustainability Base BIM*.

Röck, M. et al. (2018): *LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages*. Elsevier B.V., Procedia CIRP 69 (2018) S. 218-223

Rahmani Asl, M. et al. (2015): *A framework for BIM-based performance optimization*, Energy Build.

Seo, S. et al. (2007): Automated material selection and environmental assessment in the context of 3D building modelling, J. Green Build. 2 (2007) 51–61.

Shin, Y. et al. (2015): BIM Application to Select Appropriate Design Alternative with Consideration of LCA and LCCA, Math. Probl. Eng. Hindawi Publ. Corp. (2015)

Soust-Verdager, B. et al. (2016): *Critical Review of BIM-based LCA method to buildings*. Elsevier B.V.

Tautschnig, A., Fröch, G., Gächter, W. (2014): *What's BIM?* Innsbruck: STUDIA Universitätsverlag, 2. Auflage, S. 25. Definition BIM lt. DI Pape, O.

Tautschnig, A., Fröch, G., Gächter, W. (2014): *What's BIM?* Innsbruck: STUDIA Universitätsverlag, 2. Auflage

Wang, E. et al. (2011): *A Building LCA Case Study Using Autodesk Ecotect and BIM Model*. Papers in Construction Management. 6.

Weglage, A (2008): *Energieausweis – Das große Kompendium. Grundlagen – Erstellung – Haftung*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag | GWV Fachverlage GmbH, 2. Auflage

Welle B, Haymaker J, Rogers Z. (2011): *Thermal Opt: a methodology for automated BIM-based multidisciplinary thermal simulation for use in optimization environments*. Build Simul 2011

WUKSEA, Online Text. URL:

https://www.usp.gv.at/Portal.Node/usp/public/content/online_verfahren/wuksea/171236.html

(Zugriff am 25.04.2019)

7.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodologie der „National Calculation Method“ (NCM nach I. Motawa u. K. Carter, 2012) ...	11
Abbildung 2: EPC und LCA nach einer Projektstudie der Universität Stanford (F. Flager, et al, 2012)	12
Abbildung 3: Zeitablauf Vorgehensweise.....	17
Abbildung 4: Methodische Vorgehensweise.....	18
Abbildung 5: Muster Energieausweis lt. Anhang OIB 6 (OIB 6 Richtlinie Stand März 2015)	22
Abbildung 6: Vorgang Modell-Export ArchiCAD.....	26
Abbildung 7: Vorgang Modell-Export SketchUp.....	26
Abbildung 8: Darstellung eines Lebenszyklus (Jan Paul Lindner, Universität Stuttgart, LBP-GaBi).....	27
Abbildung 9: Dreieck der Nachhaltigkeit.....	28
Abbildung 10: Phasen einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040	29
Abbildung 11: Phasen einer Ökobilanz von Gebäuden	30
Abbildung 12: Beispielhafte Darstellung eines BIM-basierten Workflows.....	36
Abbildung 13: 3D Axonometrie mit Umgebung und Lageplan Projekt Alpen Backwerk	39
Abbildung 14: Schaubild Entwurf Alpen Backwerk	40
Abbildung 15: Grundriss Entwurf Alpen Backwerk	41
Abbildung 16: Energie- und Tragwerkskonzept Entwurf Alpen Backwerk	42
Abbildung 17: Systemgrenzen Ausgangsprojekt BIM-Eco	44
Abbildung 18: Forschungsdesign	50
Abbildung 19: Allgemeines Flussdiagramm zur Vorgehensweise in der Variantenstudie für EPC	52
Abbildung 20: Allgemeines Flussdiagramm zur Vorgehensweise in der Variantenstudie für LCA.....	54
Abbildung 21: Modellergebnis ArchiCAD	58
Abbildung 22: Modellierung und Modellergebnis REVIT.....	59
Abbildung 23: Modellergebnis Allplan.....	60
Abbildung 24: Allgemeines Flussdiagramm Optimierung Variante OPTI 1 und OPTI 2.....	61
Abbildung 25: Übersicht BIM Workflows EPC Varianten	62
Abbildung 26: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für EPC Ausgangsprojekt.....	64
Abbildung 27: Modellierhinweis ArchiCAD	66
Abbildung 28: Building Energy Model ArchiCAD	66
Abbildung 29: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für Variante EPC 1.....	69
Abbildung 30: BIM Modell in Revit mit Nachmodellierung.....	70
Abbildung 31: BIM Modell Transfer von Revit nach SketchUp	71
Abbildung 32: Rekonstruktion BEM in SketchUp	72
Abbildung 33: Materialkatalog in SketchUp	72
Abbildung 34: Export Assistent in SketchUp mit Geometriedaten des thermischen Modells	72

Abbildung 35: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für Variante EPC 2.....	74
Abbildung 36: Ausgelesene Geometriedaten in Excel	75
Abbildung 37: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für Variante EPC 3.....	76
Abbildung 38: Übersicht BIM Workflows LCA Varianten	77
Abbildung 39: Building Energy Model ArchiCAD	78
Abbildung 40: Screenshot ArchiPHYSIK 2015 – manuelle Dateneingabe von LCA Werten in APH.....	80
Abbildung 41: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für die Variante LCA 1	81
Abbildung 42: Berechnungstabelle in Microsoft Excel für eine ÖKO-Bilanz nach OI3 Index	82
Abbildung 43: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für die Variante LCA 2	84
Abbildung 44: Flussdiagramm zur Beschreibung der Workflowschritte für die Variante LCA 3	85
Abbildung 45: Workflow Ausgangsprojekt	86
Abbildung 46: Workflow Ergebnis Variante EPC 1	87
Abbildung 47: Workflow Ergebnis Variante EPC 2.....	87
Abbildung 48: Workflow Ergebnis Variante EPC 3.....	88
Abbildung 49: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 2 - PEIne.....	92
Abbildung 50: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 2 - GWP.....	92
Abbildung 51: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 2 - AP	92
Abbildung 52: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 1 - PEIne.....	93
Abbildung 53: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 1 - GWP.....	93
Abbildung 54: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 1 - AP1	93
Abbildung 55: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 3 - PEIne.....	96
Abbildung 56: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 3 - GWP.....	96
Abbildung 57: Graphische Ergebnisdarstellung LCA 3 - AP	96
Abbildung 58: Beurteilung der Schnittstellen für ArchiPHYSIK	98
Abbildung 59: Workflowschema „herkömmlicher BIM Prozess“ vs. „Modell der Kompetenzverteilung“	100
Abbildung 60: Optimierungsschema.....	101
Abbildung 61: Semi-automatisierter BIM-basierter Workflow für EPC und LCA	103
Abbildung 62: Optimierter semi-automatisierter BIM-basierter Workflow für EPC und LCA	103
Abbildung 63: Schlussfolgerung Projektverlauf	107
Abbildung 64: Schema zentralisierter, automatisierter BIM-basierter Workflow für EPC und LCA.....	112
Abbildung 65: Workflow Closed BIM Variante	113
Abbildung 66: Workflow Open BIM Variante	113

7.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1 Referenzen BIM to LCA.....	14
Tabelle 2-1: Mindestanforderungen an Bauteile konditionierter Räume bei Neubauten	23
Tabelle 2-2: GWP - Treibhauspotenzial Bezugsgrößen	31
Tabelle 2-3: AP - Versauerungspotenzial Bezugsgrößen.....	32
Tabelle 2-4: PEI _{ne} - Primärenergiebedarf nicht erneuerbar Bezugsgrößen.....	32
Tabelle 2-5: Entwurfsdaten	43
Tabelle 2-6: Rahmenbedingungen Ausgangsprojekt.....	45
Tabelle 2-7: Gebäudegeometrie Ausgangsprojekt	46
Tabelle 2-8: Bauteilaufbauten der thermischen Hülle	48
Tabelle 2-9: Bauteilliste Fenster und Türen der thermischen Hülle.....	49
Tabelle 2-10 Rahmenbedingungen für EPC und LCA.....	56
Tabelle 2-11: Quelle Datensätze und Indikatoren für LCA	57
Tabelle 4-1: Ergebnisse EPC Ausgangsprojekt.....	86
Tabelle 4-2: Ergebnisse EPC 1	87
Tabelle 4-3: Ergebnisse EPC 2	87
Tabelle 4-4: Ergebnisse EPC 3	88
Tabelle 4-5: Gegenüberstellung der Ergebnisse für EPC	88
Tabelle 4-6: LCA 2 und LCA 1, Ergebnisgegenüberstellung nicht ern. (PEI _{ne}).....	90
Tabelle 4-7: LCA 2 und LCA 1, Ergebnisgegenüberstellung Treibhauspotenzial (GWP).....	91
Tabelle 4-8: LCA 2 und LCA 1, Ergebnisgegenüberstellung Versauerungspotenzial (AP)	91
Tabelle 4-9: LCA 2 und LCA 3, Ergebnisgegenüberstellung Primärenergiebedarf nicht ern. (PEI _{ne})	94
Tabelle 4-10: LCA 2 und LCA 3, Ergebnisgegenüberstellung Treibhauspotenzial (GWP).....	94
Tabelle 4-11: LCA 2 und LCA 3, Ergebnisgegenüberstellung Versauerungspotenzial (AP)	95
Tabelle 4-12: LCA 1 OI3 Bewertung	97
Tabelle 5-1 Ergebnisvergleich Variante OPTI 1.....	105
Tabelle 5-2 Ergebnisvergleich Variante OPTI 2.....	106

ANHANG

Anhang 1 Planung und Definition Ausgangsprojekt

- Anhang 1.1 Steckbrief Entwurf
- Anhang 1.2 Übersichtspläne Entwurf
- Anhang 1.3 Bauteilliste und Aufbauten

Anhang 2 Erstellung Energieausweis (EPC)

- Anhang 2.1 Energieausweise Ausgangsprojekt / EPC 1 / EPC 2 / EPC3
- Anhang 2.2 Ergebnisse Workflows EPC 1 / EPC 2 / EPC3

Anhang 3 Erstellung Ökobilanz (LCA)

- Anhang 3.1 Auswertungen Microsoft Excel Tabellen - LCA 2
- Anhang 3.2 Auswertungen ArchiPHYSIK - LCA 1 / LCA 3
- Anhang 3.3 Ergebnisgegenüberstellungen
- Anhang 3.4 OI3 Bewertungen

Anhang 4 Optimierung Gebäudeperformance

- Anhang 4.1 OPTI 1 – Aufbauten, Energieausweis, OI3 Bewertung
- Anhang 4.2 OPTI 2 – Aufbauten, Energieausweis, OI3 Bewertung

ANHANG 1

Planung und Definition Ausgangsprojekt

Anhang 1-1
Steckbrief Entwurf

Anhang 1-2
Übersichtspläne Entwurf

Anhang 1-3
Bauteilliste und Aufbauten

STECKBRIEF - Rahmenbedingungen

BIM-ECO 2018

Standort und Klimadaten

Standort/Adresse: Florianiweg 16, AT-6176 Völs
Koordinaten: 47°15'28.1"N 11°18'37.6"E
Seehöhe: 583,2m
Klimadaten - Innsbruck: Ø 18,6°C Juli
 (lt. www.climate-data.org) Ø -1,4°C Jänner
Innenraumtemperaturen: +17°C mittlere Arbeit Stehen bzw. Gehen (An-/Ablieferung/Behälterwäsche)
 (lt. *Arbeitsstättenverordnung*) +20°C leichte Arbeit (Produktion)

Modellierung und Auswertung

Level of Detail: LoD 3 Detaillierungs- u. Informationsgrad für Einreichplanung und zu erfüllende
 Zertifizierungen (Hygiene, Energieeffizienz, Brandschutz,...)
 Vorbereitung für Vergabe und Ausschreibung
Ökobilanz: OI 3
Bilanzgrenze: BG3-4 Bilanzgrenze 3 bis 4 ohne Haustechnik

Energieversorgung

Strom: 32,85 kWh/m²a Strombedarf
 85% Österreich Mix
 15% 600m² Photovoltaik [Peakleistung 72kW]
Fernwärme: DIWAG Tirol



STECKBRIEF - Gebäudegeometrie

BIM-ECO 2018

Flächen- und Rauminhalte

Berechnung nach ÖN B1800

NFL Halle	9.860,00	m ²
BGF Halle	10.052,20	m ²
BRI Halle (bis UK +9,00m)	90.469,80	m ³
BRI Dach (ab +9,00m bis 11,3/11,8/14,3)	30.178,54	m ³
BRI Gesamt	120.648,34	m ³
Umfang	886,70	m

Zonen Vertikal

Geschosshöhen/-ebenen Einstellungen

Halle	+9,00m	Nutzbare Raumhöhe Netto
(0,00 bis +9,00m)	+7,20m bis +9,00m	umlaufendes Lichtband Ost und Westseite

Dachebene

(9,00 bis 11,00/11,5m)

Sekundär-Dachtragwerk Holzeimbinder

Tragwerksebene

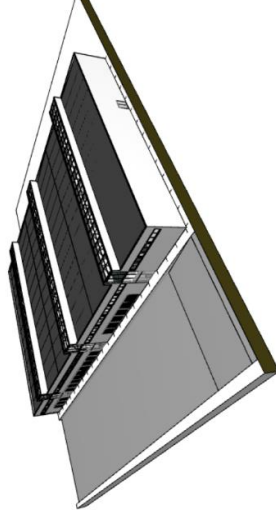
(9,00 bis 14,00m)

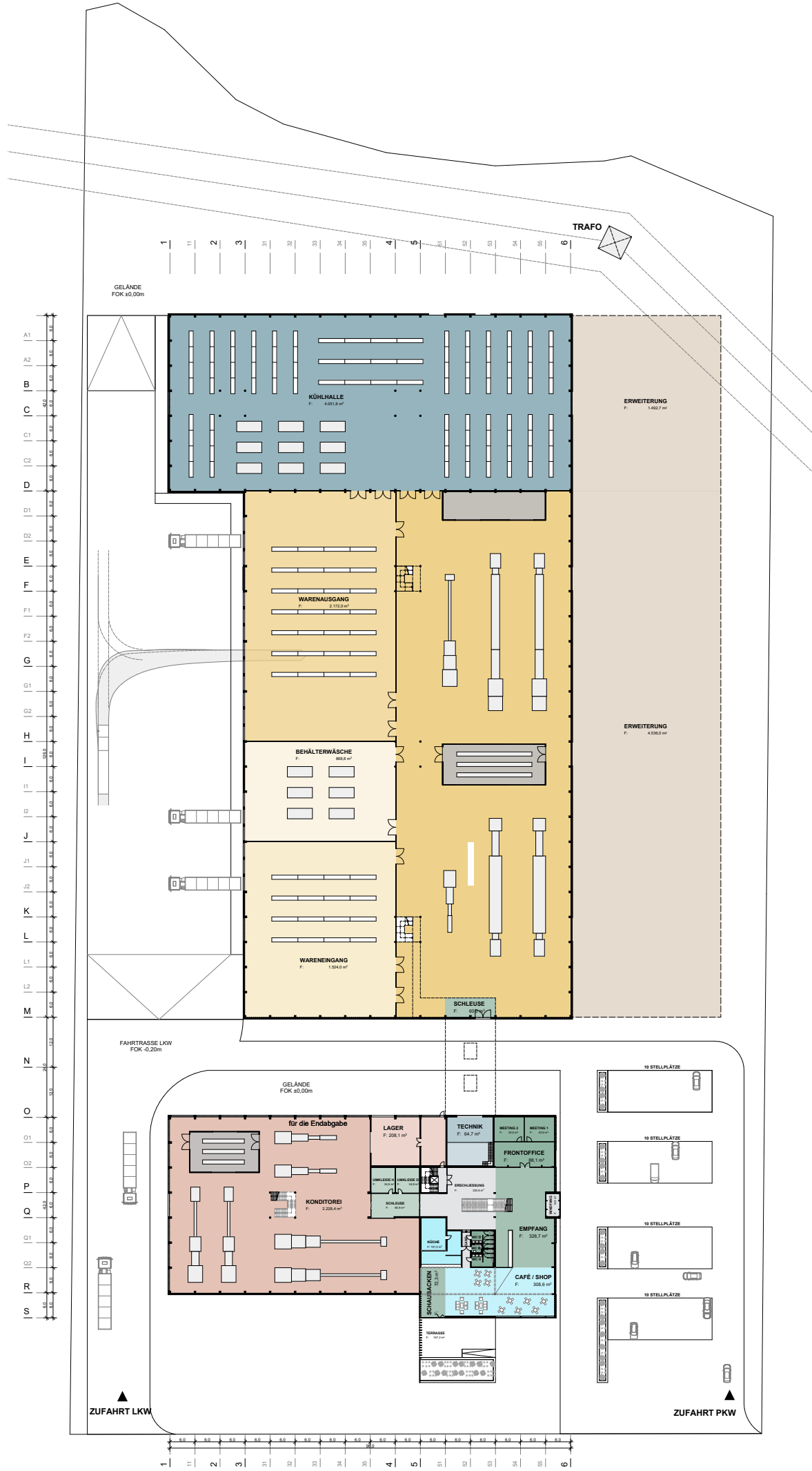
Haupttragwerk Fachwerkträger

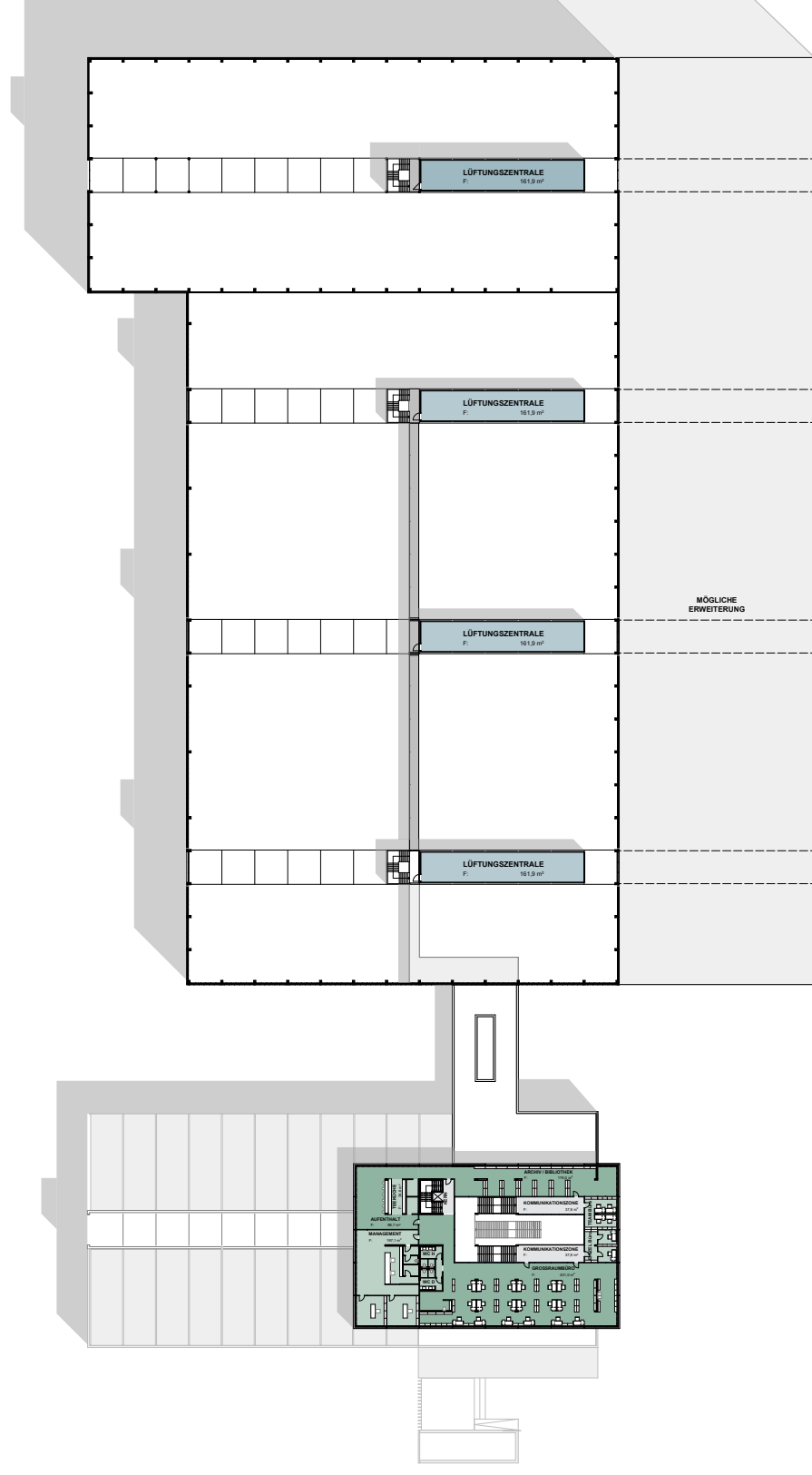
Zonen Horizontal

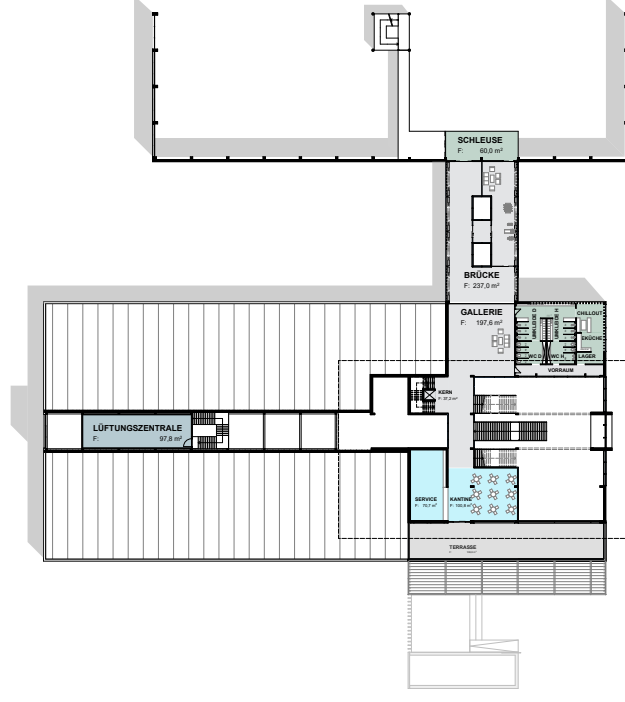
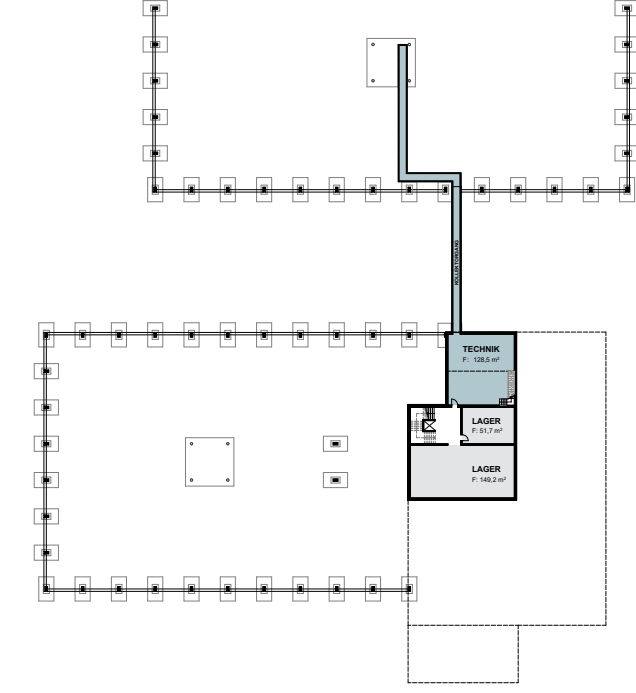
Raumbuch

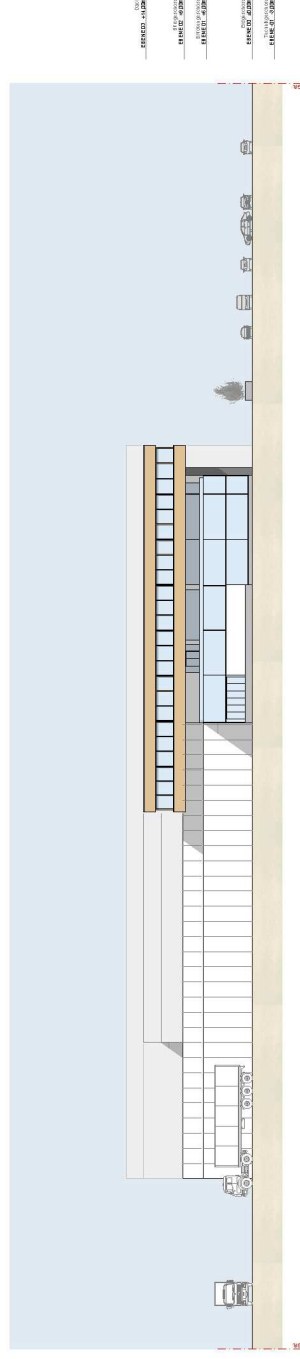
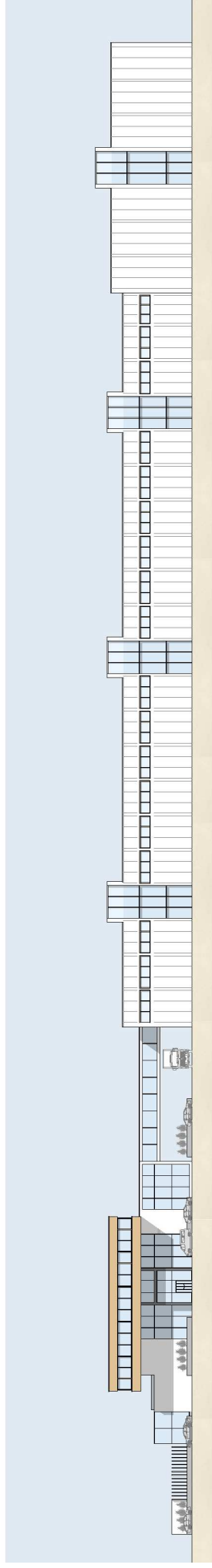
Produktion	Wareneingang	Behälterwäsche	Warenausgang	Dachraum	Technikzentrale / Fachwerkträger	Dachfläche (Neigung 1,60°)	Dachfläche (Neigung 0°)
Raumnr.	001	002	003	004			
BGFI [m ³]	48672,90	14013,90	7870,50	19913,40	21387,36	8791,20	30178,56
BGF [m ²]	5.408,10	1.557,10	874,5	2.212,60	8.387,20	1665,00	
NFL [m ²]	5.300,70	1.518,70	861,7	2.178,90			
U [m]	433,48	171,17	122,28	215,52			
H [m]	9,00	9,00	9,00	9,00	2,55	5,28	
Achsrastrer	6x6 m	6x6 m	6x6 m	6x6 m			
Innentemp.	24-26°C	18-26°C	18°C	18-26°C			
Belag	Beschichtung	Beschichtung	Beschichtung	Beschichtung			

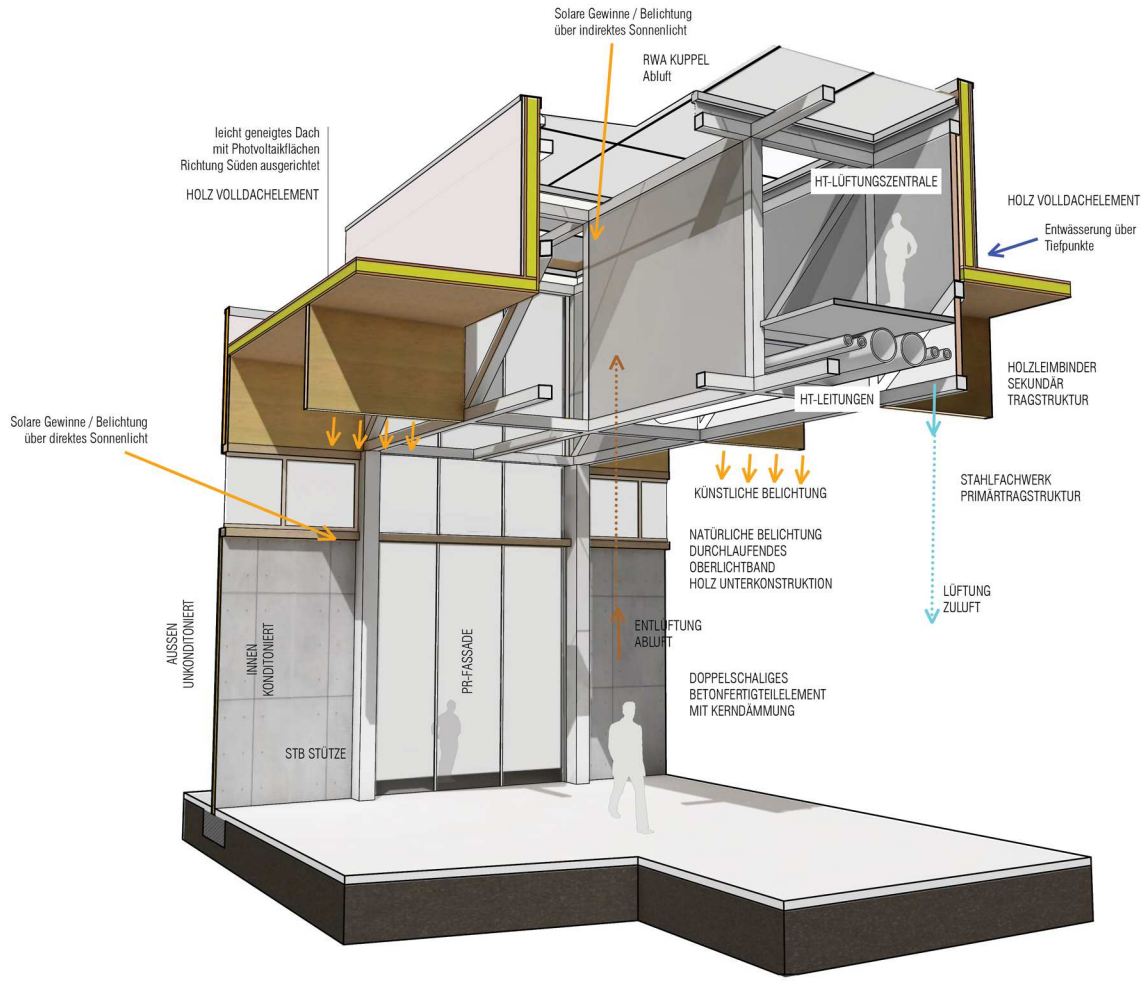


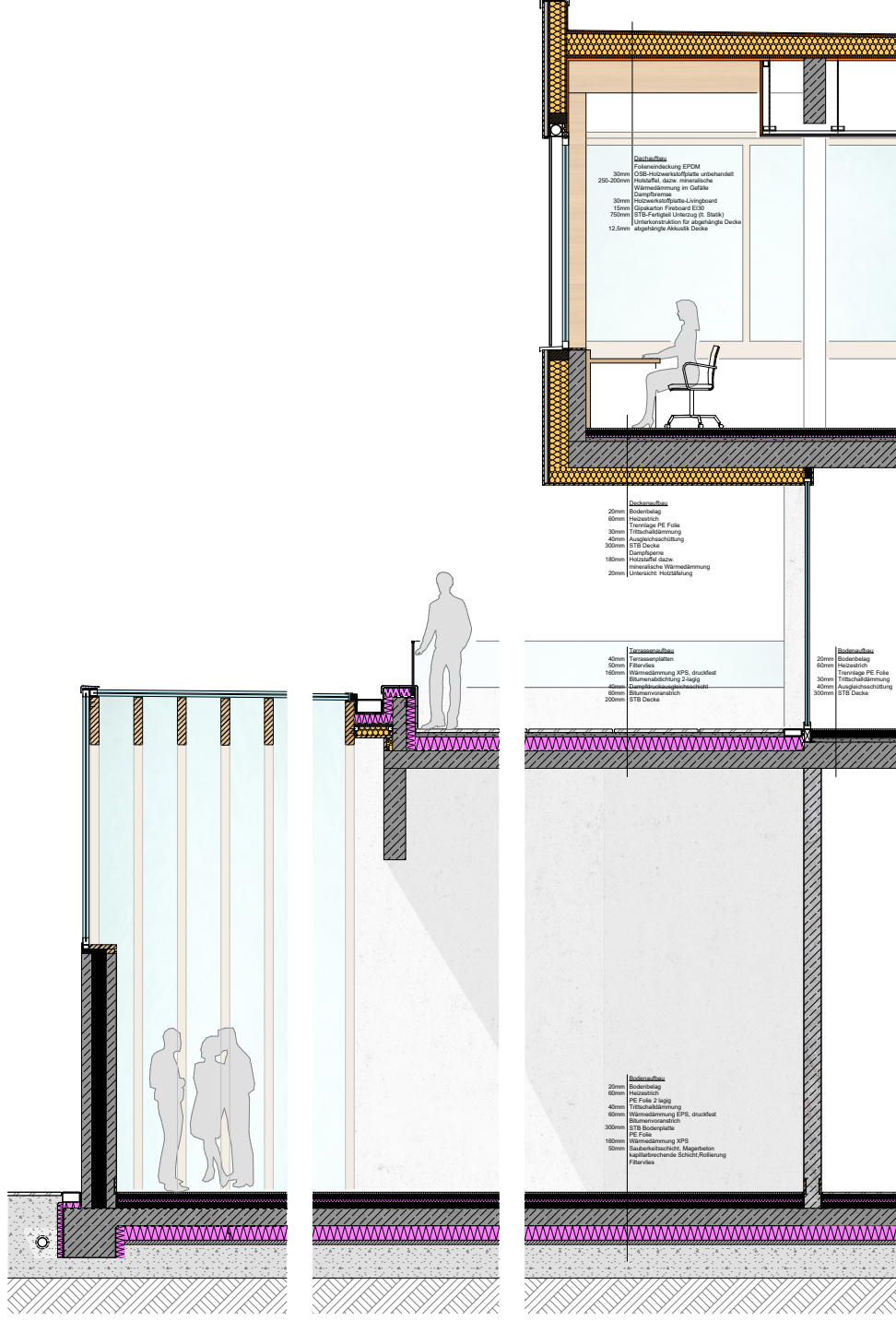


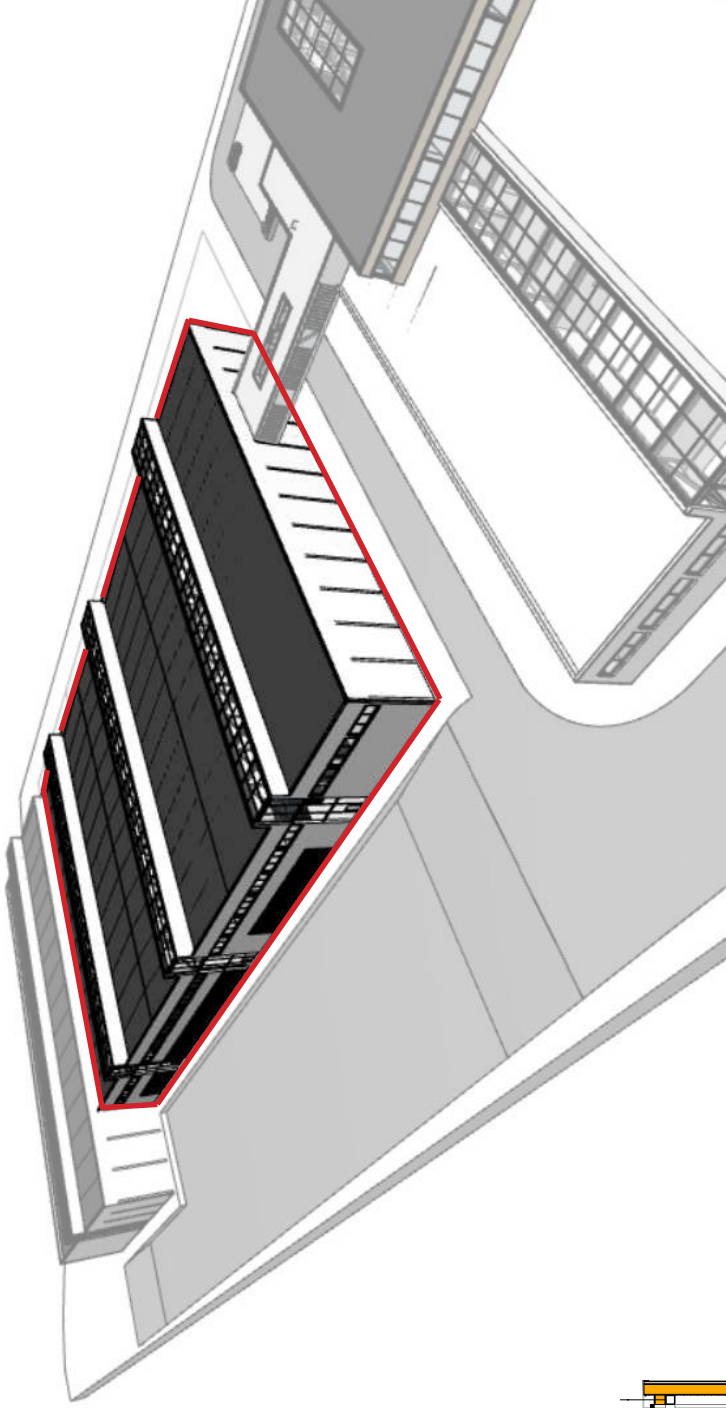
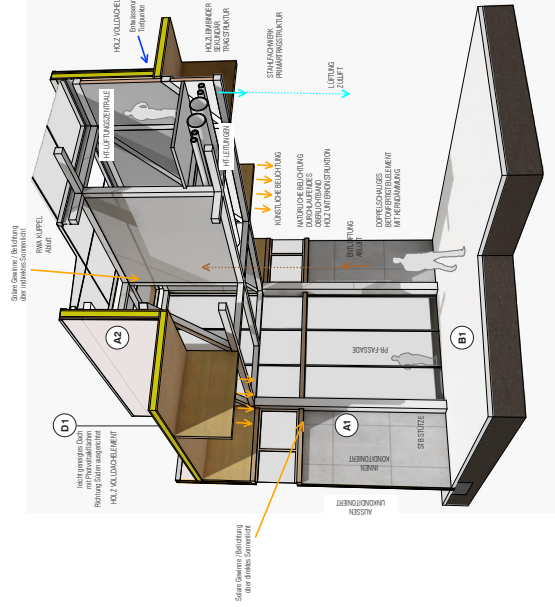












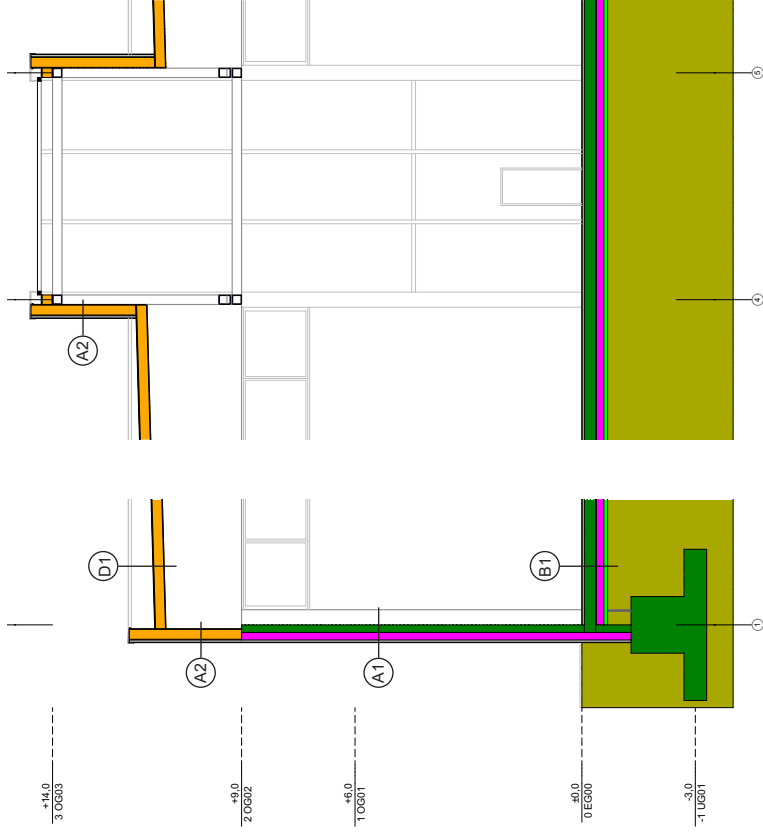
AUFBAUTEN HALLE

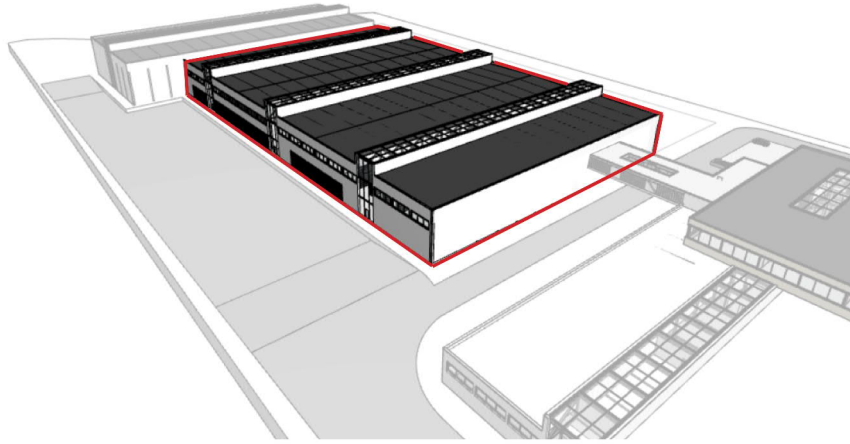
D1	30 mm 260 mm	Folieneindeckung EPDM OSB-Holzwerkstoffplatte unbehandelt KVH Tragrippe (Ns) e=0,83cm (oder Holzstafel) dazwischenliegende mineralische Wärmedämmung (WLG 038) Dampfbremse (feuchteadaptiv) Holzwerkstoffplatte-Livingboard Gipskarton Fireboard EI30 Holzleimbinder (Höhe 2,0m bis 2,5m)
B1	5mm 60mm 300mm 10mm 200mm 100mm 300mm	hinterlüftete Blechfassade Unterkonstruktion (Modulleiste) Wärmedämmung Vollbetonwandplatte (zw. Stützen) STB-Stützen (80/40cm)

A1	70 mm 200 mm 100 mm	200 - 250cm 80/40cm 2,5/2,5/0,3cm 30/40cm (hib)
A2	70 mm 300 mm	200 - 250cm 80/40cm 2,5/2,5/0,3cm 30/40cm (hib)

AW bis h=9.0m	hinterlüftete Blechfassade Unterkonstruktion (Modulleiste) Wärmedämmung Vollbetonwandplatte (zw. Stützen) STB-Stützen (80/40cm)	200 - 250cm 80/40cm 2,5/2,5/0,3cm 30/40cm (hib)
AW ab h=9.0m / Attika	Lichtband (ab h=7,2m bis 9,0m) Holz-aluverbundsystem (Pfostenregel) mit 3-Scheiben-Isolierverglasung UG = 1,1 W/m²K	200 - 250cm 80/40cm 2,5/2,5/0,3cm 30/40cm (hib)

BAUTEILE HALLE





BIM-Eco Ausgangsprojekt

Florianiweg 16
A 6176, Völs

VerfasserIn

BSc Leonard Donkor
TU Wien Masterstudium Architektur 066443
Belvederegasse 29/17
1040 Wien-Wieden

T
F
M +43 650 5233449
E e1025696@student.tuwien.ac.at

Bauteilliste

BIM-Eco Ausgangsprojekt

0001 3-Flügel Fenster 560x180

Neubau

AF AL 560,05x180,00

	Länge	ψ	g	Fläche	%	U
	m	W/mK	-	m ²		W/m ² K
ACTUAL 3-fach Energiesparglas Ug 0,5 (4b-18Ar90%-4-18Ar90%-b4)			0,510	8,32	74,30	0,50
ACTUAL CUBIC Holz-Alu Fensterrahmen Uf 1,2 Aluminium (3-IV; Ug <0,9; Uf <1,4)	20,00	0,070		2,88	25,70	1,20
			vorh.	11,20		0,81

0002 3-Flügel Fenster 540x180

Neubau

AF AL 540,00x180,00

	Länge	ψ	g	Fläche	%	U
	m	W/mK	-	m ²		W/m ² K
ACTUAL 3-fach Energiesparglas Ug 0,5 (4b-18Ar90%-4-18Ar90%-b4)			0,510	8,00	74,10	0,50
ACTUAL CUBIC Holz-Alu Fensterrahmen Uf 1,2 Aluminium (3-IV; Ug <0,9; Uf <1,4)	19,60	0,070		2,80	25,90	1,20
			vorh.	10,80		0,81

0003 Dachflächenfenster

Neubau

DF Oberlicht Rechteck 610x575

	Länge	ψ	g	Fläche	%	U
	m	W/mK	-	m ²		W/m ² K
ACTUAL 3-fach Energiesparglas Ug 0,5 (4b-18Ar90%-4-18Ar90%-b4)			0,510	28,84	82,20	0,50
Hochwärmedämmender Alu Rahmen Aluminium (3-IV; Ug <0,9; Uf <1,4)	54,20	0,070		6,24	17,80	1,10
			vorh.	35,08		0,71

0010 Eingangstüre 350x350

Neubau

AT DL 350,00x350,00

	Länge	ψ	g	Fläche	%	U
	m	W/mK	-	m ²		W/m ² K
Rahmen				13,32	100,00	0,80
			vorh.	13,32		0,80

Bauteilliste

BIM-Eco Ausgangsprojekt

0011 Fluchttüre 90x210

Neubau

AT DL 90,00x210,00

	Länge	ψ	g	Fläche	%	U
	m	W/mK	-	m ²		W/m ² K
ACTUAL 3-fach Energiesparglas Ug 0,6 (4b-16Ar90%-4-16Ar90%-b4)			0,500	1,27	70,00	0,60
aluplast energeto 5000				0,55	30,00	1,00
Aluminium (3-IV; Ug <0,9; Uf <1,4)	5,46	0,070				
			vorh.	1,82		0,93

0012 Rolltore

Neubau

TO DL 334,00x442,00

	Länge	ψ	g	Fläche	%	U
	m	W/mK	-	m ²		W/m ² K
Rahmen				15,75	100,00	2,50
			vorh.	15,75		2,50

0020 Pfostenriegelfassade Vertikal

Neubau

AF

	Länge	ψ	g	Fläche	%	U
	m	W/mK	-	m ²		W/m ² K
Verglasung			0,500	73,68	91,60	
Rahmen				6,79	8,40	
Glasrandverbund	95,42					
			vorh.	80,47		1,30

A01 Außenwand massiv hinterlüftet

Neubau

Awh A-I, Außenwand bis 9,00m Höhe

Lage		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Blecheindeckung	0,0100		
2.0	Aluminiumblech Breite: 0,00 m Achsenabstand: 0,80 m	0,0600		
2.1	Luftschicht Vertikal	0,0600		
3	Wärmedämmung	0,2000	0,040	5,000
4	Stahlbeton-Wand	0,2000	2,300	0,087
	Wärmeübergangswiderstände			0,260
		RT _o =5,347 m ² K/W; RT _u =5,347 m ² K/W;	0,4700	RT = 5,347
				U = 0,187

Bauteilliste

BIM-Eco Ausgangsprojekt

A02 Außenwand leicht hinterlüftet

Neubau

Awh A-I, Außenwand ab 9,00m Höhe

Lage		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Blecheindeckung	0,0100		
2.0	Aluminiumblech Breite: 0,00 m Achsenabstand: 0,80 m	0,0600		
2.1	Luftschicht Vertikal	0,0600		
3	OSB-Platten (650 kg/m ³)	0,0200	0,130	0,154
4.0	Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisc Breite: 0,10 m Achsenabstand: 0,80 m	0,2600	0,120	2,167
4.1	Mineral. Faserdämmst. 040 (8)	0,2600	0,040	6,500
5	Dampfbremse Polyethylen (PE)	0,0005	0,500	0,001
6	Nutzholz (525 kg/m ³ - zB Lärche) - gehobelt, techn. gel	0,0200	0,130	0,154
Wärmeübergangswiderstände				0,260
		RT _o =5,901 m ² K/W; RT _u =5,769 m ² K/W;	0,3710	RT = 5,835 U = 0,171

B01 Boden

Neubau

EBu U-O, Boden gg. Erdreich

		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kapillarbrechende Schicht (Rollierung GK 16/32)	0,3000		
2	Magerbeton / Schütt- und Stampfbeton	0,1000		
3	Bitumenanstrich	0,0000		
4	Dämmung XPS	0,2000	0,040	5,000
5	Abdichtung 2lg PKV5	0,0010	0,230	0,004
6	Trennlage PE-Folie	0,0000	0,250	0,000
7	Stahlbeton Bodenplatte	0,3000	2,300	0,130
8	Zementverbundestrich	0,0600	0,980	0,061
9	Epoxidharz-Beschichtung	0,0050	0,000	0,000
Wärmeübergangswiderstände				0,170
			0,9660	RT = 5,365 U = 0,186

D01 Dach geneigt

Neubau

AD O-U, Elementdach

Lage		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	EPDM Baufolie, Gummi	0,0050		
2	OSB-Platten (650 kg/m ³)	0,0150	0,130	0,115
3	OSB-Platten (650 kg/m ³)	0,0150	0,130	0,115
4.0	Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisc Breite: 0,10 m Achsenabstand: 0,80 m	0,2600	0,120	2,167
4.1	Mineral. Faserdämmst. 040 (8)	0,2600	0,040	6,500
4.2	Dampfbremse Polyethylen (PE)	0,0000	0,500	0,000
5	OSB-Platten (650 kg/m ³)	0,0150	0,130	0,115
6	Fireboard	0,0150	0,210	0,071
7	Fireboard	0,0150	0,210	0,071
Wärmeübergangswiderstände				0,140
		RT _o =5,970 m ² K/W; RT _u =5,829 m ² K/W;	0,3400	RT = 5,899 U = 0,170

Bauteilliste

BIM-Eco Ausgangsprojekt

D02**Dach flach**

Neubau

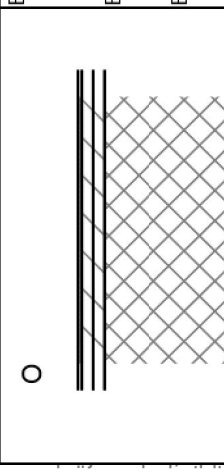
AD	O-U, Elementdach		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Lage				
1	EPDM Baufolie, Gummi		0,0050		
2	OSB-Platten (650 kg/m ³)		0,0150	0,130	0,115
3	OSB-Platten (650 kg/m ³)		0,0150	0,130	0,115
4.0	Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisc Breite: 0,10 m Achsenabstand: 0,80 m		0,2600	0,120	2,167
4.1	Mineral. Faserdämmst. 040 (8)		0,2600	0,040	6,500
4.2	Dampfbremse Polyethylen (PE)		0,0000	0,500	0,000
5	OSB-Platten (650 kg/m ³)		0,0150	0,130	0,115
6	Fireboard		0,0150	0,210	0,071
7	Fireboard		0,0150	0,210	0,071
	Wärmeübergangswiderstände				0,140
		RT _o =5,970 m ² K/W; RT _u =5,829 m ² K/W;	0,3400	RT =	5,899
				U =	0,170

Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt

VerfasserIn der Unterlagen

Objekt
BIM-Eco Ausgangsprojekt
 Auftraggeber/Bauherr
Kovacic
Industriebau und interdisziplinäre
 Geschäftszahl

Bauteilbezeichnung
Dach geneigt -
Elementdach
 Bauteiltyp
Außendecke
 Bauteil Nr.
D01
 Bauteiltypkürzel
AD



GRUNDWERTE		WÄRMESCHUTZ		WASSERDAMPFDIFFUSION				Kondensations- ebene					
d	ρ	m'	c	λ	R = d/λ	t	t _p	s	μ	s	d	p th	
m	kg/m ³	kg/m ²	kJ/kg K	W/m K	m ² /KW	°C	°C	m	-	m	m	Pa	
berücksichtigen													
<input type="checkbox"/>	0,0050	1.200,0	6,00	0,000	1/α _e	t _e	-2,73	0,00	0	0,00	0,00	389	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,040	12,00	18,77	0,130	0	0,00	0,00	389	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,029	18,91	2,165	0,130	0	0,00	0,00	389	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2600	8,0	2,08	1,030	0,115	19,23	2,195	0,040	1	0,26	0,00	943	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0000	650,0	0,00	1,260	0,000	-11,30	486	0,500	0	0,00	0,00	943	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,115	-10,78	506	0,130	0	0,00	0,00	943	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	900,0	13,50	1,050	0,071	18,39	521	0,210	8	0,12	0,00	1.199	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	900,0	13,50	1,050	0,071	18,39	2.117	0,210	8	0,12	0,00	1.199	
Σ d													
Σ m'		Σ m'		α _i		t _o		Σ R		Σ R		1.455	
0,340	64,3	64,3	64,3	10,000	0,100	20,0	19,5	0,50	0,50	0,50	0,50	62 %	62 %
Wärmedurchgangskoeffizient U 0,14 W/m ² K													

SCHALLSCHUTZ:		KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:	
Bew. Schalldämm-Maß	R _w	Kondensat	Verdunstung	Periode	24 Stunden
Bew. Standard-Trittschallpegel	L' _{nt,w}	Menge:	kg/m ² a	speicherwirksame Masse	innen
		0,0000	0,0000		ausen
		Dauer:	0,0	41,7	31,9
		Der Bauteil Dach geeignet - ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.			
		wirksame Wärmespeicherkapazität	43,70	33,42	J/Km ²
		Amplitudendämpfung	13,2	-	-
		Phasenverschiebung	13,5	h	h

Objekt
BIM-Eco Ausgangsprojekt
 Auftraggeber/Bauherr
Kovacic
Industriebau und interdisziplinäre
 Geschäftszahl

Baufteilbezeichnung
Dach flach •
Elementdach
 Bauteiltyp
Außendecke
 Bauteil Nr.
D02

Bauteiltypkürzel
AD

VerfasserIn der Unterlagen

GRUNDWERTE		WÄRMESCHUTZ		WASSERDAMPFDIFFUSION							
d	ρ	m'	c	λ	R = d/λ	t	t _p	μ	s	d	p th
m	kg/m ³	kg/m ²	kJ/kg K	W/m K	m ² /KW	°C	°C	-	m	m	Pa
berücksichtigen											
<input type="checkbox"/>	0,0050	1.200,0	6,00	0,000	1/α _e	t _e	-2,73	486	0,00	0,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,040	12,00	-2,42	499	0,00	0,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,115	-11,54	-1,53	537	0,00	0,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,115	-10,22	-0,64	578	0,00	0,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2600	475,0	123,50	1,600	2,167	-8,90	16,08	1.827	0,00	0,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,115	15,91	16,97	1.933	0,00	0,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	900,0	13,50	1,050	0,071	17,22	17,52	2.001	8	0,12	922
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	900,0	13,50	1,050	0,071	18,04	18,06	2.071	8	0,12	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	900,0	13,50	1,050	0,071	18,85					
Σ d		Σ m'		α _i	1/α _i	t _o	18,0	2.071	Σ R		1.455
0,340		185,7		10,000	0,100	20,0	20,0	2.336	0,24		62 %
Wärmedurchgangskoeffizient U 0,36 W/m ² K											

SCHALLSCHUTZ:		KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:	
Bew. Schalldämm-Maß	R _w	Kondensat	Verdunstung	Periode	24 Stunden
L' nT,w	L' nT,w	Menge:	kg/m ² a	speicherwirksame Masse	innen
		0,0000	0,0000	46,2	40,6
		0,0	0,0	48,45	42,55
		Der Bauteil Dach flach • ist geeignet: Es tritt keine Kondensation auf.		Amplitudendämpfung	39,7
				Phasenverschiebung	1,1
					h

Baufteilbezeichnung
Außenwand massiv hinterlüftet - Außenwand bis 9,00m Höhe
 Bauteiltyp
Außenwand hinterlüftet
 Bauteil Nr.
A01

Objekt
BIM-Eco Ausgangsprojekt
 Auftraggeber/Bauherr
Kovacic
Industriebau und interdisziplinäre
 Geschäftszahl

VerfasserIn der Unterlagen

GRUNDWERTE		WÄRMESCHUTZ		WASSERDAMPFDIFFUSION							
d	ρ	m'	c	λ	R = d/λ	t	t _p	μ	s	d	p th
m	kg/m ³	kg/m ²	kJ/kg K	W/m K	m ² /KW	°C	°C	-	m	m	Pa
berücksichtigen											
<input type="checkbox"/>	0,0100	7.800,0	78,00	1,000	0,000	-11,22	-2,56	493	0,000.000	3.000,00	389
<input type="checkbox"/>	0,0600	1,2	0,07	1,008	0,270	-11,22	-2,56	493	1	0,06	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	8,0	1,60	1,030	0,040	18,70	18,57	2.138	1	0,20	399
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	2.400,0	480,00	1,116	0,087	19,22	18,94	2.188	100	20,00	389
Σ d											
0,470	Σ m'	559,6	α _i	1/α _i	t _e	19,2	18,9	2.188	Σ R	20,20	1.455
Wärmedurchgangskoeffizient U 0,19 W/m ² K											
Kondensations-ebene											
1 A											
2.1											
3											
4											
φ _e 80 %											
φ _i 62 %											

SCHICHTFOLGE

- A 1 Blecheindeckung
- 2.1 Luftschicht Vertikal
- 3 Wärmedämmung
- 4 Stahlbeton-Wand

SCHALLSCHUTZ:

KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:	
Menge:	Verdunstung	Periode	24 Stunden
kg/m ² a	kg/m ² a	speicherwirksame Masse	innen außen
0,0000	0,0000	m _{w.B.A}	315,7 6,1
0,0	0,0	wirksame Wärmespeicherkapazität	330,51 6,48
Der Bauteil Außenwand massiv hinterlüftet - ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.		Amplitudendämpfung	125,7
		Phasenverschiebung	12,0

Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt

VerfasserIn der Unterlagen

Objekt
BIM-Eco Ausgangsprojekt
 Auftraggeber/Bauherr
Kovacic
Industriebau und interdisziplinäre
 Geschäftszahl

Bauteilbezeichnung
Außenwand leicht hinterlüftet ..
Außenwand ab 9,00m Höhe
 Bauteiltyp
Außenwand hinterlüftet
 Bauteil Nr. Bauteiltypkürzel
A02 Awh

GRUNDWERTE		WÄRMESCHUTZ		WASSERDAMPFDIFFUSION							
d	ρ	m'	c	λ	R = d/λ	t	t _p	μ	s	d	p th
m	kg/m ³	kg/m ²	kJ/kg K	W/m K	m ² /KW	°C	°C	-	m	m	Pa
berücksichtigen											
<input type="checkbox"/>	0,0100	7.800,0	78,00	1,000	0,000	-10,47	-2,40	0,000	0,000	0,000	389
<input type="checkbox"/>	0,0600	1,2	0,07	1,008	0,270	-10,47	-2,40	1	0,06	1	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	650,0	13,00	1,700	0,130	-8,67	-1,13	0	0,00	0	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2600	475,0	123,50	1,600	0,120	16,66	16,67	0	0,00	0	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0005	650,0	0,33	1,260	0,500	16,67	16,67	0	0,00	0	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0200	525,0	10,50	1,600	0,130	18,47	17,94	0	0,00	0	389
I											
Σ d	Σ m'			α _i	1/α _i	t _o	17,9	Σ R			389
0,371	225,4			7,692	0,130	20,0	20,0	0,00			62 %
Wärmedurchgangskoeffizient U 0,37 W/m²K											

SCHICHTFOLGE	
A	1 Blecheindeckung
	2.1 Luftschicht Vertikal
	3 OSB-Platten (650 kg/m ³)
	4.0 Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/
	5 Dampfbremse Polyethylen (PE)
	6 Nutzholz (525 kg/m ³ - zB Lärche)
I	

SCHALLSCHUTZ: Wärmehdurchgangskoeffizient U **0,37 W/m²K**

SCHALLSCHUTZ:		KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:	
Bew. Schalldämm-Maß	R _w	Kondensat	Verdunstung	Periode	24 Stunden
Bew. Standard-Trittschallpegel	L' nT,w	Menge:	kg/m ² a		innen
		0,0000	0,0000		ausen
		Dauer:	0,0	0,0	35,6
		Der Bauteil Außenwand leicht hinterlüftet - ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.		wirksame Wärmespeicherkapazität	41,5
				Amplitudendämpfung	kg/m ²
				Phasenverschiebung	J/Km ²
					15,6
					7,5
					h

ANHANG 2

Erstellung Energieausweis (EPC)

Anhang 2-1

Energieausweise Ausgangsprojekt / EPC 1 / EPC 2 / EPC 3

Anhang 1-2

Ergebnisse Workflows EPC 1 / EPC 2 / EPC 3

Energieausweis für Nicht-Wohngebäude

BEZEICHNUNG	BIM-Eco Ausgangsprojekt		
Gebäude(-teil)	Produktionshalle	Baujahr	2018
Nutzungsprofil	Sportstätten	Letzte Veränderung	
Straße	Florianiweg 16	Katastralgemeinde	Völs
PLZ/Ort	6176 Völs	KG-Nr.	81135
Grundstücksnr.	1531	Seehöhe	585 m

SPEZIFISCHER STANDORT-REFERENZ-HEIZWÄRMEBEDARF, STANDORT-PRIMÄRENERGIEBEDARF, STANDORT-KOHLENDIOXIDEMISSIONEN UND GESAMTENERGIEEFFIZIENZ-FAKTOR

	HWB Ref,SK	PEB SK	CO2 SK	f GEE
A ++				A ++
A +				
A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				

HWB_{ref}: Der **Referenz-Heizwärmebedarf** ist jene Wärmemenge, die in den Räumen bereitgestellt werden muss, um diese auf einer normativ geforderten Raumtemperatur, ohne Berücksichtigung allfälliger Erträge aus Wärmerückgewinnung, zu halten.

WWWB: Der **Warmwasserwärmebedarf** ist in Abhängigkeit der Gebäudekategorie als flächenbezogener Defaultwert festgelegt.

HEB: Beim **Heizenergiebedarf** werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasserwärmebedarf die Verluste des gebäudetechnischen Systems berücksichtigt, dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie.

KB: Der **Kühlbedarf** ist jene Wärmemenge, welche aus den Räumen abgeführt werden muss, um unter der Solltemperatur zu bleiben. Er errechnet sich aus den nicht nutzbaren inneren und solaren Gewinnen.

BefEB: Beim **Befeuchtungsennergiebedarf** wird der allfällige Energiebedarf zur Befeuchtung dargestellt.

KEB: Beim **Kühlenergiebedarf** werden zusätzlich zum Kühlbedarf die Verluste des Kühlsystems und der Kältebereitstellung berücksichtigt.

BelEB: Der **Beleuchtungsennergiebedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt und entspricht dem Energiebedarf zur nutzungsgerechten Beleuchtung.

BSB: Der **Betriebsstrombedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt und entspricht der Hälfte der mittleren inneren Lasten.

EEB: Der **Endenergiebedarf** umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf).

f_{GEE}: Der **Gesamtenergieeffizienz-Faktor** ist der Quotient aus dem Endenergiebedarf und einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

PEB: Der **Primärenergiebedarf** ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB_{em}) und einen nicht erneuerbaren (PEB_{n,em}) Anteil auf.

CO₂: Gesamte den Endenergiebedarf zuzurechnende **Kohlendioxidemissionen**, einschließlich jener für Vorketten.

Alle Werte gelten unter der Annahme eines normierten BenutzerInnenverhaltens. Sie geben den Jahresbedarf pro Quadratmeter beheizter Brutto-Grundfläche an.

Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG). Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren für Primärenergie und Kohlendioxidemissionen ist 2004 - 2008 (Strom: 2009 - 2013), und es wurden übliche Allokationsregeln unterstellt.

GEBÄUDEKENNDATEN

Brutto-Grundfläche	10.052,20 m ²	charakteristische Länge	4,56 m	mittlerer U-Wert	0,265 W/m ² K
Bezugsfläche	8.041,76 m ²	Klimaregion	NF	LEK _T -Wert	12,13
Brutto-Volumen	120.648,36 m ³	Heiztage	240 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Gebäude-Hüllfläche	26.441,55 m ²	Heizgradtage	4044 Kd	Bauweise	mittelschwere
Kompaktheit (A/V)	0,22 1/m	Norm-Außentemperatur	-12,0 °C	Soll-Innentemperatur	20 °C

ANFORDERUNGEN (Referenzklima) Produktionshalle

Referenz-Heizwärmebedarf	erfüllt	92,84 kWh/m ² a	≥ HWB _{Ref,RK}	44,01 kWh/m ² a
Außeninduzierter Kühlbedarf	nicht erfüllt	1,00 kWh/m ² a	> KB* _{RK}	1,86 kWh/m ² a
End-/Lieferenergiebedarf	erfüllt (alternativ zu f _{GEE})	464,46 kWh/m ² a	≥ E/LEB _{RK}	194,67 kWh/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	ohne Anforderungen		f _{GEE}	0,372
Erneuerbarer Anteil	erfüllt			

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	516.104 kWh/a	HWB _{Ref,SK}	51,34 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	1.102.519 kWh/a	HWB _{SK}	109,68 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	256.834 kWh/a	WWWB	25,55 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	1.478.002 kWh/a	HEB _{SK}	147,03 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H}	1,08
Kühlbedarf	138.249 kWh/a	KB _{SK}	13,75 kWh/m ² a
Kühlenergiebedarf	0 kWh/a	KEB _{SK}	0,00 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Kühlen		e _{AWZ,K}	0,00
Befeuchtungsenergiebedarf	0 kWh/a	BefEB _{SK}	0,00 kWh/m ² a
Beleuchtungsenergiebedarf	380.978 kWh/a	BelEB	37,90 kWh/m ² a
Betriebsstrombedarf	330.215 kWh/a	BSB	32,85 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	2.134.311 kWh/a	EEB _{SK}	212,32 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	3.514.221 kWh/a	PEB _{SK}	349,60 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	2.903.797 kWh/a	PEB _{n.ern.,SK}	288,87 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	610.425 kWh/a	PEB _{ern.,SK}	60,73 kWh/m ² a
Kohlendioxidemissionen (optional)	610.696 kg/a	CO ₂ _{SK}	60,75 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE}	0,377
Photovoltaik-Export	0 kWh/a	PV _{Export,SK}	0,00 kWh/m ² a

ERSTELLT

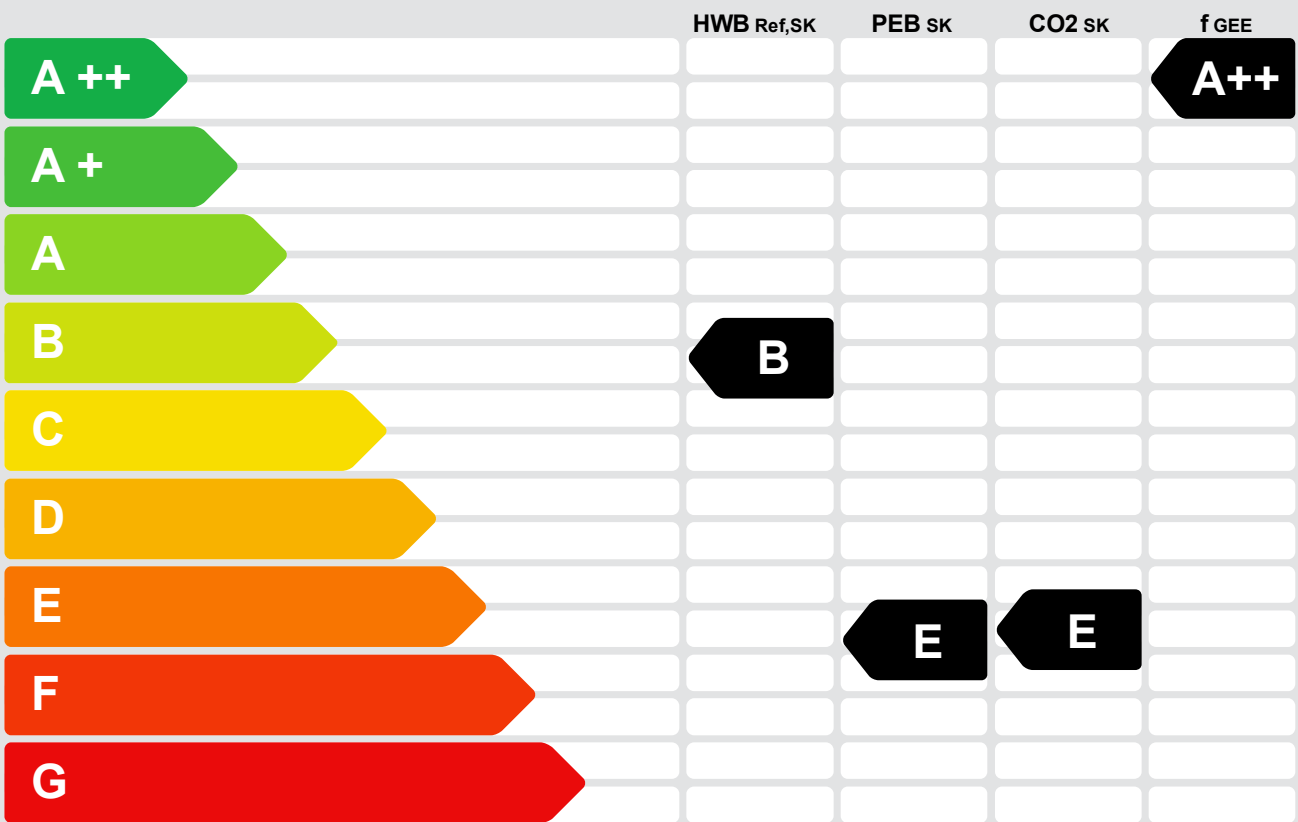
GWR-Zahl		Unterschrift	BSc Leonard Donkor
Ausstellungsdatum	31.08.2018		
Gültigkeitsdatum	30.08.2028		

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von der hier angegebenen abweichen.

Energieausweis für Nicht-Wohngebäude

BEZEICHNUNG	BIM-Eco Variante EPC 1		
Gebäude(-teil)	Produktionshalle	Baujahr	2018
Nutzungsprofil	Sportstätten	Letzte Veränderung	
Straße	Florianiweg 16	Katastralgemeinde	Völs
PLZ/Ort	6176 Völs	KG-Nr.	81135
Grundstücksnr.	1531	Seehöhe	585 m

SPEZIFISCHER STANDORT-REFERENZ-HEIZWÄRMEBEDARF, STANDORT-PRIMÄRENERGIEBEDARF, STANDORT-KOHLENDIOXIDEMISSIONEN UND GESAMTENERGIEEFFIZIENZ-FAKTOR



HWB_{ref}: Der **Referenz-Heizwärmebedarf** ist jene Wärmemenge, die in den Räumen bereitgestellt werden muss, um diese auf einer normativ geforderten Raumtemperatur, ohne Berücksichtigung allfälliger Erträge aus Wärmerückgewinnung, zu halten.

WWWB: Der **Warmwasserwärmebedarf** ist in Abhängigkeit der Gebäudekategorie als flächenbezogener Defaultwert festgelegt.

HEB: Beim **Heizenergiebedarf** werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasserwärmebedarf die Verluste des gebäudetechnischen Systems berücksichtigt, dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie.

KB: Der **Kühlbedarf** ist jene Wärmemenge, welche aus den Räumen abgeführt werden muss, um unter der Solltemperatur zu bleiben. Er errechnet sich aus den nicht nutzbaren inneren und solaren Gewinnen.

BefEB: Beim **Befeuchtungsennergiebedarf** wird der allfällige Energiebedarf zur Befeuchtung dargestellt.

KEB: Beim **Kühlenergiebedarf** werden zusätzlich zum Kühlbedarf die Verluste des Kühlsystems und der Kältebereitstellung berücksichtigt.

BelEB: Der **Beleuchtungsennergiebedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt und entspricht dem Energiebedarf zur nutzungsgerechten Beleuchtung.

BSB: Der **Betriebsstrombedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt und entspricht der Hälfte der mittleren inneren Lasten.

EEB: Der **Endenergiebedarf** umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf).

f_{GEE}: Der **Gesamtenergieeffizienz-Faktor** ist der Quotient aus dem Endenergiebedarf und einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

PEB: Der **Primärenergiebedarf** ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB_{em}) und einen nicht erneuerbaren (PEB_{n,em}) Anteil auf.

CO₂: Gesamte den Endenergiebedarf zuzurechnende **Kohlendioxidemissionen**, einschließlich jener für Vorketten.

Alle Werte gelten unter der Annahme eines normierten BenutzerInnenverhaltens. Sie geben den Jahresbedarf pro Quadratmeter beheizter Brutto-Grundfläche an.

Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG). Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren für Primärenergie und Kohlendioxidemissionen ist 2004 - 2008 (Strom: 2009 - 2013), und es wurden übliche Allokationsregeln unterstellt.

GEBÄUDEKENNDATEN

Brutto-Grundfläche	10.018,88 m ²	charakteristische Länge	4,38 m	mittlerer U-Wert	0,219 W/m ² K
Bezugsfläche	8.015,10 m ²	Klimaregion	NF	LEK _T -Wert	10,29
Brutto-Volumen	112.712,40 m ³	Heiztage	240 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Gebäude-Hüllfläche	25.705,39 m ²	Heizgradtage	4044 Kd	Bauweise	mittelschwere
Kompaktheit (A/V)	0,23 1/m	Norm-Außentemperatur	-12,0 °C	Soll-Innentemperatur	20 °C

ANFORDERUNGEN (Referenzklima) Produktionshalle

Referenz-Heizwärmebedarf	erfüllt	88,42 kWh/m ² a	≥ HWB _{Ref,RK}	36,55 kWh/m ² a
Außeninduzierter Kühlbedarf	nicht erfüllt	1,00 kWh/m ² a	> KB* _{RK}	1,69 kWh/m ² a
End-/Lieferenergiebedarf	erfüllt (alternativ zu f _{GEE})	442,45 kWh/m ² a	≥ E/LEB _{RK}	186,81 kWh/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	ohne Anforderungen		f _{GEE}	0,375
Erneuerbarer Anteil	erfüllt			

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	428.035 kWh/a	HWB _{Ref,SK}	42,72 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	1.013.314 kWh/a	HWB _{SK}	101,14 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	255.982 kWh/a	WWWB	25,55 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	1.383.259 kWh/a	HEB _{SK}	138,07 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H}	1,09
Kühlbedarf	120.460 kWh/a	KB _{SK}	12,02 kWh/m ² a
Kühlenergiebedarf	0 kWh/a	KEB _{SK}	0,00 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Kühlen		e _{AWZ,K}	0,00
Befeuchtungsenergiebedarf	0 kWh/a	BefEB _{SK}	0,00 kWh/m ² a
Beleuchtungsenergiebedarf	379.716 kWh/a	BelEB	37,90 kWh/m ² a
Betriebsstrombedarf	329.120 kWh/a	BSB	32,85 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	2.037.211 kWh/a	EEB _{SK}	203,34 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	3.364.634 kWh/a	PEB _{SK}	335,83 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	2.770.082 kWh/a	PEB _{n.ern.,SK}	276,49 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	594.553 kWh/a	PEB _{ern.,SK}	59,34 kWh/m ² a
Kohlendioxidemissionen (optional)	582.512 kg/a	CO ₂ _{SK}	58,14 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE}	0,378
Photovoltaik-Export	0 kWh/a	PV _{Export,SK}	0,00 kWh/m ² a

ERSTELLT

GWR-Zahl		BSc Leonard Donkor
Ausstellungsdatum	31.08.2018	Unterschrift
Gültigkeitsdatum	30.08.2028	

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von der hier angegebenen abweichen.

Energieausweis für Nicht-Wohngebäude

BEZEICHNUNG	BIM-Eco Variante EPC 2		
Gebäude(-teil)	Produktionshalle	Baujahr	2018
Nutzungsprofil	Sportstätten	Letzte Veränderung	
Straße	Florianiweg 16	Katastralgemeinde	Völs
PLZ/Ort	6176 Völs	KG-Nr.	81135
Grundstücksnr.	1531	Seehöhe	585 m

SPEZIFISCHER STANDORT-REFERENZ-HEIZWÄRMEBEDARF, STANDORT-PRIMÄRENERGIEBEDARF, STANDORT-KOHLENDIOXIDEMISSIONEN UND GESAMTENERGIEEFFIZIENZ-FAKTOR

	HWB Ref,SK	PEB SK	CO2 SK	f GEE
A ++				A ++
A +				
A				
B				
C				
D				
E				
F				
G				

HWB_{ref}: Der **Referenz-Heizwärmebedarf** ist jene Wärmemenge, die in den Räumen bereitgestellt werden muss, um diese auf einer normativ geforderten Raumtemperatur, ohne Berücksichtigung allfälliger Erträge aus Wärmerückgewinnung, zu halten.

WWWB: Der **Warmwasserwärmebedarf** ist in Abhängigkeit der Gebäudekategorie als flächenbezogener Defaultwert festgelegt.

HEB: Beim **Heizenergiebedarf** werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasserwärmebedarf die Verluste des gebäudetechnischen Systems berücksichtigt, dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie.

KB: Der **Kühlbedarf** ist jene Wärmemenge, welche aus den Räumen abgeführt werden muss, um unter der Solltemperatur zu bleiben. Er errechnet sich aus den nicht nutzbaren inneren und solaren Gewinnen.

BefEB: Beim **Befeuchtungsennergiebedarf** wird der allfällige Energiebedarf zur Befeuchtung dargestellt.

KEB: Beim **Kühlenergiebedarf** werden zusätzlich zum Kühlbedarf die Verluste des Kühlsystems und der Kältebereitstellung berücksichtigt.

BelEB: Der **Beleuchtungsennergiebedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt und entspricht dem Energiebedarf zur nutzungsgerechten Beleuchtung.

BSB: Der **Betriebsstrombedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt und entspricht der Hälfte der mittleren inneren Lasten.

EEB: Der **Endenergiebedarf** umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf).

f_{GEE}: Der **Gesamtenergieeffizienz-Faktor** ist der Quotient aus dem Endenergiebedarf und einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

PEB: Der **Primärenergiebedarf** ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB_{em}) und einen nicht erneuerbaren (PEB_{n,em}) Anteil auf.

CO₂: Gesamte den Endenergiebedarf zuzurechnende **Kohlendioxidemissionen**, einschließlich jener für Vorketten.

Alle Werte gelten unter der Annahme eines normierten BenutzerInnenverhaltens. Sie geben den Jahresbedarf pro Quadratmeter beheizter Brutto-Grundfläche an.

Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG). Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren für Primärenergie und Kohlendioxidemissionen ist 2004 - 2008 (Strom: 2009 - 2013), und es wurden übliche Allokationsregeln unterstellt.

GEBÄUDEKENNDATEN

Brutto-Grundfläche	10.052,22 m ²	charakteristische Länge	4,60 m	mittlerer U-Wert	0,246 W/m ² K
Bezugsfläche	8.041,77 m ²	Klimaregion	NF	LEK _T -Wert	11,17
Brutto-Volumen	121.878,67 m ³	Heiztage	240 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Gebäude-Hüllfläche	26.512,18 m ²	Heizgradtage	4044 Kd	Bauweise	mittelschwere
Kompaktheit (A/V)	0,22 1/m	Norm-Außentemperatur	-12,0 °C	Soll-Innentemperatur	20 °C

ANFORDERUNGEN (Referenzklima) Produktionshalle

Referenz-Heizwärmebedarf	erfüllt	93,51 kWh/m ² a	≥ HWB _{Ref,RK}	41,55 kWh/m ² a
Außeninduzierter Kühlbedarf	nicht erfüllt	1,00 kWh/m ² a	> KB* _{RK}	1,66 kWh/m ² a
End-/Lieferenergiebedarf	erfüllt (alternativ zu f _{GEE})	468,17 kWh/m ² a	≥ E/LEB _{RK}	192,17 kWh/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	ohne Anforderungen		f _{GEE}	0,364
Erneuerbarer Anteil	erfüllt			

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	488.286 kWh/a	HWB _{Ref,SK}	48,57 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	1.075.343 kWh/a	HWB _{SK}	106,98 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	256.834 kWh/a	WWWB	25,55 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	1.449.149 kWh/a	HEB _{SK}	144,16 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H}	1,08
Kühlbedarf	126.057 kWh/a	KB _{SK}	12,54 kWh/m ² a
Kühlenergiebedarf	0 kWh/a	KEB _{SK}	0,00 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Kühlen		e _{AWZ,K}	0,00
Befeuchtungsenergiebedarf	0 kWh/a	BefEB _{SK}	0,00 kWh/m ² a
Beleuchtungsenergiebedarf	380.979 kWh/a	BelEB	37,90 kWh/m ² a
Betriebsstrombedarf	330.215 kWh/a	BSB	32,85 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	2.105.459 kWh/a	EEB _{SK}	209,45 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	3.470.072 kWh/a	PEB _{SK}	345,20 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	2.864.047 kWh/a	PEB _{n.ern.,SK}	284,92 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	606.025 kWh/a	PEB _{ern.,SK}	60,29 kWh/m ² a
Kohlendioxidemissionen (optional)	602.316 kg/a	CO ₂ _{SK}	59,92 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE}	0,368
Photovoltaik-Export	0 kWh/a	PV _{Export,SK}	0,00 kWh/m ² a

ERSTELLT

GWR-Zahl		Unterschrift	BSc Leonard Donkor
Ausstellungsdatum	31.08.2018		
Gültigkeitsdatum	30.08.2028		

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von der hier angegebenen abweichen.

Energieausweis für Nicht-Wohngebäude

BEZEICHNUNG	BIM-Eco Variante EPC 3		
Gebäude(-teil)	Produktionshalle	Baujahr	2018
Nutzungsprofil	Sportstätten	Letzte Veränderung	
Straße	Florianiweg 16	Katastralgemeinde	Völs
PLZ/Ort	6176 Völs	KG-Nr.	81135
Grundstücksnr.	1531	Seehöhe	585 m

SPEZIFISCHER STANDORT-REFERENZ-HEIZWÄRMEBEDARF, STANDORT-PRIMÄRENERGIEBEDARF, STANDORT-KOHLENDIOXIDEMISSIONEN UND GESAMTENERGIEEFFIZIENZ-FAKTOR

	HWB Ref,SK	PEB SK	CO2 SK	f GEE
A ++				A ++
A +				
A				
B				B
C				
D				
E				
F			F	F
G				

HWB_{ref}: Der **Referenz-Heizwärmebedarf** ist jene Wärmemenge, die in den Räumen bereitgestellt werden muss, um diese auf einer normativ geforderten Raumtemperatur, ohne Berücksichtigung allfälliger Erträge aus Wärmerückgewinnung, zu halten.

WWWB: Der **Warmwasserwärmebedarf** ist in Abhängigkeit der Gebäudekategorie als flächenbezogener Defaultwert festgelegt.

HEB: Beim **Heizenergiebedarf** werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasserwärmebedarf die Verluste des gebäudetechnischen Systems berücksichtigt, dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie.

KB: Der **Kühlbedarf** ist jene Wärmemenge, welche aus den Räumen abgeführt werden muss, um unter der Solltemperatur zu bleiben. Er errechnet sich aus den nicht nutzbaren inneren und solaren Gewinnen.

BefEB: Beim **Befeuchtungsenergiebedarf** wird der allfällige Energiebedarf zur Befeuchtung dargestellt.

KEB: Beim **Kühlenergiebedarf** werden zusätzlich zum Kühlbedarf die Verluste des Kühlsystems und der Kältebereitstellung berücksichtigt.

BelEB: Der **Beleuchtungsenergiebedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt und entspricht dem Energiebedarf zur nutzungsgerechten Beleuchtung.

BSB: Der **Betriebsstrombedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt und entspricht der Hälfte der mittleren inneren Lasten.

EEB: Der **Endenergiebedarf** umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf).

f_{GEE}: Der **Gesamtenergieeffizienz-Faktor** ist der Quotient aus dem Endenergiebedarf und einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

PEB: Der **Primärenergiebedarf** ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB_{em}) und einen nicht erneuerbaren (PEB_{n,em}) Anteil auf.

CO₂: Gesamte den Endenergiebedarf zuzurechnende **Kohlendioxidemissionen**, einschließlich jener für Vorketten.

Alle Werte gelten unter der Annahme eines normierten BenutzerInnenverhaltens. Sie geben den Jahresbedarf pro Quadratmeter beheizter Brutto-Grundfläche an.

Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG). Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren für Primärenergie und Kohlendioxidemissionen ist 2004 - 2008 (Strom: 2009 - 2013), und es wurden übliche Allokationsregeln unterstellt.

GEBÄUDEKENNDATEN

Brutto-Grundfläche	10.052,20 m ²	charakteristische Länge	4,56 m	mittlerer U-Wert	0,260 W/m ² K
Bezugsfläche	8.041,76 m ²	Klimaregion	NF	LEK _T -Wert	11,90
Brutto-Volumen	120.648,36 m ³	Heiztage	240 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Gebäude-Hüllfläche	26.481,07 m ²	Heizgradtage	4044 Kd	Bauweise	mittelschwere
Kompaktheit (A/V)	0,22 1/m	Norm-Außentemperatur	-12,0 °C	Soll-Innentemperatur	20 °C

ANFORDERUNGEN (Referenzklima) Produktionshalle

Referenz-Heizwärmebedarf	erfüllt	92,89 kWh/m ² a	≥ HWB _{Ref,RK}	42,64 kWh/m ² a
Außeninduzierter Kühlbedarf	nicht erfüllt	1,00 kWh/m ² a	> KB* _{RK}	2,01 kWh/m ² a
End-/Lieferenergiebedarf	erfüllt (alternativ zu f _{GEE})	464,53 kWh/m ² a	≥ E/LEB _{RK}	192,92 kWh/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	ohne Anforderungen		f _{GEE}	0,369
Erneuerbarer Anteil	erfüllt			

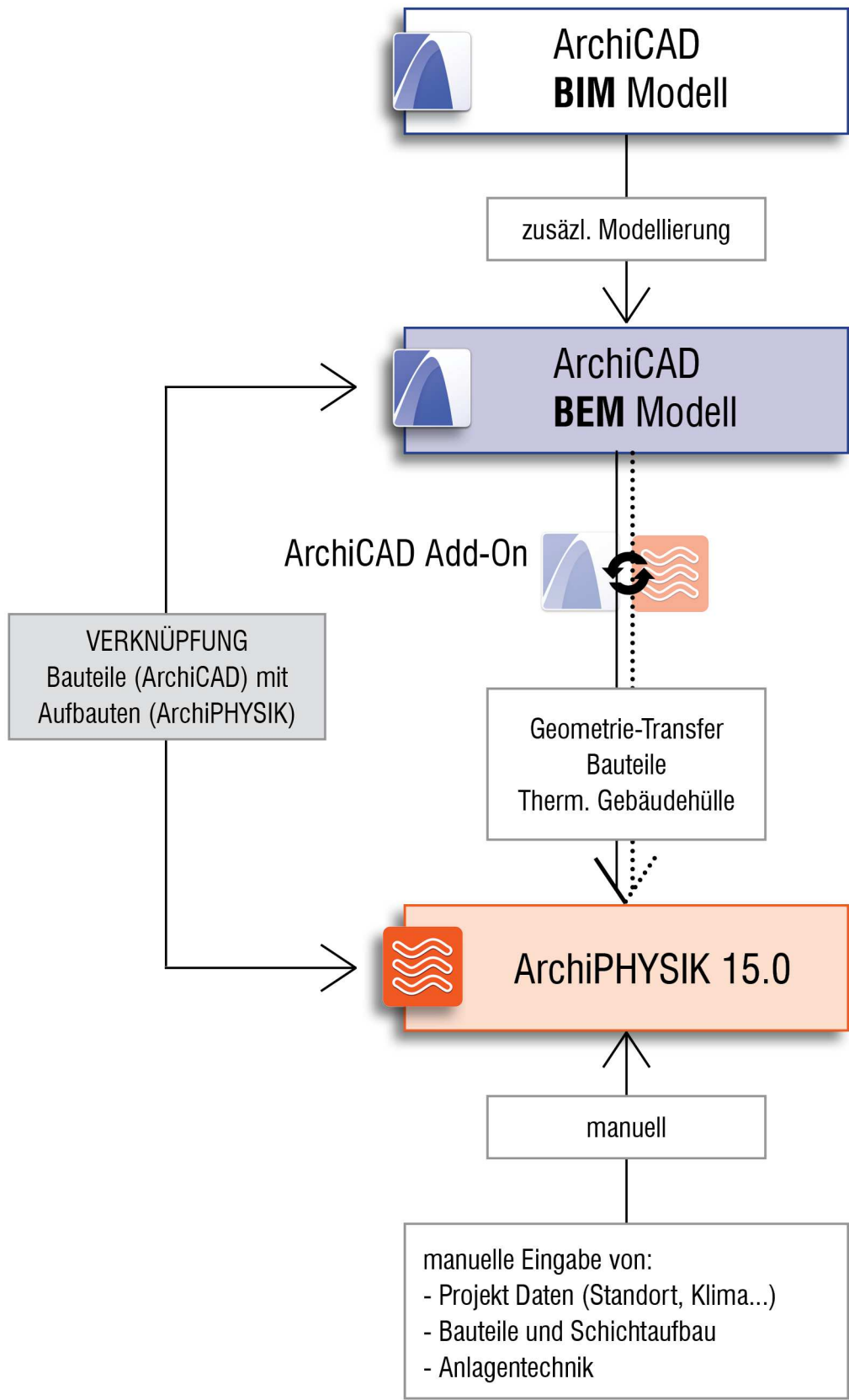
WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

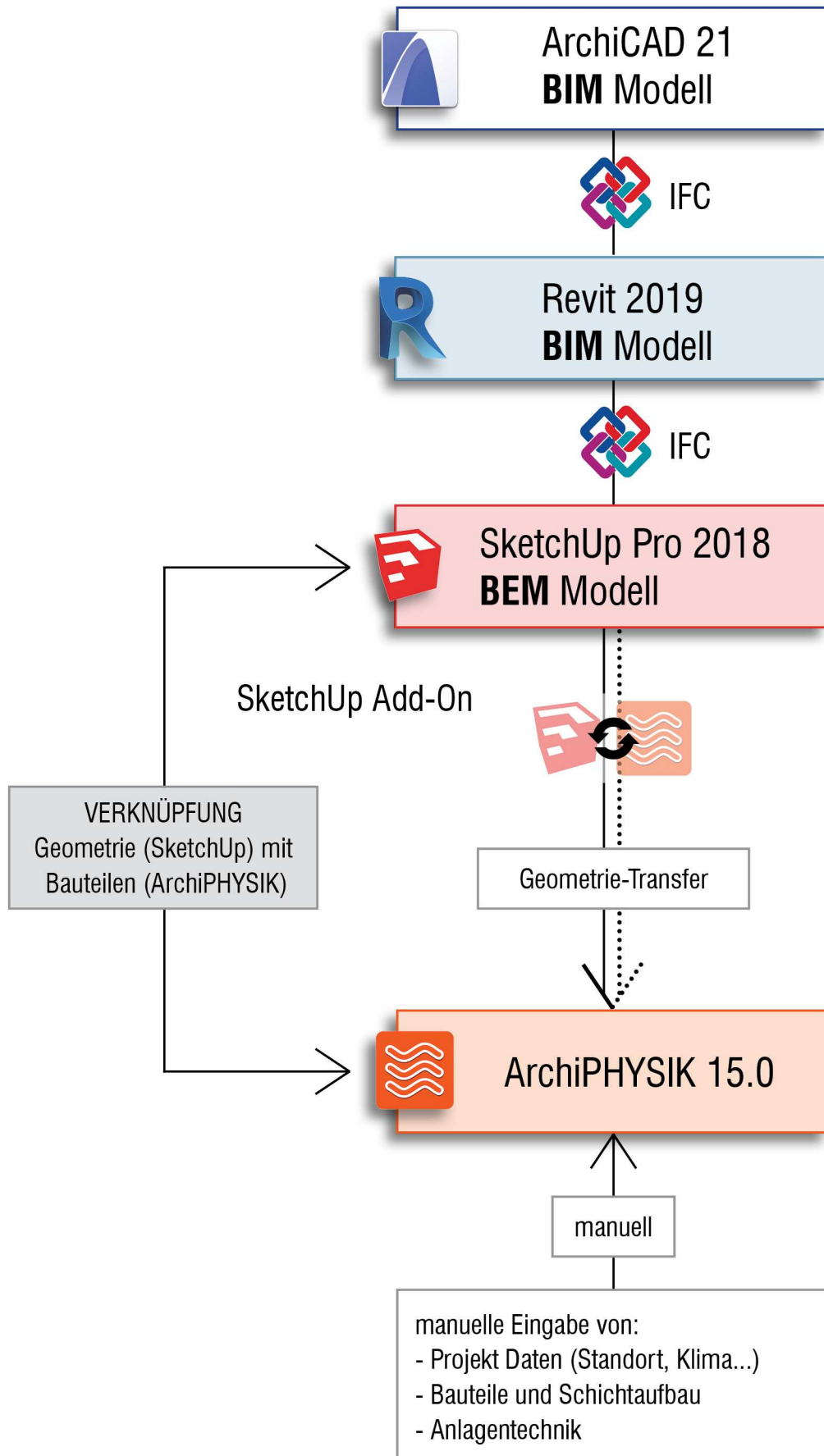
Referenz-Heizwärmebedarf	498.177 kWh/a	HWB _{Ref,SK}	49,56 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	1.083.431 kWh/a	HWB _{SK}	107,78 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	256.834 kWh/a	WWWB	25,55 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	1.458.151 kWh/a	HEB _{SK}	145,06 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H}	1,08
Kühlbedarf	148.449 kWh/a	KB _{SK}	14,77 kWh/m ² a
Kühlenergiebedarf	0 kWh/a	KEB _{SK}	0,00 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Kühlen		e _{AWZ,K}	0,00
Befeuchtungsenergiebedarf	0 kWh/a	BefEB _{SK}	0,00 kWh/m ² a
Beleuchtungsenergiebedarf	380.978 kWh/a	BelEB	37,90 kWh/m ² a
Betriebsstrombedarf	330.215 kWh/a	BSB	32,85 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	2.114.460 kWh/a	EEB _{SK}	210,35 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	3.483.849 kWh/a	PEB _{SK}	346,58 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	2.876.453 kWh/a	PEB _{n.ern.,SK}	286,15 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	607.396 kWh/a	PEB _{ern.,SK}	60,42 kWh/m ² a
Kohlendioxidemissionen (optional)	604.932 kg/a	CO ₂ _{SK}	60,18 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE}	0,373
Photovoltaik-Export	0 kWh/a	PV _{Export,SK}	0,00 kWh/m ² a

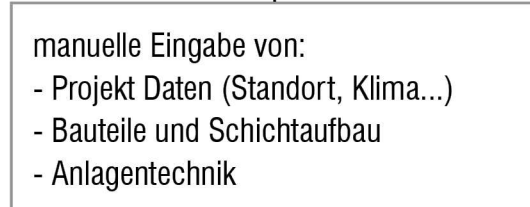
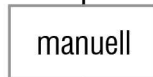
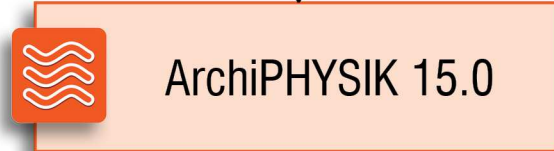
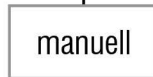
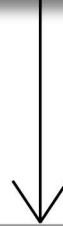
ERSTELLT

GWR-Zahl		Unterschrift	BSc Leonard Donkor
Ausstellungsdatum	31.08.2018		
Gültigkeitsdatum	30.08.2028		

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von der hier angegebenen abweichen.







ANHANG 3

Erstellung Ökobilanz (LCA)

Anhang 3-1

Auswertungen Microsoft Excel Tabellen - LCA 2

Anhang 3-2

Auswertungen ArchiPHYSIK - LCA 1 / LCA 3

Anhang 3-3

Ergebnisgegenüberstellungen

Anhang 3-4

OI 3 Bewertungen

ÖKO-Bilanzierung

Zellen für Eingabe
gespart (Vorgabe/ Berechnung)

A01 Außenwand massiv hinterlüftet

d[m]	p[kg/m ³]	A[m ²]	ND-LD [l]*	Erneuerungshäufigkeit	PEI[MJ]	CO ₂ [kg]	So ₂ [kg]	PEI[MJ/m ²]	CO ₂ [kg/m ²]	So ₂ [kg/m ²]	Quelle	Produkt
0,010	2.800	2.690	50	0	5.870.937,15	449.431,30	2.091,55	2.182,32	167,08	0,7775	baubook	
0,060	2.800	18,83	50	0	246.556,68	18.876,11	87,84	91,66	7,03	0,0327	baubook	
0,060	1	2.690	50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	baubook	
0,200	20	2.690	50	0	1.064.046,49	44.393,11	160,32	395,56	16,68	0,0596	baubook	
0,200	2.400	2.690	50	0	21.930.464,16	207.881,65	553,92	792,00	77,28	0,2059	baubook	
					9.311.466,48	721.046,97	2.893,63	3.461,54	266,05	1,08	"t. ÖIF-Index	

A02 Außenwand leicht hinterlüftet

d[m]	p[kg/m ³]	A[m ²]	ND-LD [l]*	Erneuerungshäufigkeit	PEI[MJ]	CO ₂ [kg]	So ₂ [kg]	PEI[MJ/m ²]	CO ₂ [kg/m ²]	So ₂ [kg/m ²]	Quelle	Produkt
0,010	2.800	2.414	50	0	5.268.098,66	403.319,79	1.876,95	2.182,32	167,08	0,7775	baubook	
0,060	2.800	16,898	50	0	221.260,14	16.939,43	78,83	91,66	7,02	0,0327	baubook	
0,060	1	2.414	50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	baubook	
0,020	650	2.414	50	0	268.314,99	-36.120,53	65,78	111,15	-14,96	0,0272	baubook	
0,164	475	301,25	50	0	159.000,63	-35.235,84	22,19	24,44	-14,60	0,0092	baubook	
0,164	100	2.112,2	50	0	739.926,56	66.995,22	489,34	306,52	27,75	0,2027	baubook	
0,001	650	2.414	50	0	66.419,73	2.065,71	8,04	27,51	0,86	0,0053	baubook	
0,020	525	2.414	50	0	99.866,77	-40.098,79	35,76	41,37	-16,61	0,0148	baubook	
					6.722.887,47	377.865,00	2.576,90	2.784,97	156,53	1,07	"t. ÖIF-Index	

B01 Boden

d[m]	p[kg/m ³]	A[m ²]	ND-LD [l]*	Erneuerungshäufigkeit	PEI[MJ]	CO ₂ [kg]	So ₂ [kg]	PEI[MJ/m ²]	CO ₂ [kg/m ²]	So ₂ [kg/m ²]	Quelle	Produkt
0,300	1.800	9972,5	50	0	538.513,92	37.695,97	258,49	54,00	3,78	0,0259	baubook	
0,100	2.000	9972,5	50	0	737.963,52	101.719,30	221,59	74,00	10,20	0,0222	baubook	
0,000	1.050	9972,5	50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	baubook	
0,200	30	9972,5	50	0	5.598.151,37	251.545,84	929,77	561,36	25,22	0,0932	baubook	
0,001	1.200	9972,5	50	0	381.028,52	15.377,56	63,31	38,21	1,54	0,0063	baubook	
0,000	650	9972,5	50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	baubook	
0,300	2.400	9972,5	50	0	11.847.306,24	1.156.009,88	3.060,30	1.188,00	115,92	0,3089	baubook	
0,060	2.100	9972,5	50	0	1.281.653,13	150.783,90	349,32	128,52	15,12	0,0350	baubook	
0,005	0	9972,5	50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	baubook	
					20.384.626,70	1.713.132,45	4.902,77	2.044,09	171,79	0,49	"t. ÖIF-Index	

D01 Dach geneigt

d[m]	p[kg/m ³]	A[m ²]	ND-LD [l]*	Erneuerungshäufigkeit	PEI[MJ]	CO ₂ [kg]	So ₂ [kg]	PEI[MJ/m ²]	CO ₂ [kg/m ²]	So ₂ [kg/m ²]	Quelle	Produkt
0,005	1.200	8395,8	50	0	4.219.907,05	130.672,54	538,66	502,62	15,56	0,0642	baubook	
0,030	650	8395,8	50	0	1.399.793,09	-188.439,98	343,15	166,73	-22,44	0,0409	baubook	
0,260	475	10.949,5	50	0	326.322,28	-194.386,10	122,35	38,75	-23,14	0,0146	baubook	
0,260	100	73.463,3	50	0	4.079.864,77	369.403,49	2.698,14	485,94	44,00	0,3211	baubook	
0,000	650	8395,8	50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	baubook	
0,015	650	8395,8	50	0	699.896,54	-94.219,99	171,58	85,36	-11,22	0,0204	baubook	
0,030	780	8395,8	50	0	1.068.754,30	127.092,21	289,19	127,30	2,04	0,0344	baubook	
					11.793.538,04	40.222,17	4.183,07	1.404,69	4,79	0,50	"t. ÖIF-Index	

D02 Dach flach

d[m]	p[kg/m ³]	A[m ²]	ND-LD [l]*	Erneuerungshäufigkeit	PEI[MJ]	CO ₂ [kg]	So ₂ [kg]	PEI[MJ/m ²]	CO ₂ [kg/m ²]	So ₂ [kg/m ²]	Quelle	Produkt
0,005	1.200	154,86	50	0	77.835,73	2.410,24	9,94	502,62	15,56	0,0642	baubook	
0,030	650	154,86	50	0	25.819,03	-3.475,76	6,33	166,73	-22,44	0,0409	baubook	
0,260	475	19.398	50	0	6.000,53	-3.593,59	2,26	38,75	-23,14	0,0146	baubook	
0,260	100	135,5	50	0	75.252,67	6.813,61	49,77	485,94	44,00	0,3211	baubook	
0,000	650	154,86	50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	baubook	
0,015	650	154,86	50	0	12.909,52	-1.737,88	3,16	85,36	-11,22	0,0204	baubook	
0,030	780	154,86	50	0	19.713,06	315,26	5,33	127,30	2,04	0,0344	baubook	
					217.530,55	741,89	76,79	1.404,69	4,79	0,50	"t. ÖIF-Index	

A01 Außenwand massiv hinterlüftet

Blecheindeckung
Aluminiumblech
Luftschicht vertikal
Wärmedämmung
Stahlbeton-Wand

PEI[MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
77,940000	5,967000	0,027769
77,940000	5,967000	0,027769
0,000000	0,000000	0,000000
98,890000	4,169000	0,014900
1,650000	0,161000	0,000429
256,420000	16,264000	0,070867

A02 Außenwand leicht hinterlüftet

Blecheindeckung
Aluminiumblech
Luftschicht Vertikal
OSB-Platten
Nutzholz
Wärmedämmung Mineralwolle
Dampfbremse
Nutzholz

PEI[MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
77,940000	5,967000	0,027769
77,940000	5,967000	0,027769
0,000000	0,000000	0,000000
8,550000	-1,151000	0,002096
2,510000	-1,499000	0,000944
21,360000	1,934000	0,014126
84,660000	2,633000	0,010251
3,940000	-1,582000	0,001411
276,900000	12,269000	0,084366

B01 Boden

Kapillarbrechende Schicht
Magerbeton
Bitumenanstrich
Dämmung XPS
Abdichtung
Trennlage
Stahlbeton Bodenplatte
Zementverbundestrich
Epoxidharz-Beschichtung

PEI[MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
0,100000	0,007000	0,000048
0,370000	0,051000	0,000111
55,410000	1,057000	0,004411
93,560000	4,204000	0,015539
31,840000	1,285000	0,005290
84,660000	2,633000	0,010251
1,65	0,161	0,000429
1,02	0,12	0,000278
91,86	4,916	0,028473
360,470000	14,434000	0,064830

D01 Dach geneigt

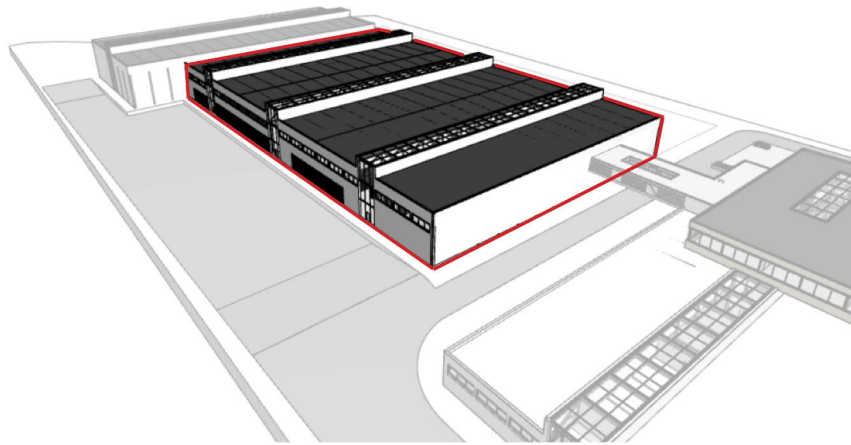
EPDM Baufolie
OSB Platte
Nutzholz
Wärmedämmung
Dampfbremse
OSB Platte
Fireboard

PEI[MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
83,770000	2,594000	0,010693
8,550000	-1,151000	0,002096
2,510000	-1,499000	0,000944
21,36	1,934	0,014126
84,66	2,633	0,010251
8,55	-1,151	0,002096
5,44	0,087	0,001472
214,840000	3,447000	0,041678

D02 Dach flach

EPDM Baufolie
OSB Platte
Nutzholz
Wärmedämmung
Dampfbremse
OSB Platte
Fireboard

PEI[MJ/kg]	CO2 [kg/kg]	So2 [kg/kg]
83,770000	2,594000	0,010693
8,550000	-1,151000	0,002096
2,510000	-1,499000	0,000944
21,36	1,934	0,014126
84,66	2,633	0,010251
8,55	-1,151	0,002096
5,44	0,087	0,001472
214,840000	3,447000	0,041678



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

BIM-Eco Variante LCA 1 - Daten Quelle Baubook

Floraniweg 16
A 6176, Völs

VerfasserIn

BSc Leonard Donkor
TU Wien Masterstudium Architektur 066443
Belvederegasse 29/17
1040 Wien-Wieden

T
F
M +43 650 5233449
E e1025696@student.tuwien.ac.at

LCA Bewertung

BIM-Eco Variante LCA 1 - Produktionshalle

Brutto-Grundfläche	BGF	10.018,88	m2
Konditioniertes Volumen	V	112.712,40	m3
Charakteristische Länge	lc	4,38	m
Konstruktionsoberfläche	KOF	23.627,13	m2
Konditionierte Nettogrundfläche	NGF	0,00	m2

Gesamtsumme (Herstellung + Erhaltung)

Treibhauspotenzial	GWP	4.631,84	t CO2/m2 NGF xa
Ozonschichtabbaupotenzial	ODP	0,000E+00	kg R11/m2 NGF xa
Ozonbildungspotenzial	POCP	0,00000	kg C2H4/m2 NGF xa
Versauerungspotenzial	AP	2.335.372,000	kg SO2/m2 NGF xa
Überdüngungspotenzial	EP	26.781,0000	kg PO4/m2 NGF xa
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	PEnr	92.327.847,0	MJ
Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie	Peges	0,0	MJ

Herstellung

Treibhauspotenzial	GWP100	2.847,53	t CO2/m2 NGF xa
Ozonschichtabbaupotenzial	ODP	0,000E+00	kg R11/m2 NGF xa
Ozonbildungspotenzial	POCP	0,00000	kg C2H4/m2 NGF xa
Versauerungspotenzial	AP	1.140.563,000	kg SO2/m2 NGF xa
Überdüngungspotenzial	EP	14.614,0000	kg PO4/m2 NGF xa
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	PEnr	48.439.872,0	MJ
Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie	Peges	0,0	MJ

Erhaltung

Treibhauspotenzial	GWP	1.784,30	t CO2/m2 NGF xa
Ozonschichtabbaupotenzial	ODP	0,000E+00	kg R11/m2 NGF xa
Ozonbildungspotenzial	POCP	0,00000	kg C2H4/m2 NGF xa
Versauerungspotenzial	AP	1.194.809,000	kg SO2/m2 NGF xa
Überdüngungspotenzial	EP	12.167,0000	kg PO4/m2 NGF xa
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	PEnr	43.887.975,0	MJ
Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie	Peges	0,0	MJ

LCA Bewertung

BIM-Eco Variante LCA 1 - Produktionshalle

Bauteilliste

Übersicht aller Bauteile in dieser Berechnung sortiert nach Bauteilnummer.

	A	GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PE _{nr}	PE _{ges}
	m2	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ
A01 Außenwand massiv hinterlüftet	2.689,98	1.230.343,05	0,000E+00	0,00000	1.230.343,052	5.218,5612	16.498.185,3	0,0
A02 Außenwand leicht hinterlüftet	2.413,99	756.472,04	0,000E+00	0,00000	756.472,046	5.141,7987	13.526.865,3	0,0
B01 Boden	9.972,48	2.297.188,69	0,000E+00	0,00000	6.841,440	6.841,4403	29.684.004,1	0,0
D01 Dach geneigt	8.395,82	341.541,95	0,000E+00	0,00000	341.541,957	9.403,3184	32.028.038,3	0,0
D02 Dach flach	154,86	6.299,70	0,000E+00	0,00000	173,443	174,9918	590.753,7	0,0
Gesamt	25.705,39	1.631.845,00	0,000E+00	0,00000	335.372,000	26.781,0000	12.327.847,0	0,0

Herstellung

	A	GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PE _{nr}	PE _{ges}
	m2	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ
A01 Außenwand massiv hinterlüftet	2.689,98	719.112,35	0,000E+00	0,00000	719.112,353	2.878,2786	9.346.604,5	0,0
A02 Außenwand leicht hinterlüftet	2.413,99	376.172,06	0,000E+00	0,00000	376.172,061	2.558,8294	6.696.987,6	0,0
B01 Boden	9.972,48	1.711.209,75	0,000E+00	0,00000	4.901,154	4.901,1548	20.384.626,6	0,0
D01 Dach geneigt	8.395,82	40.299,93	0,000E+00	0,00000	40.299,936	4.197,9100	11.794.112,1	0,0
D02 Dach flach	154,86	743,32	0,000E+00	0,00000	77,430	77,4300	217.541,1	0,0
Gesamt	25.705,39	1.847.537,00	0,000E+00	0,00000	140.563,000	14.614,0000	18.439.872,0	0,0

Erhaltung

	A	GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PE _{nr}	PE _{ges}
	m2	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ
A01 Außenwand massiv hinterlüftet	2.689,98	511.230,69	0,000E+00	0,00000	511.230,699	2.340,2826	7.151.580,8	0,0
A02 Außenwand leicht hinterlüftet	2.413,99	380.299,98	0,000E+00	0,00000	380.299,984	2.582,9693	6.829.877,7	0,0
B01 Boden	9.972,48	585.978,93	0,000E+00	0,00000	1.940,285	1.940,2855	9.299.377,4	0,0
D01 Dach geneigt	8.395,82	301.242,02	0,000E+00	0,00000	301.242,021	5.205,4084	20.233.926,2	0,0
D02 Dach flach	154,86	5.556,37	0,000E+00	0,00000	96,013	97,5618	373.212,6	0,0
Gesamt	25.705,39	1.784.308,00	0,000E+00	0,00000	194.809,000	12.167,0000	13.887.975,0	0,0

LCA Bewertung

BIM-Eco Variante LCA 1 - Produktionshalle

A01 Außenwand massiv hinterlüftet

Außenwand bis 9,00m Höhe

	d m	Nutzung a	Rho kg/m ³	CO ₂ je kg	R11 eq. je kg	C2H4 je kg	SO ₂ eq. je kg	PO4 je kg	MJ fossil je kg	MJ je kg	Neubau	
											AP	EP
1	0,0100	50	2.800	5,96	0,000E+00	0,000	5,968	0,0277	77,9	0,0		
2	0,0600	50	2.800	5,96	0,000E+00	0,000	5,968	0,0277	77,9	0,0		
	0,0600	0	1	0,00	0,000E+00	0,000	0,000	0,0000	0,0	0,0		
3	0,2000	50	20	4,16	0,000E+00	0,000	4,169	0,0149	98,9	0,0		
4	0,2000	100	2.400	0,16	0,000E+00	0,000	0,161	0,0004	1,7	0,0		
154,86 m²												
				GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PEne	Pages		
				Gesamt	1.230.343,05	0,000E+00	0,00000	.230.343,052	5.218,5612	16.498.185,3	0,0	
				Herstellung	719.112,35	0,000E+00	0,00000	719.112,353	2.878,2786	9.346.604,5	0,0	
				Erhaltung	511.230,69	0,000E+00	0,00000	511.230,699	2.340,2826	7.151.580,8	0,0	

A02 Außenwand leicht hinterlüftet

Außenwand ab 9,00m Höhe

	d m	Nutzung a	Rho kg/m ³	CO ₂ je kg	R11 eq. je kg	C2H4 je kg	SO ₂ eq. je kg	PO4 je kg	MJ fossil je kg	MJ je kg	Neubau	
											AP	EP
1	0,0100	50	2.800	5,96	0,000E+00	0,000	5,968	0,0277	77,9	0,0		
2	0,0600	50	2.800	5,96	0,000E+00	0,000	5,968	0,0277	77,9	0,0		
	0,0600	0	1	0,00	0,000E+00	0,000	0,000	0,0000	0,0	0,0		
	0,0600	0	1	0,00	0,000E+00	0,000	0,000	0,0000	0,0	0,0		
3	0,0200	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	-1,150	0,0021	8,5	0,0		
4	0,1640	50	475	-1,50	0,000E+00	0,000	-1,500	0,0009	2,5	0,0		
	0,1640	50	475	-1,50	0,000E+00	0,000	-1,500	0,0009	2,5	0,0		
	0,1640	50	100	1,93	0,000E+00	0,000	1,935	0,0141	21,4	0,0		
5	0,0005	25	650	2,63	0,000E+00	0,000	2,634	0,0102	84,7	0,0		
6	0,0200	50	525	-1,58	0,000E+00	0,000	-1,582	0,0014	3,9	0,0		
154,86 m²												
				GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PEne	Pages		
				Gesamt	756.472,04	0,000E+00	0,00000	756.472,046	5.141,7987	13.526.865,3	0,0	
				Herstellung	376.172,06	0,000E+00	0,00000	376.172,061	2.558,8294	6.696.987,6	0,0	
				Erhaltung	380.299,98	0,000E+00	0,00000	380.299,984	2.582,9693	6.829.877,7	0,0	

LCA Bewertung

BIM-Eco Variante LCA 1 - Produktionshalle

B01

Boden

Boden gg. Erdreich

Neubau

	d	Nutzung	Rho	CO2	R11 eq.	C2H4	SO2 eq.	PO4	MJ fossil	MJ
	m	a	kg/m ³	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg
1	Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m ³)	50	1.800	0,00	0,000E+00	0,000	0,000	0,0000	0,1	0,0
2	Magerbeton / Schütt- und Stampfbeton	50	2.000	0,05	0,000E+00	0,000	0,000	0,0001	0,3	0,0
3	Bitumenanstrich	25	1.050	1,05	0,000E+00	0,000	0,004	0,0044	55,4	0,0
4	AUSTROTHERM XPS TOP 30 SF	50	30	4,20	0,000E+00	0,000	0,015	0,0155	93,5	0,0
5	codex AX 10 Flüssigabdichtung	25	1.200	1,28	0,000E+00	0,000	0,005	0,0052	31,8	0,0
6	BACHL PE-Dampfbremssfolie Klasse E, B2, 100µ	25	650	2,63	0,000E+00	0,000	0,010	0,0102	84,6	0,0
7	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	100	2.400	0,16	0,000E+00	0,000	0,000	0,0004	1,6	0,0
8	RÖFIX 970 Zementestrich	50	2.100	0,12	0,000E+00	0,000	0,000	0,0002	1,0	0,0
9	Epoxidharz-Beschichtung	10	0	4,92	0,000E+00	0,000	0,028	0,0284	91,8	0,0

9.972,48 m²

	GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PEne	Pages
Gesamt	2.297.188,69	0,000E+00	0,00000	6.841,440	6.841,4403	29.684.004,1	0,0
Herstellung	1.711.209,75	0,000E+00	0,00000	4.901,154	4.901,1548	20.384.626,6	0,0
Erhaltung	585.978,93	0,000E+00	0,00000	1.940,285	1.940,2855	9.299.377,4	0,0

D01

Dach geneigt

Elementdach

Neubau

	d	Nutzung	Rho	CO2	R11 eq.	C2H4	SO2 eq.	PO4	MJ fossil	MJ
	m	a	kg/m ³	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg
1	EPDM Baufolie, Gummi	25	1.200	2,59	0,000E+00	0,000	2,590	0,0106	83,7	0,0
2	OSB-Platten (650 kg/m ³)	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	-1,150	0,0021	8,5	0,0
3	OSB-Platten (650 kg/m ³)	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	-1,150	0,0021	8,5	0,0
4	Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch g	50	475	-1,50	0,000E+00	0,000	-1,500	0,0009	2,5	0,0
87,5%	Steinwolle Dämmschicht für KDE	50	100	1,93	0,000E+00	0,000	1,935	0,0141	21,4	0,0
5	OSB-Platten (650 kg/m ³)	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	-1,150	0,0021	8,5	0,0
87,5%	Dampfbremse Polyethylen (PE)	25	650	2,63	0,000E+00	0,000	2,630	0,0102	84,6	0,0
6	OSB-Platten (650 kg/m ³)	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	-1,150	0,0021	8,5	0,0
7	Knauf Fireboard	50	780	0,08	0,000E+00	0,000	0,087	0,0014	5,4	0,0
8	Knauf Fireboard	50	780	0,08	0,000E+00	0,000	0,087	0,0014	5,4	0,0

9.972,48 m²

	GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PEne	Pages
Gesamt	341.541,95	0,000E+00	0,00000	341.541,957	9.403,3184	32.028.038,3	0,0
Herstellung	40.299,93	0,000E+00	0,00000	40.299,936	4.197,9100	11.794.112,1	0,0
Erhaltung	301.242,02	0,000E+00	0,00000	301.242,021	5.205,4084	20.233.926,2	0,0

LCA Bewertung

BIM-Eco Variante LCA 1 - Produktionshalle

D02 Dach flach

Neubau

Elementdach

	d	Nutzung	Rho	CO2	R11 eq.	C2H4	SO2 eq.	PO4	MJ fossil	MJ
	m	a	kg/m3	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg
1	0,0050	25	1,200	2,59	0,000E+00	0,000	0,010	0,0106	83,7	0,0
2	0,0150	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	0,002	0,0021	8,5	0,0
3	0,0150	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	0,002	0,0021	8,5	0,0
4	0,2600	50	475	-1,50	0,000E+00	0,000	0,000	0,0009	2,5	0,0
	0,2600	50	100	1,93	0,000E+00	0,000	0,014	0,0143	21,4	0,0
5	0,0000	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	0,002	0,0021	8,5	0,0
	0,0000	25	650	2,63	0,000E+00	0,000	0,010	0,0102	84,6	0,0
6	0,0150	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	0,002	0,0021	8,5	0,0
7	0,0150	50	780	0,08	0,000E+00	0,000	0,001	0,0014	5,4	0,0
8	0,0150	50	780	0,08	0,000E+00	0,000	0,001	0,0014	5,4	0,0

9.972,48 m2

	GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PEne	Pages
Gesamt	6.299,70	0,000E+00	0,00000	173,443	174,9918	590.753,7	0,0
Herstellung	743,32	0,000E+00	0,00000	77,430	77,4300	217.541,1	0,0
Erhaltung	5.556,37	0,000E+00	0,00000	96,013	97,5618	373.212,6	0,0

Ökologische Bewertung

BIM-Eco Variante LCA 1 - Alle Gebäudeteile/Zonen

angewendetes Berechnungsverfahren	OI3 Leitfaden 3.1	
betrachtete Bilanzgrenze	BG3	
Lebensdauer von Schichten berücksichtigen	ja	
Betrachtungszeitraum	100 Jahre	
Bezugsfläche	BZF	10.018,88 m ²
Konditionierte Grundfläche	BZF	10.018,88 m ²
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	PEI ne	92.418.974 MJ
Globales Erwärmungspotenzial	GWP100	5.452,82 t CO ₂ equ.
Versäuerungspotential	AP	26.796 kg SO ₂ equ.

OI3 BG3, BZF

754,8 Pkt.

Bauteilliste

Übersicht aller Bauteile in dieser Berechnung sortiert nach Bauteilnummer.

		A m ²	OI3 BG3, BZF	ΔOI3 Pkt/m ²
A01	Außenwand massiv hinterlüftet	2.689,98	144,6	539
A02	Außenwand leicht hinterlüftet	2.413,99	128,4	533
B01	Boden	9.972,48	228,7	230
D01	Dach geneigt	8.395,82	248,4	298
D02	Dach flach	154,86	4,6	298
		23.627,13	754,8	

Ökologische Bewertung

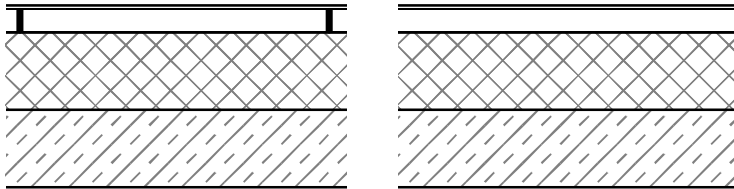
BIM-Eco Variante LCA 1 - Außenwand massiv hinterlüftet

A01

Außenwand massiv hinterlüftet

Neubau

Außenwand bis 9,00m Höhe



Bilanzgrenze 3

Lebensdauer berücksichtigt

Betrachtungszeitraum

100 a

$\Delta OI3$

539 Pkt/m²

PEI (Primärenergiegehalt nicht erneuerbar)

6.115,38 MJ/m²

GWP (Global Warming Potential)

457,713 kg/m²

AP (Versäuerung)

1,9384 kg/m²

Schichten			Dicke	Lebens-	Alter	$\Delta OI3$
			m	dauer	a	Pkt/m ²
				a		
1	Aluminiumblech	↳ 2142716102	0,0100	50	-	409
2.0	Aluminiumblech Breite: 0,00 m Achsenabstand: 0,80 m	↳ 2142716102	0,0600	50	-	15
2.1	Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 60 < d <= 65 mm	↳ 2142684614	0,0600	0	-	0
3	AUSTROTHERM EPS W20	↳ 2142711069	0,2000	50	-	48
4	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	↳ 2142717550	0,2000	100	-	67
			0,470			539

Ökologische Bewertung

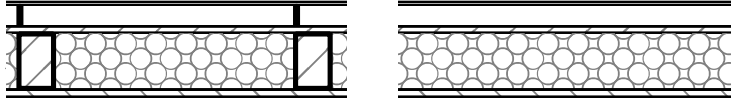
BIM-Eco Variante LCA 1 - Außenwand leicht hinterlüftet

A02

Außenwand leicht hinterlüftet

Neubau

Außenwand ab 9,00m Höhe



Bilanzgrenze 3

Lebensdauer berücksichtigt

Betrachtungszeitraum

100 a

Δ OI3

533 Pkt/m²

PEI (Primärenergiegehalt nicht erneuerbar)

5.606,16 MJ/m²

GWP (Global Warming Potential)

369,000 kg/m²

AP (Versäuerung)

2,1346 kg/m²

Schichten			Dicke	Lebens-	Alter	Δ OI3
			m	dauer	a	Pkt/m ²
				a		
1	Aluminiumblech	↻ 2142716102	0,0100	50	-	409
2.0	Aluminiumblech Breite: 0,00 m Achsenabstand: 0,80 m	↻ 2142716102	0,0600	50	-	15
2.1	Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 60 < d <= 65 mm	↻ 2142684614	0,0600	0	-	0
3	OSB-Platten (650 kg/m ³)	↻ 2142715124	0,0200	50	-	13
4.0	Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet Breite: 0,10 m Achsenabstand: 0,80 m	↻ 2142715290	0,1640	50	-	2
4.1	Steinwolle Dämmschicht für KDE	↻ 2142723774	0,1640	50	-	84
5	Dampfbremse Polyethylen (PE)	↻ 2142712508	0,0005	25	-	6
6	Nutzholz (525 kg/m ³ - zB Lärche) - gehobelt, techn. getrocknet	↻ 2142715108	0,0200	50	-	4
			0,275			533

Ökologische Bewertung

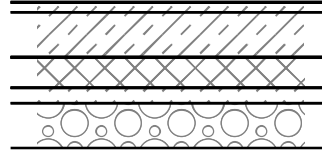
BIM-Eco Variante LCA 1 - Boden

B01

Boden

Neubau

Boden gg. Erdreich



Bilanzgrenze 3

Lebensdauer berücksichtigt

Betrachtungszeitraum

100 a

Δ OI3

230 Pkt/m²

PEI (Primärenergiegehalt nicht erneuerbar)

2.989,34 MJ/m²

GWP (Global Warming Potential)

231,330 kg/m²

AP (Versäuerung)

0,6870 kg/m²

Schichten			Dicke	Lebens-	Alter	Δ OI3
			m	dauer	a	Pkt/m ²
				a		
1	Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m ³)	↻ 2142715135	0,3000	50	-	12
2	Magerbeton / Schütt- und Stampfbeton	↻ 2142715680	0,1000	50	-	14
3	Bitumenanstrich	↻ 2142684286	0,0000	25	-	0
4	AUSTROTHERM XPS TOP 30 SF	↻ 2142702349	0,2000	50	-	71
5	codex AX 10 Flüssigabdichtung	↻ 2142701217	0,0010	25	-	10
6	BACHL PE-Dampfbremsfolie Klasse E, B2, 100μ	↻ 2142717191	0,0000	25	-	0
7	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	↻ 2142717550	0,3000	100	-	100
8	RÖFIX 970 Zementestrich	↻ 2142685424	0,0600	50	-	23
9	Epoxidharz-Beschichtung	↻ 2142719947	0,0050	10	-	0
			0,966			230

Ökologische Bewertung

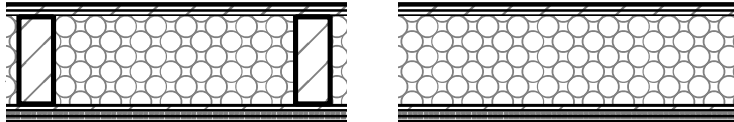
BIM-Eco Variante LCA 1 - Dach geneigt

D01

Dach geneigt

Neubau

Elementdach



Bilanzgrenze 3

Lebensdauer berücksichtigt

Betrachtungszeitraum

100 a

Δ OI3

298 Pkt/m²

PEI (Primärenergiegehalt nicht erneuerbar)

3.815,40 MJ/m²

GWP (Global Warming Potential)

119,742 kg/m²

AP (Versäuerung)

1,1200 kg/m²

Schichten			Dicke	Lebens-	Alter	Δ OI3
			m	dauer	a	Pkt/m ²
				a		
1	EPDM Baufolie, Gummi	↳ 2142684397	0,0050	25	-	112
2	OSB-Platten (650 kg/m ³)	↳ 2142715124	0,0150	50	-	10
3	OSB-Platten (650 kg/m ³)	↳ 2142715124	0,0150	50	-	10
4.0	Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet Breite: 0,10 m Achsenabstand: 0,80 m	↳ 2142715290	0,2600	50	-	3
4.1	Steinwolle Dämmschicht für KDE	↳ 2142723774	0,2600	50	-	133
4.2	Dampfbremse Polyethylen (PE)	↳ 2142712508	0,0000	25	-	0
5	OSB-Platten (650 kg/m ³)	↳ 2142715124	0,0150	50	-	10
6	Knauf Fireboard	↳ 2142712575	0,0150	50	-	10
7	Knauf Fireboard	↳ 2142712575	0,0150	50	-	10
			0,340			298

Ökologische Bewertung

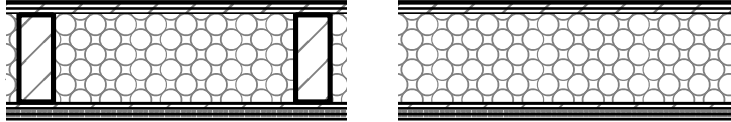
BIM-Eco Variante LCA 1 - Dach flach

D02

Dach flach

Neubau

Elementdach



Bilanzgrenze 3

Lebensdauer berücksichtigt

Betrachtungszeitraum

100 a

Δ OI3

298 Pkt/m²

PEI (Primärenergiegehalt nicht erneuerbar)

3.815,40 MJ/m²

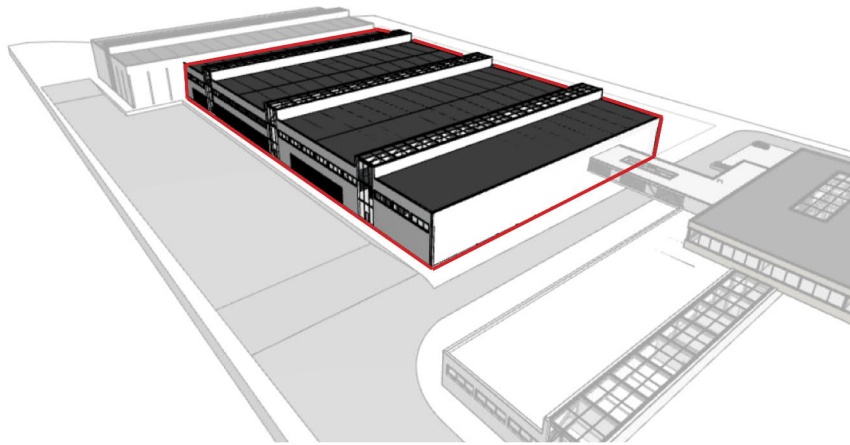
GWP (Global Warming Potential)

119,742 kg/m²

AP (Versäuerung)

1,1200 kg/m²

Schichten			Dicke	Lebens-	Alter	Δ OI3
			m	dauer	a	Pkt/m ²
				a		
1	EPDM Baufolie, Gummi	↻ 2142684397	0,0050	25	-	112
2	OSB-Platten (650 kg/m ³)	↻ 2142715124	0,0150	50	-	10
3	OSB-Platten (650 kg/m ³)	↻ 2142715124	0,0150	50	-	10
4.0	Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet Breite: 0,10 m Achsenabstand: 0,80 m	↻ 2142715290	0,2600	50	-	3
4.1	Steinwolle Dämmschicht für KDE	↻ 2142723774	0,2600	50	-	133
4.2	Dampfbremse Polyethylen (PE)	↻ 2142712508	0,0000	25	-	0
5	OSB-Platten (650 kg/m ³)	↻ 2142715124	0,0150	50	-	10
6	Knauf Fireboard	↻ 2142712575	0,0150	50	-	10
7	Knauf Fireboard	↻ 2142712575	0,0150	50	-	10
			0,340			298



BIM Eco Variante LCA 3 - Daten Quelle IBO

Floraniweg 16
A 6176, Völs

VerfasserIn

BSc Leonard Donkor
TU Wien Masterstudium Architektur 066443
Belvederegasse 29/17
1040 Wien-Wieden

T
F
M +43 650 5233449
E e1025696@student.tuwien.ac.at

LCA Bewertung

BIM Eco Variante LCA 2 - Daten Quelle IBO - Produktionshalle

Brutto-Grundfläche	BGF	10.018,88	m2
Konditioniertes Volumen	V	112.712,40	m3
Charakteristische Länge	lc	4,38	m
Konstruktionsoberfläche	KOF	23.627,13	m2
Konditionierte Nettogrundfläche	NGF	0,00	m2

Gesamtsumme (Herstellung + Erhaltung)

Treibhauspotenzial	GWP	4.316,92	t CO2/m2 NGF xa
Ozonschichtabbaupotenzial	ODP	0,000E+00	kg R11/m2 NGF xa
Ozonbildungspotenzial	POCP	0,00000	kg C2H4/m2 NGF xa
Versauerungspotenzial	AP	828.739,000	kg SO2/m2 NGF xa
Überdüngungspotenzial	EP	25.725,0000	kg PO4/m2 NGF xa
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	PEnr	95.204.827,0	MJ
Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie	Peges	0,0	MJ

Herstellung

Treibhauspotenzial	GWP100	2.556,11	t CO2/m2 NGF xa
Ozonschichtabbaupotenzial	ODP	0,000E+00	kg R11/m2 NGF xa
Ozonbildungspotenzial	POCP	0,00000	kg C2H4/m2 NGF xa
Versauerungspotenzial	AP	415.011,000	kg SO2/m2 NGF xa
Überdüngungspotenzial	EP	13.492,0000	kg PO4/m2 NGF xa
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	PEnr	46.259.435,0	MJ
Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie	Peges	0,0	MJ

Erhaltung

Treibhauspotenzial	GWP	1.760,81	t CO2/m2 NGF xa
Ozonschichtabbaupotenzial	ODP	0,000E+00	kg R11/m2 NGF xa
Ozonbildungspotenzial	POCP	0,00000	kg C2H4/m2 NGF xa
Versauerungspotenzial	AP	413.728,000	kg SO2/m2 NGF xa
Überdüngungspotenzial	EP	12.233,0000	kg PO4/m2 NGF xa
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	PEnr	48.945.392,0	MJ
Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie	Peges	0,0	MJ

LCA Bewertung

BIM Eco Variante LCA 2 - Daten Quelle IBO - Produktionshalle

Bauteilliste

Übersicht aller Bauteile in dieser Berechnung sortiert nach Bauteilnummer.

	A	GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PE _{nr}	PE _{ges}
	m2	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ
A01	2.689,98	1.160.618,77	0,000E+00	0,00000	5.272,360	5.272,3608	16.796.665,5	0,0
A02	2.413,99	772.597,49	0,000E+00	0,00000	808.107,292	5.093,5189	14.634.717,8	0,0
B01	9.972,48	2.022.275,34	0,000E+00	0,00000	6.210,062	6.210,0627	27.938.740,4	0,0
D01	8.395,82	354.891,31	0,000E+00	0,00000	8.983,527	8.983,5274	35.185.706,2	0,0
D02	154,86	6.545,93	0,000E+00	0,00000	165,700	165,7002	648.996,5	0,0
Gesamt	25.705,39	1.316.929,00	0,000E+00	0,00000	828.739,000	25.725,0000	15.204.827,0	0,0

Herstellung

	A	GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PE _{nr}	PE _{ges}
	m2	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ
A01	2.689,98	657.135,21	0,000E+00	0,00000	2.851,378	2.851,3788	9.108.487,4	0,0
A02	2.413,99	384.234,78	0,000E+00	0,00000	404.053,646	2.534,6895	7.246.725,5	0,0
B01	9.972,48	1.467.115,35	0,000E+00	0,00000	4.087,520	4.087,5201	16.565.246,6	0,0
D01	8.395,82	46.764,71	0,000E+00	0,00000	3.946,035	3.946,0354	13.097.395,2	0,0
D02	154,86	862,57	0,000E+00	0,00000	72,784	72,7842	241.580,0	0,0
Gesamt	25.705,39	1.556.113,00	0,000E+00	0,00000	415.011,000	13.492,0000	16.259.435,0	0,0

Erhaltung

	A	GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PE _{nr}	PE _{ges}
	m2	kg	kg	kg	kg	kg	MJ	MJ
A01	2.689,98	503.483,55	0,000E+00	0,00000	2.420,982	2.420,9820	7.688.178,0	0,0
A02	2.413,99	388.362,71	0,000E+00	0,00000	404.053,646	2.558,8294	7.387.992,2	0,0
B01	9.972,48	555.159,98	0,000E+00	0,00000	2.122,542	2.122,5426	11.373.493,7	0,0
D01	8.395,82	308.126,59	0,000E+00	0,00000	5.037,492	5.037,4920	22.088.310,9	0,0
D02	154,86	5.683,36	0,000E+00	0,00000	92,916	92,9160	407.416,5	0,0
Gesamt	25.705,39	1.760.816,00	0,000E+00	0,00000	413.728,000	12.233,0000	18.945.392,0	0,0

LCA Bewertung

BIM Eco Variante LCA 2 - Daten Quelle IBO - Produktionshalle

A01 Außenwand massiv hinterlüftet

Außenwand bis 9,00m Höhe

Neubau

	d	Nutzung	Rho	CO2	R11 eq.	C2H4	SO2 eq.	PO4	MJ fossil	MJ
	m	a	kg/m3	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg
1	0,0100	50	2.800	5,96	0,000E+00	0,000	0,027	0,0278	84,3	0,0
	Aluminiumblech									
2	0,0600	50	2.800	5,96	0,000E+00	0,000	0,027	0,0278	84,3	0,0
	Aluminiumblech									
	0,0600	0	1	0,00	0,000E+00	0,000	0,000	0,0000	0,0	0,0
	Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 60 < d <= 65 n									
3	0,2000	50	20	3,45	0,000E+00	0,000	0,022	0,0223	102,0	0,0
	AUSTROTHERM EPS W20									
4	0,2000	100	2.400	0,11	0,000E+00	0,000	0,000	0,0003	1,1	0,0
	Stahlbeton 160 kg/m³ Armierungsstahl (2 Vol.%)									

154,86 m2

	GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PEne	Pages
Gesamt	1.160.618,77	0,000E+00	0,00000	5.272,360	5.272,3608	16.796.665,5	0,0
Herstellung	657.135,21	0,000E+00	0,00000	2.851,378	2.851,3788	9.108.487,4	0,0
Erhaltung	503.483,55	0,000E+00	0,00000	2.420,982	2.420,9820	7.688.178,0	0,0

A02 Außenwand leicht hinterlüftet

Außenwand ab 9,00m Höhe

Neubau

	d	Nutzung	Rho	CO2	R11 eq.	C2H4	SO2 eq.	PO4	MJ fossil	MJ
	m	a	kg/m3	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg
1	0,0100	50	2.800	5,96	0,000E+00	0,000	5,968	0,0277	84,3	0,0
	Aluminiumblech									
2	0,0600	50	2.800	5,96	0,000E+00	0,000	0,027	0,0277	84,3	0,0
	Aluminiumblech									
	0,0600	0	1	0,00	0,000E+00	0,000	0,000	0,0000	0,0	0,0
	Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 60 < d <= 65 n									
	0,0600	0	1	0,00	0,000E+00	0,000	0,000	0,0000	0,0	0,0
	Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 60 < d <= 65 n									
3	0,0200	50	650	-1,05	0,000E+00	0,000	0,002	0,0022	12,5	0,0
	OSB-Platten (650 kg/m³)									
4	0,1640	50	475	-1,44	0,000E+00	0,000	0,000	0,0004	1,3	0,0
	Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch gr									
	0,1640	50	475	-1,44	0,000E+00	0,000	0,000	0,0004	1,3	0,0
	Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch gr									
	0,1640	50	100	1,93	0,000E+00	0,000	0,014	0,0141	23,1	0,0
	Steinwolle Dämmschicht für KDE									
5	0,0005	25	650	2,63	0,000E+00	0,000	0,010	0,0103	90,0	0,0
	Dampfbremse Polyethylen (PE)									
6	0,0200	50	525	-1,44	0,000E+00	0,000	0,000	0,0004	1,3	0,0
	Nutzholz (525 kg/m³ - zB Lärche) - gehobelt, techn. getrock									

154,86 m2

	GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PEne	Pages
Gesamt	772.597,49	0,000E+00	0,00000	808.107,292	5.093,5189	14.634.717,8	0,0
Herstellung	384.234,78	0,000E+00	0,00000	404.053,646	2.534,6895	7.246.725,5	0,0
Erhaltung	388.362,71	0,000E+00	0,00000	404.053,646	2.558,8294	7.387.992,2	0,0

LCA Bewertung

BIM Eco Variante LCA 2 - Daten Quelle IBO - Produktionshalle

B01

Boden

Boden gg. Erdreich

Neubau

	d	Nutzung	Rho	CO2	R11 eq.	C2H4	SO2 eq.	PO4	MJ fossil	MJ	
	m	a	kg/m3	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	
1	0,3000	50	1.800	0,00	0,000E+00	0,000	0,000	0,0000	0,0	0,0	
2	0,1000	50	2.000	0,05	0,000E+00	0,000	0,000	0,0001	0,4	0,0	
3	0,0000	25	1.050	1,05	0,000E+00	0,000	0,004	0,0044	58,7	0,0	
4	0,2000	50	30	3,44	0,000E+00	0,000	0,021	0,0211	102,0	0,0	
5	0,0010	25	1.200	2,09	0,000E+00	0,000	0,007	0,0079	74,0	0,0	
6	0,0000	25	650	2,75	0,000E+00	0,000	0,025	0,0252	97,1	0,0	
7	0,3000	100	2.400	0,13	0,000E+00	0,000	0,000	0,0003	0,9	0,0	
8	0,0600	50	2.100	0,12	0,000E+00	0,000	0,000	0,0003	1,1	0,0	
9	0,0050	10	0	3,67	0,000E+00	0,000	0,016	0,0163	72,4	0,0	
9.972,48 m2											
				GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PEne	Pages	
				Gesamt	2.022.275,34	0,000E+00	0,00000	6.210,062	6.210,0627	27.938.740,4	0,0
				Herstellung	1.467.115,35	0,000E+00	0,00000	4.087,520	4.087,5201	16.565.246,6	0,0
				Erhaltung	555.159,98	0,000E+00	0,00000	2.122,542	2.122,5426	11.373.493,7	0,0

D01

Dach geneigt

Elementdach

Neubau

	d	Nutzung	Rho	CO2	R11 eq.	C2H4	SO2 eq.	PO4	MJ fossil	MJ	
	m	a	kg/m3	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	
1	0,0050	25	1.200	2,59	0,000E+00	0,000	0,010	0,0107	89,2	0,0	
2	0,0150	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	0,002	0,0022	12,5	0,0	
3	0,0150	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	0,002	0,0022	12,5	0,0	
4	0,2600	50	475	-1,44	0,000E+00	0,000	0,000	0,0004	1,3	0,0	
5	0,0000	50	650	1,93	0,000E+00	0,000	0,014	0,0141	23,1	0,0	
6	0,0150	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	0,002	0,0022	12,5	0,0	
7	0,0150	50	780	0,08	0,000E+00	0,000	0,000	0,0007	4,6	0,0	
8	0,0150	50	780	0,08	0,000E+00	0,000	0,000	0,0007	4,6	0,0	
9.972,48 m2											
				GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PEne	Pages	
				Gesamt	354.891,31	0,000E+00	0,00000	8.983,527	8.983,5274	35.185.706,2	0,0
				Herstellung	46.764,71	0,000E+00	0,00000	3.946,035	3.946,0354	13.097.395,2	0,0
				Erhaltung	308.126,59	0,000E+00	0,00000	5.037,492	5.037,4920	22.088.310,9	0,0

LCA Bewertung

BIM Eco Variante LCA 2 - Daten Quelle IBO - Produktionshalle

D02 Dach flach

Neubau

Elementdach

	d	Nutzung	Rho	CO2	R11 eq.	C2H4	SO2 eq.	PO4	MJ fossil	MJ
	m	a	kg/m3	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg	je kg
1	0,0050	25	1,200	2,59	0,000E+00	0,000	2,594	0,0107	89,2	0,0
2	0,0150	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	-1,150	0,0022	12,5	0,0
3	0,0150	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	-1,150	0,0022	12,5	0,0
4	0,2600	50	475	-1,44	0,000E+00	0,000	-1,441	0,0004	1,3	0,0
87,5%	0,2600	50	100	1,93	0,000E+00	0,000	1,935	0,0141	23,1	0,0
5	0,0000	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	-1,150	0,0022	12,5	0,0
87,5%	0,0000	25	650	2,63	0,000E+00	0,000	2,634	0,0103	90,0	0,0
6	0,0150	50	650	-1,15	0,000E+00	0,000	-1,150	0,0022	12,5	0,0
7	0,0150	50	780	0,08	0,000E+00	0,000	0,080	0,0007	4,6	0,0
8	0,0150	50	780	0,08	0,000E+00	0,000	0,080	0,0007	4,6	0,0

9.972,48 m2

	GWP100	ODP	POCP	AP	EP	PEne	Pages
Gesamt	6.545,93	0,000E+00	0,00000	165,700	165,7002	648.996,5	0,0
Herstellung	862,57	0,000E+00	0,00000	72,784	72,7842	241.580,0	0,0
Erhaltung	5.683,36	0,000E+00	0,00000	92,916	92,9160	407.416,5	0,0

ERGEBNISGEGENÜBERSTELLUNG LCA 2 / LCA 1

PEI ne	LCA 2, Excel, Baubook 2018		LCA 1, ArchiCAD, Baubook 2018	
	Einheit	Gesamt	Einheit	Gesamt
A1	3.461,54	9.311.466,48	3.455,48 -0,17%	9.346.604,50 0,38%
A2	2.784,97	6.722.887,47	2.775,56 -0,34%	6.696.987,60 -0,39%
B1	2.044,09	20.384.626,70	2.053,14 0,44%	20.384.626,60 0,00%
D1	1.404,69	11.793.538,04	1.405,06 0,03%	11.794.112,10 0,005%
D2	1.404,69	217.530,55	1.405,06 0,03%	217.541,10 0,005%

GWP	Excel		ArchiCAD	
	Einheit	Gesamt	Einheit	Gesamt
A1	268,05	721.046,97	267,54 -0,19%	719.112,35 -0,27%
A2	156,53	377.865,00	155,80 -0,47%	376.172,06 -0,45%
B1	171,79	1.713.132,45	172,21 0,25%	1.711.209,75 -0,11%
D1	4,79	40.222,17	4,78 -0,20%	40.299,93 0,19%
D2	4,79	741,89	4,78 -0,20%	743,32 0,19%

AP	Excel		ArchiCAD	
	Einheit	Gesamt	Einheit	Gesamt
A1	1,08	2.893,63	1,08 -0,07%	2.878,28 -0,53%
A2	1,07	2.576,90	1,07 -0,14%	2.558,83 -0,70%
B1	0,49	4.902,77	0,49 0,08%	4.901,15 -0,03%
D1	0,50	4.163,07	0,496 -0,01%	4.197,91 0,84%
D2	0,50	76,79	0,496	77,43

ERGEBNISGEGENÜBERSTELLUNG LCA 2 / LCA 3

PEI ne	LCA 2, Excel, Baubook 2018		LCA 3, ArchiCAD, IBO 2013/08	
	Einheit	Gesamt	Einheit	Gesamt
A1	3.461,54	9.311.466,48	3.386,05 -2,18%	9.108.487,40 -2,18%
A2	2.784,97	6.722.887,47	3.001,96 7,79%	7.246.725,50 7,79%
B1	2.044,09	20.384.626,70	1.661,10 -18,74%	16.565.246,60 -18,74%
D1	1.404,69	11.793.538,04	1.559,99 11,06%	13.097.395,20 11,056%
D2	1.404,69	217.530,55	1.559,99 11,06%	241.580,00 11,056%

GWP	Excel		ArchiCAD	
	Einheit	Gesamt	Einheit	Gesamt
A1	268,05	721.046,97	244,28 -8,87%	657.135,21 -8,86%
A2	156,53	377.865,00	159,17 1,69%	384.234,78 1,69%
B1	171,79	1.713.132,45	147,12 -14,36%	1.467.115,35 -14,36%
D1	4,79	40.222,17	5,57 16,27%	46.764,71 16,27%
D2	4,79	741,89	5,57 16,27%	862,57 16,27%

AP	Excel		ArchiCAD	
	Einheit	Gesamt	Einheit	Gesamt
A1	1,08	2.893,63	1,06 -1,46%	2.851,38 -1,46%
A2	1,07	2.576,90	1,05 -1,64%	2.534,96 -1,63%
B1	0,49	4.902,77	0,41 -16,60%	4.087,52 -16,63%
D1	0,50	4.163,07	0,470 -5,21%	3.946,04 -5,21%
D2	0,50	76,79	0,470	72,78

Ökologische Bewertung

BIM-Eco Variante OPTI 1 - Alle Gebäudeteile/Zonen

angewendetes Berechnungsverfahren	OI3 Leitfaden 3.1	
betrachtete Bilanzgrenze	BG0	
Lebensdauer von Schichten berücksichtigen	nein	
Konditionierte Grundfläche	BGF	10.018,88 m ²
Konditioniertes Volumen	V	112.712,40 m ³
Charakteristische Länge	lc	4,38 m
Konstruktionsoberfläche	KOF	23.627,13 m ²
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	PEI ne	32.182.148 MJ
Globales Erwärmungspotenzial	GWP100	1.818,58 t CO2 equ.
Versäuerungspotenzial	AP	9.858 kg SO2 equ.
Punkte		
OI PEI _{ne}		86 Pkt.
OI GWP100		63 Pkt.
OI AP		83 Pkt.
OI3 _{BG0}		77,5 Pkt.
OI3 _{BG0, lc}		36,5 Pkt.
OI3_{BG0, BGF}		182,8 Pkt.

Bauteilliste

Übersicht aller Bauteile in dieser Berechnung sortiert nach Bauteilnummer.

	A	KON	OI3	ΔOI3	
	m ²	-	BG0, BGF	Pkt/m ²	
A01	Außenwand massiv hinterlüftet	2.689,98	54,5	14,6	91
A02	Außenwand leicht hinterlüftet	2.413,99	10,6	2,5	48
B01	Boden	9.972,48	124,0	123,4	160
D01	Dach geneigt	8.395,82	49,5	41,5	87
D02	Dach flach	154,86	49,5	0,8	87
		23.627,13		182,8	

Ökologische Bewertung

BIM-Eco Variante OPTI 1 - Alle Gebäudeteile/Zonen

angewendetes Berechnungsverfahren	OI3 Leitfaden 3.1	
betrachtete Bilanzgrenze	BG3	
Lebensdauer von Schichten berücksichtigen	ja	
Betrachtungszeitraum	50 Jahre	
Bezugsfläche	BZF	10.018,88 m ²
Konditionierte Grundfläche	BZF	10.018,88 m ²
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	PEI ne	53.229.975 MJ
Globales Erwärmungspotenzial	GWP100	3.006,89 t CO ₂ equ.
Versäuerungspotential	AP	15.215 kg SO ₂ equ.

OI3 BG3, BZF

429,6 Pkt.

Bauteilliste

Übersicht aller Bauteile in dieser Berechnung sortiert nach Bauteilnummer.

		A m ²	OI3 BG3, BZF	ΔOI3 Pkt/m ²
A01	Außenwand massiv hinterlüftet	2.689,98	81,3	303
A02	Außenwand leicht hinterlüftet	2.413,99	63,1	263
B01	Boden	9.972,48	164,3	165
D01	Dach geneigt	8.395,82	118,7	143
D02	Dach flach	154,86	2,2	143
		23.627,13	429,6	

Ökologische Bewertung

BIM-Eco Variante OPTI 1 - Alle Gebäudeteile/Zonen

angewendetes Berechnungsverfahren	OI3 Leitfaden 3.1	
betrachtete Bilanzgrenze	BG3	
Lebensdauer von Schichten berücksichtigen	ja	
Betrachtungszeitraum	100 Jahre	
Bezugsfläche	BZF	10.018,88 m ²
Konditionierte Grundfläche	BZF	10.018,88 m ²
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	PEI ne	92.418.974 MJ
Globales Erwärmungspotenzial	GWP100	5.452,82 t CO ₂ equ.
Versäuerungspotenzial	AP	26.796 kg SO ₂ equ.

OI3 BG3, BZF

754,8 Pkt.

Bauteilliste

Übersicht aller Bauteile in dieser Berechnung sortiert nach Bauteilnummer.

		A m ²	OI3 BG3, BZF	ΔOI3 Pkt/m ²
A01	Außenwand massiv hinterlüftet	2.689,98	144,6	539
A02	Außenwand leicht hinterlüftet	2.413,99	128,4	533
B01	Boden	9.972,48	228,7	230
D01	Dach geneigt	8.395,82	248,4	298
D02	Dach flach	154,86	4,6	298
		23.627,13	754,8	

ANHANG 4

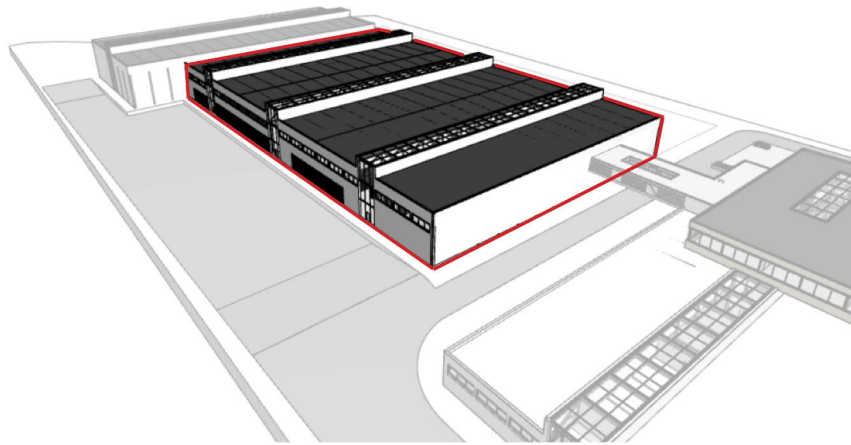
Optimierung Gebäudeperformance

Anhang 4-1

OPTI 1: Aufbauten, Energieausweis, OI3 Bewertung

Anhang 4-2

OPTI 2: Aufbauten, Energieausweis, OI3 Bewertung



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

BIM-Eco Variante OPTI 1

Floraniweg 16
A 6176, Völs

VerfasserIn

BSc Leonard Donkor
TU Wien Masterstudium Architektur 066443
Belvederegasse 29/17
1040 Wien-Wieden

T
F
M +43 650 5233449
E e1025696@student.tuwien.ac.at

Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt

Objekt
BIM-Eco Variante OPTI 1
 Auftraggeber/Bauherr
Kovacic
Industriebau und interdisziplinäre
 Geschäftszahl

Bauteilbezeichnung
Boden
Boden gg. Erdreich
 Bauteiltyp
Erdanliegende Bodenplatte bis 1,5 n
 Bauteil Nr.
B01

Bauteilbezeichnung
Boden
Boden gg. Erdreich
 Bauteiltyp
Erdanliegende Bodenplatte bis 1,5 n
 Bauteil Nr.
B01

VerfasserIn der Unterlagen

GRUNDWERTE		WÄRMESCHUTZ		WASSERDAMPFDIFFUSION				Kondensations-ebene			
d	ρ	m'	c	λ	R = d/λ	t	t _p	s	d	p th	
m	kg/m ³	kg/m ²	kJ/kg K	W/m K	m ² /KW	°C	°C	-	m	Pa	
berücksichtigen				α _e	1/α _e	t _e	°C			φ _e 100 %	
<input type="checkbox"/>	0,3000	1.800,0	540,00	1,000	0,700	0,429	4,63	0	0,00	849	849
<input type="checkbox"/>	0,1000	2.000,0	200,00	1,000	1,350	0,074	4,63	0	0,00	849	849
<input type="checkbox"/>	0,0000	1.050,0	0,00	0,000	0,230	0,000	4,63	0	0,00	849	849
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	30,0	6,00	1,500	0,036	5,556	19,14	150	30,00	1,437	1,437
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0010	1.200,0	1,20	0,000	0,900	0,001	19,14	0	0,00	1,437	1,437
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0000	650,0	0,00	1,260	0,500	0,000	19,14	100	0,00	1,437	1,437
<input checked="" type="checkbox"/>	0,3000	2.400,0	720,00	1,000	2,500	0,120	19,45	0	0,00	1,437	1,437
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0600	2.100,0	126,00	1,000	1,600	0,038	19,55	15	0,90	1,455	1,455
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0050	0,0	0,00	0,000	0,000	0,000	19,55	0	0,00		
Σ d	0,966	Σ m'	1.593,2	α _i	5,882	0,170	20,0	Σ R	30,90	φ _i	62 %
Wärmedurchgangskoeffizient U		0,17		W/m ² K							

SCHICHTFOLGE

U	1	Schüttungen aus Sand, Kies, St	1	U
2	Magerbeton / Schütt- und Stampf	2		
3	Bitumenanstrich	3		
4	AUSTROTHERM XPS TOP 30	4		
5	codex AX 10 Flüssigabdichtung	5		
6	BACHL PE-Dampfbremssolie Kle	6		
7	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierung	7		
8	RÖFIX 970 Zementestrich	8		
9	Epoxidharz-Beschichtung	9		

SCHALLSCHUTZ:

Bew. Schalldämm-Maß	R _w	24 Stunden innen	225,2	24 Stunden außen	125,7
Bew. Standard-Trittschallpegel	L' nT,w	wirksame Wärmespeicherkapazität	235,80	Amplitudendämpfung	7.699,3
		Phasenverschiebung	23,6		

KONDENSATION:
 Kondensat Verdunstung
 Menge: 0,0000 0,0000 kg/m²a
 Dauer: 0,0 0,0
 Der Bauteil Boden ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.

WÄRMESPEICHERUNG:
 Periode
 speicherwirksame Masse m_{w.B.A}
 235,80 131,66 J/Km²
 Amplitudendämpfung
 7.699,3
 Phasenverschiebung
 23,6 h

Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt

Objekt
BIM-Eco Variante OPTI 1
 Auftraggeber/Bauherr
Kovacic
Industriebau und interdisziplinäre
 Geschäftszahl

Baufteilbezeichnung
Dach geneigt •
Elementdach
 Bauteiltyp
Außendecke
 Bauteil Nr.
D01

Baufteilbezeichnung
Dach geneigt •
Elementdach
 Bauteiltyp
Außendecke
 Bauteil Nr.
D01

VerfasserIn der Unterlagen

GRUNDWERTE		WÄRMESCHUTZ		WASSERDAMPFDIFFUSION							
d	ρ	m'	c	λ	R = d/λ	t	t _p	μ	s	d	p th
m	kg/m ³	kg/m ²	kJ/kg K	W/m K	m ² /KW	°C	°C	-	m	m	Pa
berücksichtigen											
<input type="checkbox"/>	0,0050	1.200,0	6,00	0,000	1/α _e	t _e	-2,73	486	0,00	0,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,040	12,00	-2,42	499	0,00	0,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,115	-11,53	-1,52	537	0,00	0,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,115	-10,21	-0,63	579	0,00	0,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2600	475,0	123,50	1,600	2,167	-8,88	16,22	1.843	0,00	0,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,115	16,13	17,12	1.951	0,00	0,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	780,0	11,70	1,000	0,060	17,46	17,58	2.010	10	0,15	922
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	780,0	11,70	1,000	0,060	18,15	18,05	2.069	10	0,15	
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	780,0	11,70	1,000	0,060	18,84	18,05	2.069	10	0,15	
Σ d											
0,340					1/α _i	t _o	18,0	2.069	Σ R		1.455
		Σ m'			α _i	t _i	20,0	2.336			62 %
		182,1			10,000	20,0					
Wärmedurchgangskoeffizient U 0,36 W/m ² K											

SCHALLSCHUTZ:		KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:	
Bew. Schalldämm-Maß	R _w	Menge:	Kondensat	speicherwirksame Masse	24 Stunden
Bew. Standard-Trittschallpegel	L' _{nt,w}	Dauer:	Verdunstung	wirksame Wärmespeicherkapazität	innen außen
45 dB		0,0000	0,0000	kg/m ² a	37,8 40,8
		0,0	0,0	-	39,58 42,73
		Der Bauteil Dach geneigt • ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.		Amplitudendämpfung	14,2
				Phasenverschiebung	5,6

SCHALLSCHUTZ:		KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:	
Bew. Schalldämm-Maß	R _w	Menge:	Kondensat	speicherwirksame Masse	24 Stunden
Bew. Standard-Trittschallpegel	L' _{nt,w}	Dauer:	Verdunstung	wirksame Wärmespeicherkapazität	innen außen
45 dB		0,0000	0,0000	kg/m ² a	37,8 40,8
		0,0	0,0	-	39,58 42,73
		Der Bauteil Dach geneigt • ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.		Amplitudendämpfung	14,2
				Phasenverschiebung	5,6

SCHALLSCHUTZ:		KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:	
Bew. Schalldämm-Maß	R _w	Menge:	Kondensat	speicherwirksame Masse	24 Stunden
Bew. Standard-Trittschallpegel	L' _{nt,w}	Dauer:	Verdunstung	wirksame Wärmespeicherkapazität	innen außen
45 dB		0,0000	0,0000	kg/m ² a	37,8 40,8
		0,0	0,0	-	39,58 42,73
		Der Bauteil Dach geneigt • ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.		Amplitudendämpfung	14,2
				Phasenverschiebung	5,6

SCHALLSCHUTZ:		KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:	
Bew. Schalldämm-Maß	R _w	Menge:	Kondensat	speicherwirksame Masse	24 Stunden
Bew. Standard-Trittschallpegel	L' _{nt,w}	Dauer:	Verdunstung	wirksame Wärmespeicherkapazität	innen außen
45 dB		0,0000	0,0000	kg/m ² a	37,8 40,8
		0,0	0,0	-	39,58 42,73
		Der Bauteil Dach geneigt • ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.		Amplitudendämpfung	14,2
				Phasenverschiebung	5,6

Objekt
BIM-Eco Variante OPTI 1
 Auftraggeber/Bauherr
Kovacic
Industriebau und interdisziplinäre
 Geschäftszahl

Baufteilbezeichnung
Dach flach •
Elementdach
 Bauteiltyp
Außendecke
 Bauteil Nr.
D02

Bauteiltypkürzel
AD

VerfasserIn der Unterlagen

GRUNDWERTE			WÄRMESCHUTZ			WASSERDAMPFDIFFUSION				
d	ρ	c	λ	R = d/λ	t	t _p	μ	s _d	p th	
m	kg/m ³	kg/m ²	W/m K	m ² /KW	°C	°C	-	m	Pa	
berücksichtigen										
<input type="checkbox"/>	0,0050	1.200,0	6,00	0,000	α _e	t _e	1/α _e	0,029	486	φ _e 80 %
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	25,000	12,00	0,040	0,00	499	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,130	-11,53	0,115	0,00	499	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,130	-10,21	0,115	0,00	537	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2600	475,0	123,50	1,600	0,130	-8,88	0,115	0,00	579	389
	0,0150	650,0	9,75	1,700	0,120	16,13	2,167	0,00	1.843	389
	0,0150	780,0	11,70	1,000	0,130	17,46	0,115	0,00	1.951	389
	0,0150	780,0	11,70	1,000	0,250	18,15	0,060	10	2.010	922
	0,0150	780,0	11,70	1,000	0,250	18,84	0,060	10	2.069	922
Σ d										
0,340	Σ m ³	182,1	α _i	1/α _i	t _o	18,8	10,000	Σ R	2.069	1.455
Wärmedurchgangskoeffizient U										
0,36 W/m ² K										

SCHALLSCHUTZ:		KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:	
Bew. Schalldämm-Maß	R _w	Kondensat	Verdunstung	Periode	24 Stunden
L' nT,w	dB	Menge:	kg/m ² a	speicherwirksame Masse	innen
45	45 dB	0,0000	0,0000	m w.B.A	37,8
	dB	Dauer:	0,0	wirksame Wärmespeicherkapazität	40,8
		Der Bauteil Dach flach • ist geeignet: Es tritt keine Kondensation auf.		Amplitudendämpfung	14,2
				Phasenverschiebung	5,6
				h	

Baufteilbezeichnung
Außenwand massiv hinterlüftet • Außenwand bis 9,00m Höhe
 Bauteiltyp
Außenwand hinterlüftet
 Bauteil Nr.:
A01

Objekt
BIM-Eco Variante OPTI 1
 Auftraggeber/Bauherr
Kovacic
Industriebau und interdisziplinäre
 Geschäftszahl

VerfasserIn der Unterlagen

GRUNDWERTE		WÄRMESCHUTZ		WASSERDAMPFDIFFUSION							
d	ρ	m'	c	λ	R = d/λ	t	t _p	μ	s	d	p th
m	kg/m ³	kg/m ²	kJ/kg K	W/m K	m ² /KW	°C	°C	-	m	m	Pa
berücksichtigen											
<input type="checkbox"/>	0,0100	2.800,0	28,00	0,880	0,000	0,00	-2,73	486	0,00	0,00	φ ^e 80 %
<input type="checkbox"/>	0,0600	2.800,0	168,00	0,880	0,000	0,46	-2,57	492	0,46	0,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	20,0	4,00	1,450	5,263	19,25	18,66	2.151	70	14,00	1.455
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	2.400,0	480,00	1,000	0,080	19,53	18,99	2.194	0	0,00	389
Σ d											
0,470	Σ m'	680,0	α _i	1/α _i	t _e	19,5	18,9	2.194	Σ R	14,00	1.455
Wärmedurchgangskoeffizient U 0,18 W/m ² K											

- SCHICHTFOLGE**
- A 1 Aluminiumblech
 - 2.0 Aluminiumblech
 - 3 AUSTROTHERM EPS W20
 - 4 Stahlbeton 160 kg/m³ Armierung

SCHALLSCHUTZ: Wärmehdurehgangskoeffizient U **0,18** W/m²K

KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:	
Menge:	Verdunstung	Periode	24 Stunden
dB	kg/m ² a	speicherwirksame Masse	innen außen
0,0000	0,0000	m _{w.B.A}	313,6 4,2
0,0	0,0	wirksame Wärmespeicherkapazität	328,29 4,46
Der Bauteil Außenwand massiv hinterlüftet • ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.			
Amplitudendämpfung	145,3	Phasenverschiebung	12,0
h			

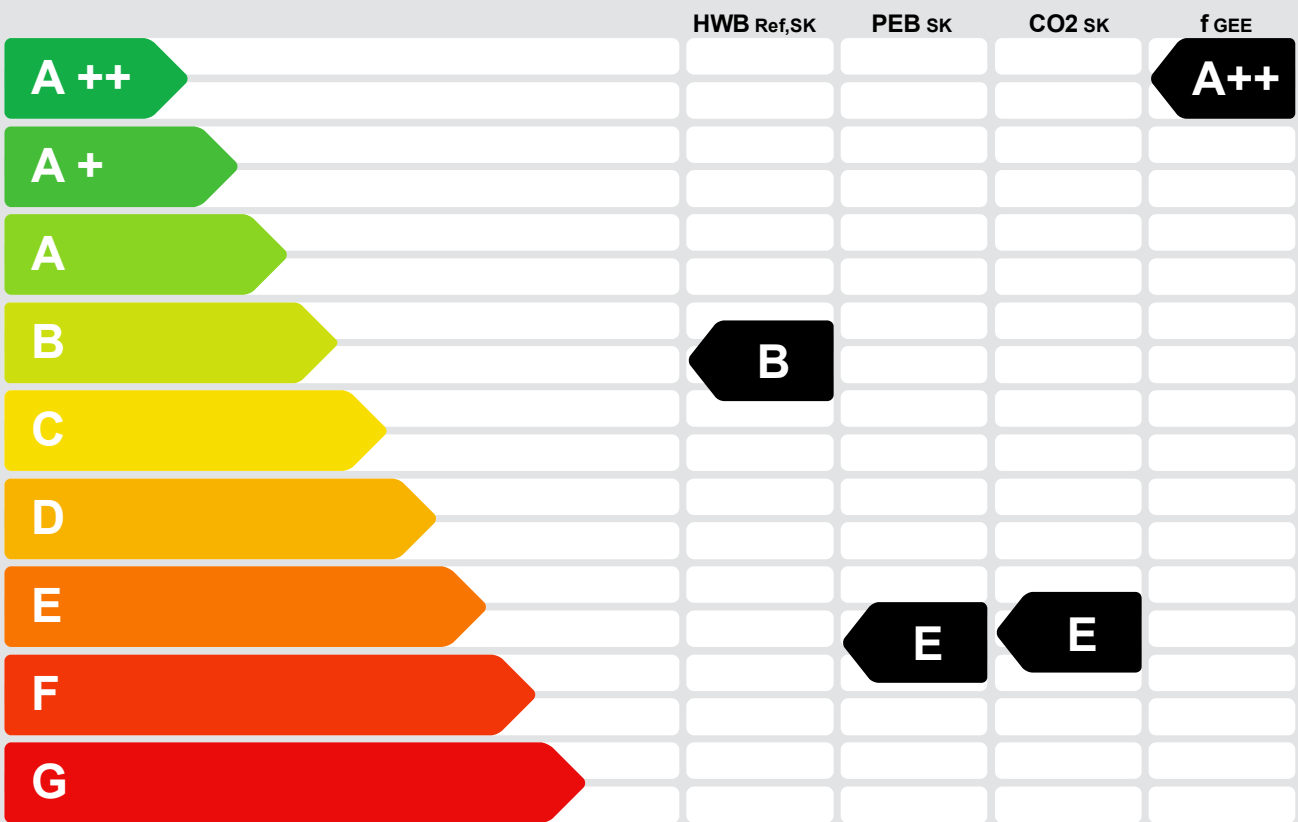
Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt

Bauteilbezeichnung Außenwand leicht hinterlüftet •• Außenwand ab 9,00m Höhe Bauteiltyp Außenwand hinterlüftet Bauteil Nr.: A02		Objekt BIM-Eco Variante OPTI 1 Auftraggeber/Bauherr Kovacic Industriebau und interdisziplinäre Geschäftszahl		VerfasserIn der Unterlagen	
Grundwerte d m ρ kg/m³ m' m² c kJ/kg K W/m K λ W/m K R = d/λ m²KW 1/α _e		Wärmeschutz t _e °C t °C t _p °C P _s Pa μ - s d m p th Pa φ _e 80 %		Wasserdampfdiffusion Kondensations-ebene 1 A 2.0 3 4.0 5 6	
Schichtfolge A 1 Aluminiumblech 2.0 Aluminiumblech 3 OSB-Platten (650 kg/m³) 4.0 Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/ 5 Dampfbremse Polyethylen (PE) 6 Nutzholz (525 kg/m³ - zB Lärche)		Berücksichtigen <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis	
Schallschutz Σ d 0,275 Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis		Schallschutz Σ m' 297,7 Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis		Schallschutz Σ R 0,00 Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis	
Schallschutz Bew. Schalldämm-Maß R _w Bew. Standard-Trittschallpegel L' _{nt,w}		Kondensation Kondensat Verdunstung Menge: 0,0000 0,0000 kg/m²a Dauer: 0,0 0,0 Der Bauteil Außenwand leicht hinterlüftet •• ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.		Wärmespeicherung Periode Speicherwirksame Masse m _{w.B.A} wirksame Wärmespeicherkapazität Amplitudendämpfung Phasenverschiebung	
Schallschutz 24 Stunden innen ausßen 38,9 42,3 kg/m² 40,72 44,29 J/Km² 11,5 11,0 h		Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis		Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis Wärmehinweis	

Energieausweis für Nicht-Wohngebäude

BEZEICHNUNG	BIM-Eco Variante OPTI 1		
Gebäude(-teil)	Produktionshalle	Baujahr	2018
Nutzungsprofil	Sportstätten	Letzte Veränderung	
Straße	Florianiweg 16	Katastralgemeinde	Völs
PLZ/Ort	6176 Völs	KG-Nr.	81135
Grundstücksnr.	1531	Seehöhe	585 m

SPEZIFISCHER STANDORT-REFERENZ-HEIZWÄRMEBEDARF, STANDORT-PRIMÄRENERGIEBEDARF, STANDORT-KOHLENDIOXIDEMISSIONEN UND GESAMTENERGIEEFFIZIENZ-FAKTOR



HWB_{ref}: Der **Referenz-Heizwärmebedarf** ist jene Wärmemenge, die in den Räumen bereitgestellt werden muss, um diese auf einer normativ geforderten Raumtemperatur, ohne Berücksichtigung allfälliger Erträge aus Wärmerückgewinnung, zu halten.

WWWB: Der **Warmwasserwärmebedarf** ist in Abhängigkeit der Gebäudekategorie als flächenbezogener Defaultwert festgelegt.

HEB: Beim **Heizenergiebedarf** werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasserwärmebedarf die Verluste des gebäudetechnischen Systems berücksichtigt, dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie.

KB: Der **Kühlbedarf** ist jene Wärmemenge, welche aus den Räumen abgeführt werden muss, um unter der Solltemperatur zu bleiben. Er errechnet sich aus den nicht nutzbaren inneren und solaren Gewinnen.

BefEB: Beim **Befeuchtungsenergiebedarf** wird der allfällige Energiebedarf zur Befeuchtung dargestellt.

KEB: Beim **Kühlenergiebedarf** werden zusätzlich zum Kühlbedarf die Verluste des Kühlsystems und der Kältebereitstellung berücksichtigt.

BelEB: Der **Beleuchtungsenergiebedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt und entspricht dem Energiebedarf zur nutzungsgerechten Beleuchtung.

BSB: Der **Betriebsstrombedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt und entspricht der Hälfte der mittleren inneren Lasten.

EEB: Der **Endenergiebedarf** umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf).

fGEE: Der **Gesamtenergieeffizienz-Faktor** ist der Quotient aus dem Endenergiebedarf und einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

PEB: Der **Primärenergiebedarf** ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB_{em}) und einen nicht erneuerbaren (PEB_{n,em}) Anteil auf.

CO₂: Gesamte den Endenergiebedarf zuzurechnende **Kohlendioxidemissionen**, einschließlich jener für Vorketten.

Alle Werte gelten unter der Annahme eines normierten BenutzerInnenverhaltens. Sie geben den Jahresbedarf pro Quadratmeter beheizter Brutto-Grundfläche an.

Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG). Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren für Primärenergie und Kohlendioxidemissionen ist 2004 - 2008 (Strom: 2009 - 2013), und es wurden übliche Allokationsregeln unterstellt.

GEBÄUDEKENNDATEN

Brutto-Grundfläche	10.018,88 m ²	charakteristische Länge	4,38 m	mittlerer U-Wert	0,223 W/m ² K
Bezugsfläche	8.015,10 m ²	Klimaregion	NF	LEK _T -Wert	10,50
Brutto-Volumen	112.712,40 m ³	Heiztage	240 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Gebäude-Hüllfläche	25.705,39 m ²	Heizgradtage	4044 Kd	Bauweise	mittelschwere
Kompaktheit (A/V)	0,23 1/m	Norm-Außentemperatur	-12,0 °C	Soll-Innentemperatur	20 °C

ANFORDERUNGEN (Referenzklima) Produktionshalle

Referenz-Heizwärmebedarf	erfüllt	88,42 kWh/m ² a	≥ HWB _{Ref,RK}	37,37 kWh/m ² a
Außeninduzierter Kühlbedarf	nicht erfüllt	1,00 kWh/m ² a	> KB* _{RK}	1,66 kWh/m ² a
End-/Lieferenergiebedarf	erfüllt (alternativ zu f _{GEE})	442,45 kWh/m ² a	≥ E/LEB _{RK}	187,78 kWh/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	ohne Anforderungen		f _{GEE}	0,377
Erneuerbarer Anteil	erfüllt			

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	438.174 kWh/a	HWB _{Ref,SK}	43,73 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	1.023.923 kWh/a	HWB _{SK}	102,20 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	255.982 kWh/a	WWWB	25,55 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	1.394.307 kWh/a	HEB _{SK}	139,17 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H}	1,08
Kühlbedarf	118.496 kWh/a	KB _{SK}	11,83 kWh/m ² a
Kühlenergiebedarf	0 kWh/a	KEB _{SK}	0,00 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Kühlen		e _{AWZ,K}	0,00
Befeuchtungsenergiebedarf	0 kWh/a	BefEB _{SK}	0,00 kWh/m ² a
Beleuchtungsenergiebedarf	379.716 kWh/a	BelEB	37,90 kWh/m ² a
Betriebsstrombedarf	329.120 kWh/a	BSB	32,85 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	2.048.259 kWh/a	EEB _{SK}	204,44 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	3.381.598 kWh/a	PEB _{SK}	337,52 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	2.785.341 kWh/a	PEB _{n.ern.,SK}	278,01 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	596.257 kWh/a	PEB _{ern.,SK}	59,51 kWh/m ² a
Kohlendioxidemissionen (optional)	585.729 kg/a	CO ₂ _{SK}	58,46 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE}	0,380
Photovoltaik-Export	0 kWh/a	PV _{Export,SK}	0,00 kWh/m ² a

ERSTELLT

GWR-Zahl		BSc Leonard Donkor
Ausstellungsdatum	31.08.2018	Unterschrift
Gültigkeitsdatum	30.08.2028	

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von der hier angegebenen abweichen.

Ökologische Bewertung

BIM-Eco Variante OPTI 1 - Alle Gebäudeteile/Zonen

angewendetes Berechnungsverfahren	OI3 Leitfaden 3.1	
betrachtete Bilanzgrenze	BG3	
Lebensdauer von Schichten berücksichtigen	ja	
Betrachtungszeitraum	100 Jahre	
Bezugsfläche	BZF	10.018,88 m ²
Konditionierte Grundfläche	BZF	10.018,88 m ²
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	PEI ne	92.418.974 MJ
Globales Erwärmungspotenzial	GWP100	5.452,82 t CO ₂ equ.
Versäuerungspotential	AP	26.796 kg SO ₂ equ.

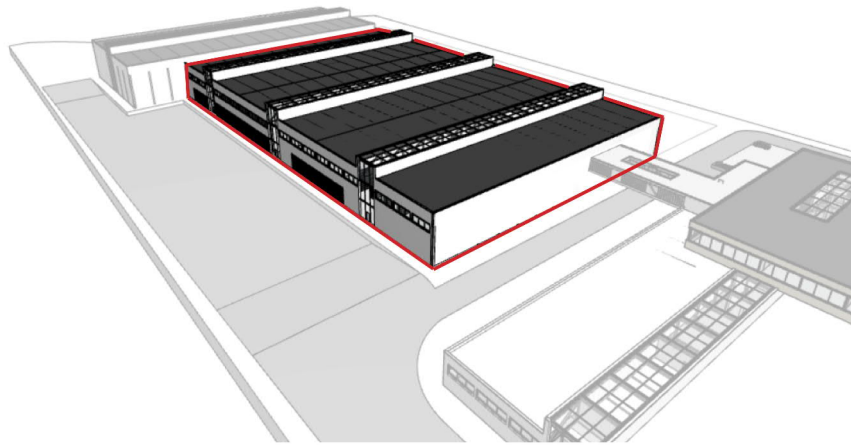
OI3 BG3, BZF

754,8 Pkt.

Bauteilliste

Übersicht aller Bauteile in dieser Berechnung sortiert nach Bauteilnummer.

		A m ²	OI3 BG3, BZF	ΔOI3 Pkt/m ²
A01	Außenwand massiv hinterlüftet	2.689,98	144,6	539
A02	Außenwand leicht hinterlüftet	2.413,99	128,4	533
B01	Boden	9.972,48	228,7	230
D01	Dach geneigt	8.395,82	248,4	298
D02	Dach flach	154,86	4,6	298
		23.627,13	754,8	



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

BIM-Eco Variante OPTI 2

Floraniweg 16
A 6176, Völs

VerfasserIn

BSc Leonard Donkor
TU Wien Masterstudium Architektur 066443
Belvederegasse 29/17
1040 Wien-Wieden

T
F
M +43 650 5233449
E e1025696@student.tuwien.ac.at

Objekt
BIM-Eco Variante OPTI 2
 Auftraggeber/Bauherr
Kovacic
Industriebau und interdisziplinäre
 Geschäftszahl

Baufteilbezeichnung
Boden
Boden gg. Erdreich
 Bauteiltyp
Erdanliegende Bodenplatte bis 1,5 n
 Bauteil Nr.
B01
 Bauteilkürzel
EBu

VerfasserIn der Unterlagen

GRUNDWERTE		WÄRMESCHUTZ		WASSERDAMPFDIFFUSION							
d	ρ	m'	c	λ	R = d/λ	t	t _p	μ	s	d	p th
m	kg/m ³	kg/m ²	kJ/kg K	W/m K	m ² /KW	°C	°C	-	m	m	Pa
berücksichtigen											
				α _e	1/α _e	t _e					φ _e 100 %
<input type="checkbox"/>	0,3000	1.800,0	540,00	1,000	0,700	0,429	4,63	849	0	0,00	849
<input type="checkbox"/>	0,1000	2.000,0	200,00	1,000	1,350	0,074	4,63	855	0	0,00	849
<input type="checkbox"/>	0,0000	1.050,0	0,00	0,000	0,230	0,000	4,63	855	0	0,00	849
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	30,0	6,00	1,500	0,036	5,556	19,14	2.189	150	30,00	1.437
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0010	1.200,0	1,20	0,000	0,900	0,001	19,14	2.190	0	0,00	1.437
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0000	650,0	0,00	1,260	0,500	0,000	19,14	2.190	100	0,00	1.437
<input checked="" type="checkbox"/>	0,3000	2.400,0	720,00	1,000	2,500	0,120	19,45	2.232	0	0,00	1.437
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0600	2.100,0	126,00	1,000	1,600	0,038	19,55	2.245	15	0,90	1.455
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0050	0,0	0,00	0,000	0,000	0,000	19,55	2.245	0	0,00	
	Σ d	Σ m'	Σ m	α _i	1/α _i	t _o	19,5	Σ R	Σ R	Σ R	1.455
	0,966	1.593,2	5,882	0,170	5,882	t _i	20,0	30,90	30,90	62 %	
Wärmedurchgangskoeffizient U 0,17 W/m²K											

SCHALLSCHUTZ:		KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:		
Bew. Schalldämm-Maß	R _w	Kondensat	Verdunstung	Periode	24 Stunden	
Bew. Standard-Trittschallpegel	L' _{nt,w}	Menge:	kg/m ² a	speicherwirksame Masse	innen	
		0,0000	0,0000		ausen	
		Dauer:	0,0	wirksame Wärmespeicherkapazität	225,2	125,7
		Der Bauteil Boden ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.		Amplitudendämpfung		
				Phasenverschiebung	235,80	131,66
					7.699,3	-
					23,6	h

Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt

Objekt
BIM-Eco Variante OPTI 2
 Auftraggeber/Bauherr
Kovacic
Industriebau und interdisziplinäre
 Geschäftszahl

Bauteilbezeichnung
Warmdach-steil
 konventionell bekliest
 Bauteiltyp
Außendecke
 Bauteil Nr. Bauteiltypkürzel
D01 AD

VerfasserIn der Unterlagen

GRUNDWERTE		WÄRMESCHUTZ		WASSERDAMPFDIFFUSION							
d	ρ	m'	c	λ	R = d/λ	t	t _p	μ	s	d	p th
m	kg/m ³	kg/m ²	kJ/kg K	W/m K	m ² /KW	°C	°C	-	m	m	Pa
berücksichtigen											
<input type="checkbox"/>	0,0600	1.800,0	108,00	1,000	0,086	11,86	-2,63	490	0,00	0,00	389
<input type="checkbox"/>	0,0002	1.050,0	0,21	0,000	0,001	-11,86	-2,63	490	168.500	33,70	389
<input type="checkbox"/>	0,0002	1.050,0	0,21	0,000	0,001	-11,86	-2,63	490	168.500	33,70	389
<input type="checkbox"/>	0,0050	1.000,0	5,00	1,700	0,029	-11,86	-2,63	490	36.000	180,00	389
<input type="checkbox"/>	0,0030	1.000,0	3,00	1,700	0,018	-11,86	-2,63	490	36.000	108,00	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0600	32,0	1,92	1,400	2,222	-4,46	2,53	732	30	1,80	390
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2500	30,0	7,50	1,400	7,143	19,32	19,17	2.220	70	17,50	401
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0040	1.100,0	4,40	1,700	0,024	19,40	19,23	2.228	400.000	1.600,00	1.455
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	2.400,0	480,00	1,000	0,080	19,66	19,41	2.254	0	0,00	
Σ d	0,582	Σ m'	610,2	α _i	10,000	t _e	19,6	Σ R	1,619,30	φ _i	62 %
Wärmedurchgangskoeffizient U 0,10 W/m ² K											

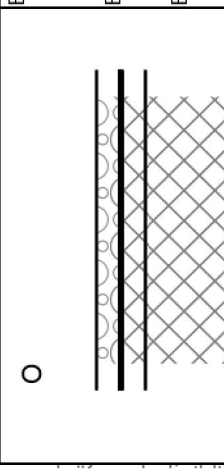
SCHALLSCHUTZ:		KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:		
Bew. Schalldämm-Maß	R _w	Kondensat	Verdunstung	Periode	24 Stunden	
L' nT,w	dB	Menge:	kg/m ² a	speicherwirksame Masse	innen außen	
64	64	0,0000	0,0000		312,9	101,2
		Dauer:	0,0	wirksame Wärmespeicherkapazität	327,54	106,01
		Der Bauteil Warmdach-steil ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.		Amplitudendämpfung	438,6	-
				Phasenverschiebung	11,8	h

Allgemeines bauphysikalisches Datenblatt

Objekt
BIM-Eco Variante OPTI 2
 Auftraggeber/Bauherr
Kovacic
Industriebau und interdisziplinäre
 Geschäftszahl

Bauteilbezeichnung
Warmdach-flach
konventionell bekliest
 Bauteiltyp
Außendecke
 Bauteil Nr. Bauteiltypkürzel
D02 AD

Bauteilbezeichnung
Warmdach-flach
konventionell bekliest
 Bauteiltyp
Außendecke
 Bauteil Nr. Bauteiltypkürzel
D02 AD



GRUNDWERTE		WÄRMESCHUTZ		WASSERDAMPFDIFFUSION				Kondensations-ebene			
d	ρ	m'	c	λ	R = d/λ	t	t _p	s	d	p th	
m	kg/m ³	kg/m ²	kJ/kg K	W/m K	m ² /KW	°C	°C	-	m	Pa	
berücksichtigen											
<input type="checkbox"/>	0,0600	1.800,0	108,00	1,000	0,086	t _e 12,00	-2,73	0	0,00	486	Φ ^e 80 %
<input type="checkbox"/>	0,0002	1.050,0	0,21	0,000	0,001	-11,86	-2,63	168.500	33,70	490	389
<input type="checkbox"/>	0,0002	1.050,0	0,21	0,000	0,001	-11,86	-2,63	168.500	33,70	490	389
<input type="checkbox"/>	0,0050	1.000,0	5,00	1,700	0,029	-11,86	-2,63	36.000	180,00	490	389
<input type="checkbox"/>	0,0030	1.000,0	3,00	1,700	0,018	-11,86	-2,63	36.000	108,00	490	389
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0600	32,0	1,92	1,400	2,222	-4,46	2,53	30	1,80	732	390
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2500	30,0	7,50	1,400	7,143	19,32	19,17	70	17,50	2.220	401
<input checked="" type="checkbox"/>	0,0040	1.100,0	4,40	1,700	0,024	19,40	19,23	400.000	1.600,00	2.228	1.455
<input checked="" type="checkbox"/>	0,2000	2.400,0	480,00	1,000	0,080	19,66	19,41	0	0,00	2.254	
Σ d	0,582	Σ m'	610,2	α _i	10,000	t _e 19,6	19,4	Σ R		2.254	1,455
Σ d	0,582	Σ m'	610,2	α _i	10,000	t _i 20,0	20,0	Σ R		2.336	Φ _i 62 %
Wärmedurchgangskoeffizient U 0,10 W/m ² K											

SCHALLSCHUTZ:

Bew. Schalldämm-Maß	R _w	64	dB
Bew. Standard-Trittschallpegel	L' nT,w	0,0	0,0

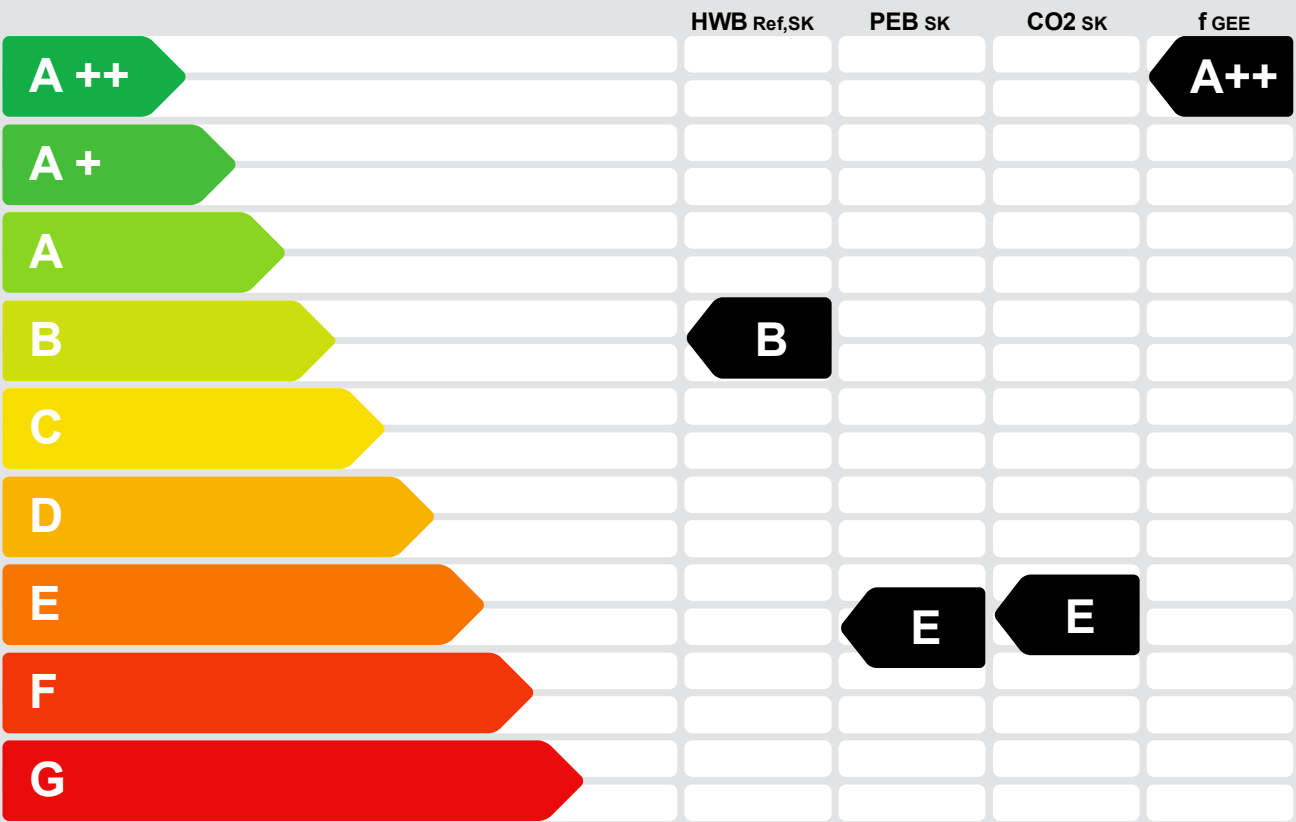
Der Bauteil Warmdach-flach ist geeignet: Es tritt keine Kondensation auf.

KONDENSATION:		WÄRMESPEICHERUNG:	
Menge:	Kondensat Verdunstung	Periode	24 Stunden innen außen
kg/m ² a	kg/m ² a	speicherwirksame Masse	m _{w.B.A}
0,0000	0,0000	327,54	106,01
0,0	0,0	Amplitudendämpfung	438,6
0,0	0,0	Phasenverschiebung	11,8

Energieausweis für Nicht-Wohngebäude

BEZEICHNUNG	BIM-Eco Variante OPTI 2		
Gebäude(-teil)	Produktionshalle	Baujahr	2018
Nutzungsprofil	Sportstätten	Letzte Veränderung	
Straße	Florianiweg 16	Katastralgemeinde	Völs
PLZ/Ort	6176 Völs	KG-Nr.	81135
Grundstücksnr.	1531	Seehöhe	585 m

SPEZIFISCHER STANDORT-REFERENZ-HEIZWÄRMEBEDARF, STANDORT-PRIMÄRENERGIEBEDARF, STANDORT-KOHLENDIOXIDEMISSIONEN UND GESAMTENERGIEEFFIZIENZ-FAKTOR



HWB_{ref}: Der **Referenz-Heizwärmebedarf** ist jene Wärmemenge, die in den Räumen bereitgestellt werden muss, um diese auf einer normativ geforderten Raumtemperatur, ohne Berücksichtigung allfälliger Erträge aus Wärmerückgewinnung, zu halten.

WWWB: Der **Warmwasserwärmebedarf** ist in Abhängigkeit der Gebäudekategorie als flächenbezogener Defaultwert festgelegt.

HEB: Beim **Heizenergiebedarf** werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasserwärmebedarf die Verluste des gebäudetechnischen Systems berücksichtigt, dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie.

KB: Der **Kühlbedarf** ist jene Wärmemenge, welche aus den Räumen abgeführt werden muss, um unter der Solltemperatur zu bleiben. Er errechnet sich aus den nicht nutzbaren inneren und solaren Gewinnen.

BefEB: Beim **Befeuchtungsenergiebedarf** wird der allfällige Energiebedarf zur Befeuchtung dargestellt.

KEB: Beim **Kühlenergiebedarf** werden zusätzlich zum Kühlbedarf die Verluste des Kühlsystems und der Kältebereitstellung berücksichtigt.

BelEB: Der **Beleuchtungsenergiebedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt und entspricht dem Energiebedarf zur nutzungsgerechten Beleuchtung.

BSB: Der **Betriebsstrombedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt und entspricht der Hälfte der mittleren inneren Lasten.

EEB: Der **Endenergiebedarf** umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf).

f_{GEE}: Der **Gesamtenergieeffizienz-Faktor** ist der Quotient aus dem Endenergiebedarf und einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

PEB: Der **Primärenergiebedarf** ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB_{em}) und einen nicht erneuerbaren (PEB_{n,em}) Anteil auf.

CO₂: Gesamte den Endenergiebedarf zuzurechnende **Kohlendioxidemissionen**, einschließlich jener für Vorketten.

Alle Werte gelten unter der Annahme eines normierten BenutzerInnenverhaltens. Sie geben den Jahresbedarf pro Quadratmeter beheizter Brutto-Grundfläche an.

Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG). Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren für Primärenergie und Kohlendioxidemissionen ist 2004 - 2008 (Strom: 2009 - 2013), und es wurden übliche Allokationsregeln unterstellt.

GEBÄUDEKENNDATEN

Brutto-Grundfläche	10.018,88 m ²	charakteristische Länge	4,38 m	mittlerer U-Wert	0,199 W/m ² K
Bezugsfläche	8.015,10 m ²	Klimaregion	NF	LEK _T -Wert	9,35
Brutto-Volumen	112.712,40 m ³	Heiztage	240 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Gebäude-Hüllfläche	25.705,39 m ²	Heizgradtage	4044 Kd	Bauweise	mittelschwere
Kompaktheit (A/V)	0,23 1/m	Norm-Außentemperatur	-12,0 °C	Soll-Innentemperatur	20 °C

ANFORDERUNGEN (Referenzklima) Produktionshalle

Referenz-Heizwärmebedarf	erfüllt	88,42 kWh/m ² a	≥ HWB _{Ref,RK}	32,78 kWh/m ² a
Außeninduzierter Kühlbedarf	nicht erfüllt	1,00 kWh/m ² a	> KB* _{RK}	1,84 kWh/m ² a
End-/Lieferenergiebedarf	erfüllt (alternativ zu f _{GEE})	442,46 kWh/m ² a	≥ E/LEB _{RK}	182,27 kWh/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	ohne Anforderungen		f _{GEE}	0,366
Erneuerbarer Anteil	erfüllt			

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	381.902 kWh/a	HWB _{Ref,SK}	38,12 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	964.181 kWh/a	HWB _{SK}	96,24 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	255.982 kWh/a	WWWB	25,55 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	1.332.014 kWh/a	HEB _{SK}	132,95 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H}	1,09
Kühlbedarf	129.934 kWh/a	KB _{SK}	12,97 kWh/m ² a
Kühlenergiebedarf	0 kWh/a	KEB _{SK}	0,00 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Kühlen		e _{AWZ,K}	0,00
Befeuchtungsenergiebedarf	0 kWh/a	BefEB _{SK}	0,00 kWh/m ² a
Beleuchtungsenergiebedarf	379.716 kWh/a	BelEB	37,90 kWh/m ² a
Betriebsstrombedarf	329.120 kWh/a	BSB	32,85 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	1.985.966 kWh/a	EEB _{SK}	198,22 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	3.286.179 kWh/a	PEB _{SK}	328,00 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	2.699.459 kWh/a	PEB _{n.ern.,SK}	269,44 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	586.720 kWh/a	PEB _{ern.,SK}	58,56 kWh/m ² a
Kohlendioxidemissionen (optional)	567.623 kg/a	CO ₂ _{SK}	56,66 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE}	0,369
Photovoltaik-Export	0 kWh/a	PV _{Export,SK}	0,00 kWh/m ² a

ERSTELLT

GWR-Zahl		BSc Leonard Donkor
Ausstellungsdatum	31.08.2018	Unterschrift
Gültigkeitsdatum	30.08.2028	

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von der hier angegebenen abweichen.

Ökologische Bewertung

BIM-Eco Variante OPTI 2 - Alle Gebäudeteile/Zonen

angewendetes Berechnungsverfahren	OI3 Leitfaden 3.1	
betrachtete Bilanzgrenze	BG3	
Lebensdauer von Schichten berücksichtigen	ja	
Betrachtungszeitraum	100 Jahre	
Bezugsfläche	BZF	10.018,88 m ²
Konditionierte Grundfläche	BZF	10.018,88 m ²
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	PEI ne	103.580.431 MJ
Globales Erwärmungspotenzial	GWP100	6.466,14 t CO ₂ equ.
Versäuerungspotential	AP	23.995 kg SO ₂ equ.

OI3 BG3, BZF

771,5 Pkt.

Bauteilliste

Übersicht aller Bauteile in dieser Berechnung sortiert nach Bauteilnummer.

	A	OI3	ΔOI3
	m ²	BG3, BZF	Pkt/m ²
A01	Außenwand massiv hinterlüftet	144,6	539
A02	Außenwand massiv hinterlüftet	129,8	539
B01	Boden	228,7	230
D01	Warmdach-steil	263,5	314
D02	Warmdach-flach	4,9	314
	23.627,13	771,5	