



architektur +
raumplanung

DIPLOMARBEIT

Der Bauteilmonitor - Effiziente Bauteilanalyse: Energieverschwendung im Gebäude aufdecken und visualisieren

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieur /
Diplom-Ingenieurin eingereicht an der TU-Wien, Fakultät für Architektur und
Raumplanung

von

Scherret Jacqueline, BSc

1028674

Betreuer: Pont, Ulrich; Senior Scientist Dipl.-Ing. Dr.techn.

Mitbetreuung: Swoboda, Sigrun; Senior Lecturer Dipl.-Ing.in

Institut: Institut für Architekturwissenschaften

Forschungsbereich: Bauphysik und Bauökologie

Technischen Universität Wien,

Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich

Wien, am

KURZFASSUNG

Der Bauteilmonitor stellt eine innovative Erweiterung für die Software ArchiPHYSIK dar, eine umfassende Software-Lösung für normkonforme Bauphysik-Gutachten und Nachweise zu Wärme, Schall, Dampfdiffusion, Energieausweise und Ökologie für Wohn- und Nicht-Wohngebäude (*archiphysik.at, 2024*). Diese Erweiterung ermöglicht eine präzise Analyse und Optimierung der Energieeffizienz von Gebäuden. Das primäre Ziel dieser Arbeit bestand in der Entwicklung eines Tools zur raschen Identifikation und Visualisierung von Energieverlusten in Gebäuden durch die Untersuchung der Leitwerte von Bauteilen. Die methodische Vorgehensweise umfasste die Entwicklung einer benutzerfreundlichen Erweiterung, die Integration diverser Filtermethoden für detaillierte Analysen sowie die Implementierung einer neuen Berechnungsmethode für Transmissionswärmeverluste. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Gestaltung eines intuitiven Userinterfaces sowie die Integration von CAD-Modellen zur visuellen Darstellung der Ergebnisse gelegt. Die Resultate belegen die Effektivität des Bauteilmonitors bei der Identifizierung von Schwachstellen in der Gebäudehülle. Das Tool erlaubt eine differenzierte Analyse diverser Bauteiltypen und -eigenschaften, wodurch eine präzise Evaluierung der Energieeffizienz gewährleistet wird. Die neu integrierte Berechnungsmethode für Transmissionswärmeverluste erwies sich als akkurat und zuverlässig. Diese Arbeit leistet einen signifikanten Beitrag zur Verbesserung der Energieanalyse in Gebäuden, indem sie ein leistungsfähiges Instrument bereitstellt, welches Architekten und Ingenieure bei der fundierten Entscheidungsfindung zur Optimierung der Energieeffizienz unterstützt.

Keywords

Bauteilmonitor, Energieeffizienz, Gebäudeanalyse, Leitwerte, Energieverlust, Filtermethoden, Transparenz, Normative Berechnungen, CAD-Modell, Wärmedämmung, Berechnungsmethoden, Transmissionswärmeverluste, ArchiPHYSIK

ABSTRACT

The Building Component Monitor is an innovative extension to ArchiPHYSIK, a comprehensive software solution for standard-compliant building physics reports and verifications for thermal, acoustic, vapour diffusion, energy performance and ecology for residential and non-residential buildings (*archiphysik.at, 2024*). This extension enables accurate analysis and optimisation of the energy performance of buildings. The main objective of this work was to develop a tool for the rapid identification and visualisation of energy losses in buildings by examining the conductance values of building components. The methodological approach included the development of a user-friendly extension, the integration of different filtering methods for detailed analysis and the implementation of a new calculation method for transmission heat losses. Special attention was paid to the design of an intuitive user interface and the integration of CAD models for visualisation of the results. The results demonstrate the effectiveness of the component monitor in identifying weak points in the building envelope. The tool allows for a differentiated analysis of different component types and properties, ensuring an accurate assessment of energy efficiency. The newly integrated calculation method for transmission heat losses proved to be accurate and reliable. This work makes a significant contribution to improving energy analysis in buildings by providing a powerful tool to assist architects and engineers in making informed decisions to optimise energy efficiency.

Keywords

Building component monitor, energy efficiency, building analysis, guide values, energy loss, filter methods, transparency, normative calculations, CAD model, thermal insulation, calculation methods, transmission heat loss, ArchiPHYSIK

DANKSAGUNG

Mit großer Dankbarkeit und tief empfundenem Respekt möchte ich die Gelegenheit nutzen, um allen Menschen meinen aufrichtigen Dank auszusprechen, die mich während meines Studiums auf so vielfältige Weise unterstützt haben. Ihre Geduld, Empathie und Warmherzigkeit haben mich durch zahlreiche Herausforderungen begleitet und mir geholfen, auch in schwierigen Zeiten nicht den Mut zu verlieren.

Ein besonderes Dankeschön geht an die Firma A-NULL Development, den Hersteller von ArchiPHYSIK für die Genehmigung und die Möglichkeit, meine Diplomarbeit durchzuführen. Ebenso möchte ich mich bei meinen Betreuern für ihre wertvolle Unterstützung beim Abschluss meines Studiums bedanken.



Um die Lesbarkeit zu optimieren, wurde in dieser Diplomarbeit auf eine geschlechterdifferenzierende Formulierung verzichtet. Es sei darauf hingewiesen, dass sämtliche geschlechtsspezifischen Ausdrücke gleichermaßen auf beide Geschlechter zu beziehen sind.

INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung	2
Abstract	3
Danksagung.....	4
1 Einführung.....	9
1.1 Überblick.....	10
1.2 Motivation.....	10
1.3 Zielsetzung.....	11
1.4 Theoretischer Hintergrund.....	12
1.4.1 Einführung winterlicher Wärmeschutz	12
1.4.2 Normative Grundlagen	13
1.4.3 Heizwärmebedarf.....	13
1.4.4 Wärmedurchgangskoeffizient, U-Wert.....	14
1.4.5 Wärmebrücken	17
1.4.6 Temperaturkorrekturfaktoren	18
1.4.7 Leitwert.....	20
1.4.8 Transmissionsleitwert alternative Berechnungsansätze	21
1.4.9 Heizgradtage	22
1.5 ArchiPHYSIK.....	24
1.5.1 Überblick über Funktionen des Programms.....	25
1.5.2 Relevante Funktionen für den Bauteilmonitor	26
1.6 Hypothese.....	27
2 Methode.....	29
2.1 Überblick.....	30
2.2 Entwicklung Bauteilmonitor	30
2.2.1 Analyse, Anforderungen und Spezifikation	30
2.2.2 Softwarearchitektur	32
2.2.3 Implementierung in ArchiPHYSIK	34

2.2.4	Prozessablauf.....	36
2.2.5	Gestaltung des Userinterface	37
2.2.6	Konfiguration des Bauteilmonitors.....	38
2.2.7	Befüllen der Tabelle	38
2.2.8	Umsetzung der Zonenselektion	40
2.2.9	Umsetzung der Filtermethoden.....	40
2.2.10	Leitwert-Balkendarstellung	43
2.2.11	Erstellen, Manipulieren und Darstellen der Diagramme.....	43
2.2.12	CAD-Verbindung schaffen.....	46
2.2.13	Gestaltung der Ausdrücke	48
2.3	Integration neuer Berechnungsmethode der Transmissionswärmeverluste	50
2.3.1	Herleitung der Berechnungsmethode.....	50
2.3.2	Überprüfung der Berechnung	50
2.3.3	Integration in den Bauteilmonitor.....	51
2.4	Erstellung des Beispielprojekts	53
2.4.1	Gebäudes in SketchUp erstellen.....	53
2.4.2	Zuweisung von Bauteil- und Zonenfarben	54
2.4.3	Export aus SketchUp.....	55
2.4.4	Neues Projekt in ArchiPHYSIK erstellen.....	56
2.4.5	CAD-Import in ArchiPHYSIK.....	56
2.4.6	Bauteile anpassen und ergänzen.....	58
3	Resultate.....	59
3.1	Überblick	60
3.2	Funktionalität.....	61
3.2.1	Initiierung des Bauteilmonitors	61
3.2.2	Beschreibung des Userinterfaces	62
3.2.3	Zonenselektion	64
3.2.4	Filtermethoden.....	68
3.2.5	CAD-Selektion	71

3.2.6	Copy & Paste.....	73
3.3	Ausdrucke	74
3.4	Prüfung der neu integrierten Berechnung.....	76
3.5	Überprüfung des Tortendiagramms	81
4	Diskussion.....	83
4.1	Überblick.....	84
4.2	Interpretation der Ergebnisse	84
4.2.1	Funktionalität und Effizienz des Bauteilmonitors	84
4.2.2	Bewertung der neu integrierten Berechnungsmethode.....	85
4.3	Vergleich mit dem Stand der Technik.....	85
4.3.1	Positionierung des Bauteilmonitors	85
4.3.2	Innovative Aspekte des Bauteilmonitors	86
4.4	Mögliche Fehlerquellen	86
4.4.1	Datenqualität und -integrität.....	86
4.4.2	Benutzerfreundlichkeit und Usability	86
4.5	Relevanz und Implikationen der Ergebnisse.....	88
4.5.1	Auswirkungen auf die Baupraxis	88
4.5.2	Einfluss auf zukünftige Forschung	88
4.6	Ethische Überlegungen und gesellschaftliche Implikationen.....	89
4.6.1	Datenschutz und Privatsphäre	89
4.6.2	Soziale Gerechtigkeit im Kontext der Energieeffizienz	89
5	Schlussfolgerung.....	91
5.1	Limitierungen des Ansatzes und dieser Arbeit.....	92
5.2	Zukünftige Forschung und Entwicklung.....	92
6	Index.....	95
6.1	Abbildungen	96
6.2	Formelverzeichnis.....	97
6.3	Programmcode-Verzeichnis	97
6.4	Tabellenverzeichnis	98

7	Literaturverzeichnis.....	99
8	Erklärung der Autorin.....	101
9	Glossar	102
10	Anhang.....	105

1 EINFÜHRUNG

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.

1.1 Überblick

Die steigenden Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden rücken verstärkt den Bedarf nach präzisen Analysewerkzeugen in den Fokus der Bauindustrie. In diesem Zusammenhang präsentiert sich der Bauteilmonitor als wegweisende Erweiterung für ArchiPHYSIK, die eine schnelle und effiziente Lösung zur Identifizierung von Energiefressern in Gebäuden bietet. In der heutigen Zeit, in der Nachhaltigkeit und Energieeinsparung immer mehr an Bedeutung gewinnen, ist es von entscheidender Bedeutung, die Energieverluste in Gebäuden präzise zu quantifizieren und visuell darzustellen. Die folgende Arbeit gibt einen Überblick über den Bauteilmonitor, seine Ziele, Funktionsweise und die Bedeutung seiner Filtermethoden für eine gezielte Analyse. Des Weiteren wird die Notwendigkeit einer neuen Berechnungsmethode für die Transmissionswärmeverluste betont, welche im Rahmen dieser Arbeit in den Bauteilmonitor integriert wird, um die Effektivität des Bauteilmonitors weiter zu steigern.

1.2 Motivation

Als eine der Softwareentwicklerinnen von ArchiPHYSIK und junge Forscherin war es mir ein besonderes Anliegen, im Rahmen dieser Arbeit ein neues Tool zu erforschen und zu entwickeln, das den aktuellen Anforderungen entspricht.

Die Entwicklung des Bauteilmonitors als Teil von ArchiPHYSIK entspringt der dringenden Notwendigkeit, den Energieverbrauch von Gebäuden angesichts des Klimawandels zu reduzieren. Dieses Tool ermöglicht eine präzise und leicht verständliche Analyse der Leitwerte von Bauteilen, was für Architekten, Ingenieure und Bauherren von großer Bedeutung ist. Der Bauteilmonitor bietet eine fundierte Grundlage zur Identifizierung und Priorisierung von Energiesparmaßnahmen, was nicht nur umweltfreundlich, sondern auch wirtschaftlich vorteilhaft ist. In der heutigen Zeit ist es von entscheidender Bedeutung, sinnvolle und leicht verständliche Analysewerkzeuge zur Verfügung zu haben, um den Energiebedarf von Bauwerken präzise abschätzen zu können. Solche Tools wie der Bauteilmonitor sind unerlässlich, um:

- Eine genaue Bewertung der energetischen Leistung von Gebäuden zu ermöglichen
- Gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz zu ergreifen

- Eine nachhaltige Bauweise zu fördern, die sowohl umweltfreundlich als auch ökonomisch vorteilhaft ist

Die Integration solcher innovativen Analysewerkzeuge in Software wie ArchiPHYSIK trägt wesentlich dazu bei, den Herausforderungen des Klimawandels im Bausektor effektiv zu begegnen.

1.3 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Hauptziel, den Bauteilmonitor als effektives Analysewerkzeug in die ArchiPHYSIK-Software zu integrieren. Im Einzelnen sollen folgende Ziele erreicht werden:

1. **Entwicklung eines benutzerfreundlichen Tools:** Es soll ein intuitiv bedienbares Instrument zur präzisen Analyse von Bauteil-Leitwerten geschaffen werden, das sowohl für Experten als auch für weniger erfahrene Nutzer zugänglich und verständlich ist.
2. **Verbesserung der Energieeffizienzanalyse:** Ziel ist die Ermöglichung einer detaillierten und leicht verständlichen Bewertung der energetischen Leistung von einzelnen Bauteilen.
3. **Unterstützung fundierter Entscheidungen:** Die Bereitstellung klarer und aussagekräftiger Daten soll Architekten, Ingenieuren und Bauherren dabei helfen, Energiesparmaßnahmen zu identifizieren und zu priorisieren.
4. **Förderung nachhaltiger Bauweisen:** Das Ziel besteht in der Reduzierung des Energieverbrauchs im Bausektor durch die Bereitstellung eines Tools, welches die Planung und Umsetzung energieeffizienter Gebäudekonzepte erleichtert.
5. **Integration in bestehende Softwarelösungen:** Die nahtlose Einbindung des Bauteilmonitors in die ArchiPHYSIK-Software zielt darauf ab, den Workflow der Nutzer zu optimieren und die Akzeptanz des Tools zu erhöhen.
6. **Validierung und Optimierung:** Im Rahmen der Validierung werden Tests und Fallstudien durchgeführt, um die Genauigkeit und Nützlichkeit des Bauteilmonitors zu überprüfen und kontinuierlich zu verbessern.

1.4 Theoretischer Hintergrund

1.4.1 Einführung winterlicher Wärmeschutz

In zentraleuropäischen Kontexten ist der Winter durch niedrige Außentemperaturen geprägt. Der winterliche Wärmeschutz dient daher dazu, unter diesen Bedingungen die erforderliche Energiekonsumation niedrig zu halten. In diesem Zusammenhang befasst sich die Bauphysik mit Maßnahmen zur Reduzierung von Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten. Transmissionswärmeverluste entstehen, wie in Abb. 1 schematisch dargestellt, durch Wärmeleitung von wärmeren zu kälteren Bereichen innerhalb eines Gebäudes durch Bauteile. Lüftungswärmeverluste resultieren aus dem Austausch von warmer Innenluft mit kalter Außenluft.

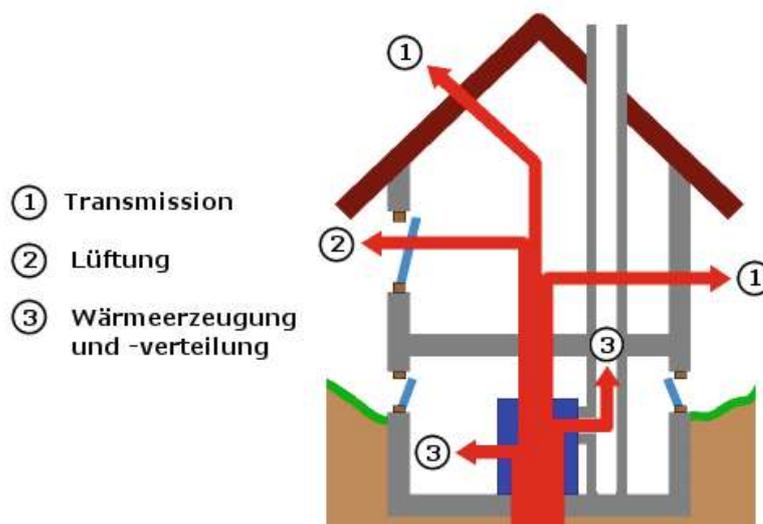


Abb. 1: Transmissions- und Lüftungswärmeverluste (u-wert.net, 2010)

Die Reduzierung von Transmissionswärmeverlusten ist in der Theorie einfach zu verstehen, aber in der Praxis oft komplex umzusetzen. Eine Verbesserung der Dämmung kann zwar den U-Wert von Bauteilen senken, bringt jedoch Herausforderungen mit sich. Bei Altbauten kann eine Innendämmung beispielsweise zu erhöhter Kondensationsneigung führen, während Wärmebrücken besondere Aufmerksamkeit erfordern. Die Kontrolle von Lüftungswärmeverlusten ist ebenfalls anspruchsvoll, da ein ausgewogener Luftwechsel für die Luftqualität und den Sauerstoffgehalt essenziell ist. Es ist von entscheidender Bedeutung, diese Verluste zu minimieren, was durch eine dichte Gebäudehülle und technische Lösungen mit gutem Luftkomfort erreicht werden kann. Zukünftige Ansätze müssen diese Anforderungen berücksichtigen. Wärme wird als Energieform betrachtet, die mit der Bewegung von Atomen oder Molekülen in einem Körper verbunden ist. Bei

Temperaturunterschieden erfolgt ein Wärmetransport, bis ein thermisches Gleichgewicht erreicht ist. Die Wärmeenergie fließt dabei stets von höheren zu niedrigeren Temperaturen. Die Einheit der Wärmeenergie ist das Joule (J) oder die Wattsekunde (Ws). Die Übertragung von Wärme pro Zeiteinheit wird als Wärmestrom bezeichnet, während die Wärmestromdichte den Wärmestrom pro Flächeneinheit beschreibt. Verschiedene Normen, wie die ONORM EN ISO 7345, legen die Begriffe und Standards im Bereich des Wärmeschutzes fest (Pech & Pöhn, 2. Auflage, 2018, S. 15).

1.4.2 Normative Grundlagen

In Österreich dienen die OIB-Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2023) und die ÖNORMEN als Grundlage für bauphysikalische Berechnungen. Die OIB-Richtlinie 6 unterstützt die Umsetzung der bautechnischen Aspekte der EU-Gebäuderichtlinie, außerdem legt sie fest welche ÖNORMEN, sowie EN ISO-Normen zur Anwendung kommen.

Auch in Deutschland und europaweit gibt es Normen, die für bauphysikalische Berechnungen relevant sind. In Deutschland werden europäische Normen als DIN EN bezeichnet und veröffentlicht. Europaweit werden Normen von CEN (Comité Européen de Normalisation) erarbeitet, wobei harmonisierte europäische Normen (hEN) die höchste Stufe darstellen. Diese Normen sind unter anderem für die CE-Kennzeichnung von Bauprodukten relevant und legen Anforderungen an die Brauchbarkeit fest, wie mechanische Festigkeit, Brandschutz, Energieeinsparung und nachhaltigen Umgang mit Ressourcen.

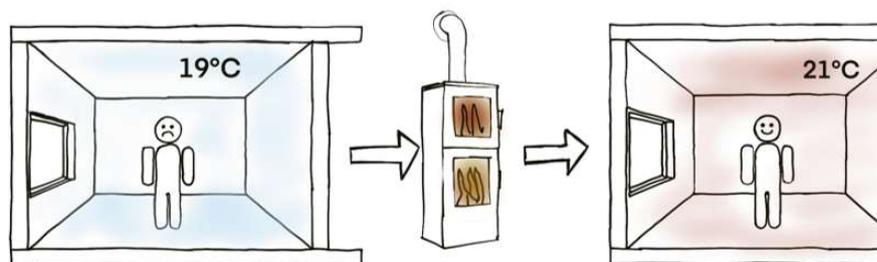
1.4.3 Heizwärmebedarf

„Grundsätzlich ist aber der Heizwärmebedarf (exakt der Referenzheizwärmebedarf) eines Gebäudes wohl die nachvollziehbarste Energiekennzahl, die derzeit in Verwendung ist [...]“ (Pech & Pöhn, 2. Auflage, 2018, S. 37).

„Rechnerisch ermittelte Wärmemenge (Nutzenergie), die während der Heizperiode in den Räumen des Gebäudes während der Betriebszeit zur Aufrechterhaltung einer vorgegebenen Innentemperatur benötigt wird“ (ÖNORM B 8110-6, 2024, S. 6 Punkt 3.11).

Dies bedeutet der Heizwärmebedarf, auch HWB genannt, ist jene Wärmemenge, die einem Raum zugeführt werden muss, um die gewünschte Raumtemperatur zu erreichen.

In dem dargestellten Beispiel (Abb. 2) wird der Raum von 19 °C auf 21 °C erhitzt, wobei der dabei erforderliche Energieaufwand in der Einheit kWh/m²a angegeben wird.



kWh/m²a

Abb. 2: Heizwärmebedarf Erklärungsgrafik (Erstellt von Autorin im Rahmen eines Webinars für A-NULL Development, 2022)

Wie in Formel 1 beschrieben erfolgt im Rahmen der Berechnung eine Bilanzierung der Lüftungswärmeverluste, der Transmissionswärmeverluste sowie des nutzbaren Anteils der solaren und inneren Wärmegewinne (Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. 74).

$$Q_{HWB} = Q_I - \eta_H * Q_g$$

Formel 1: Berechnung HWB (Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. 74)

Q_I ... Wärmeverluste durch Transmission und Lüftung in kWh

η_H ...Ausnutzungsgrad zur Bestimmung der nutzbaren Anteile der Gewinne zur Deckung des Heizwärmebedarfs

Q_g ... Wärmegewinne durch solare Einstrahlung, Personen, Beleuchtung und Geräte in kWh

1.4.4 Wärmedurchgangskoeffizient, U-Wert

„Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) gibt an, wie viel Wärme pro Zeiteinheit und Flächeneinheit im stationären Zustand durch einen Bauteil fließt.[...]“

(Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. 20).

Historisch wurde dieser auch als k-Wert bezeichnet. Dabei ist zu beachten, dass sich dieser in den Übergangswiderständen und bei inhomogenen Bauteilen vom heutigen U-Wert unterscheidet. Die Basis der Ermittlung bildeten und bilden die Wärmeleitfähigkeiten der Bauteilschichten, wobei insbesondere die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit einer Veränderung unterlagen (Pech & Pöhn, 2. Auflage, 2018, S. 17).

Wie in Formel 2 beschrieben, wird der U-Wert in ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$) angegeben. In Formel 3 wird der in der Berechnung enthaltene Wärmedurchgangswiderstand beschrieben.

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Formel 2: Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) (Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. 20)

U ... Wärmedurchgangskoeffizient in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

R_T ...Wärmedurchgangswiderstand in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

„Der Wärmedurchgangswiderstand ist die Summe der Übergangswiderstände (R_s) und der Wärmedurchlasswiderstände (R_i)“ (Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. 20).

$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{se}$$

Formel 3: Wärmedurchgangswiderstand (Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. 20)

R_s ... Wärmeübergangswiderstand in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

R_i ... Wärmedurchlasswiderstand einer Schicht in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Wärmedurchgangskoeffizient nach DIN EN 673

Der U-Wert (Formel 4, 5, 6) einer Verglasung ist ein Parameter, der den Wärmedurchgang durch den mittleren Bereich der Verglasung, d. h. ohne Randeffekte, charakterisiert und die stationäre Wärmestromdichte je Temperaturdifferenz zwischen den Umgebungstemperaturen auf jeder Seite angibt. Der U-Wert wird in Watt je Quadratmeter und Kelvin angegeben ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$) (DIN EN 673, 2003).

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_t} + \frac{1}{h_i}$$

Formel 4: Wärmedurchgangskoeffizient (DIN EN 673, 2003)

h_e ... äußere Wärmeübergangskoeffizient

h_i ... innere Wärmeübergangskoeffizient

h_t ... Gesamtwärmedurchlasskoeffizient der Verglasung

$$\frac{1}{h_t} = \sum_1^N \frac{1}{h_s} + \sum_1^M d_j \cdot \gamma_j$$

Formel 5: Gesamtwärmedurchlasskoeffizient der Verglasung (DIN EN 673, 2003)

h_s ... Wärmedurchlasskoeffizient des Gaszwischenraumes

N ... Anzahl der Zwischenräume

d_j ... Dicke jeder Zwischenlage

γ_j ... spez. Wärmedurchgangswiderstand jedes Materials

M ... Anzahl der Materialschichten

$$h_s = h_r + h_g$$

Formel 6: Wärmedurchlasskoeffizient des Gaszwischenraumes (DIN EN 673, 2003)

h_r ... der Strahlungsleitwert

h_g ... der Wärmedurchlasskoeffizient des Gases

Wärmedurchgangskoeffizient nach ON EN ISO 6946

Beim detaillierten Berechnungsverfahren ist der Wärmedurchgangskoeffizient das Ergebnis einer Berechnung nach ISO 10211. Beim vereinfachten Berechnungsverfahren ergibt sich der Wärmedurchgangskoeffizient, wie in Formel 7 sichtbar, aus dem Gesamt-Wärmedurchlasswiderstand (ON EN ISO 6946, 2018).

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

Formel 7: Wärmedurchgangskoeffizient (ON EN ISO 6946, 2018)

U ... Wärmedurchgangskoeffizient in ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)

R_{tot} ... Gesamt-Wärmedurchlasswiderstand in $m^2 \cdot K/W$

1.4.5 Wärmebrücken

Wärmebrücken sind spezielle Bereiche in Gebäuden, in denen der Wärmefluss im Vergleich zu einfachen, geraden Wandabschnitten komplexer ist. Sie lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Verstärkter Wärmedurchgang
- Kühlere Innenwandflächen
- Wärmere Außenwandflächen

Die Bildung von geometrischen Wärmebrücken ist auf die spezifische Form des jeweiligen Bauteils zurückzuführen. Ein exemplarisches Beispiel hierfür sind Gebäudeecken, bei denen eine kleine Innenfläche einer größeren Außenfläche gegenübersteht. Dies resultiert in einem ungleichmäßigen Wärmefluss. Stoffliche Wärmebrücken hingegen manifestieren sich, wenn verschiedene Baumaterialien mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten aneinandergrenzen. An diesen Übergängen erfolgt eine Veränderung des Wärmeflusses (Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. 32F).

„Teil der Gebäudehülle, wo der ansonsten gleichförmige Wärmedurchlasswiderstand signifikant verändert wird durch eine vollständige oder teilweise Durchdringung der Gebäudehülle durch Baustoffe mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit, und/oder eine Änderung der Dicke der Bauteile, und/oder eine unterschiedlich große Differenz zwischen Innen- und Außenfläche, wie sie bei Wand-, Fußböden und Decken-Anschlüssen auftritt [...]“ (ÖNORM EN ISO 10211, 2015, S. 12 Punkt 3.1).

Wärmedurchgangskoeffizient nach ON EN ISO 10211

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient:

Wärmestrom im stationären Zustand im Vergleich zu einem Bezugswärmestrom, der ohne Berücksichtigung der Wärmebrücke berechnet wird, geteilt durch das Produkt aus Länge und Temperaturdifferenz zwischen den Umgebungstemperaturen auf jeder Seite einer längenbezogenen Wärmebrücke (ÖNORM EN ISO 10211, 2015).

Punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient:

Wärmestrom im stationären Zustand im Vergleich zu einem Bezugswärmestrom, der ohne Berücksichtigung der Wärmebrücke berechnet wird, geteilt durch die Temperaturdifferenz zwischen den Umgebungstemperaturen auf jeder Seite einer punktförmigen Wärmebrücke (ÖNORM EN ISO 10211, 2015).

1.4.6 Temperaturkorrekturfaktoren

Die Temperaturkorrekturfaktoren spielen eine wesentliche Rolle bei der Berechnung der Transmissionswärmeverluste von Gebäuden. Bauteile, die an das Erdreich oder an unbeheizte Räume grenzen, weisen geringere Temperaturunterschiede zur Außenluft auf. Daher werden für diese Bauteile Temperaturkorrekturfaktoren (F_x -Faktoren) verwendet, um die Transmissionswärmeverluste realistischer zu berechnen. Die Berücksichtigung der Temperaturkorrekturfaktoren ist erforderlich, um eine Überschätzung der Transmissionswärmeverluste für Bauteile im Erdreich oder zu unbeheizten Räumen zu vermeiden. Die Temperaturkorrekturfaktoren sind in Normen wie ÖNORM B 8110-6, DIN V 4108-6 und DIN V 18599-2 definiert und reichen von 0,4 für Bauteile zum Erdreich bis 1,0 für Außenwände zur Außenluft. Bei einer sehr guten Dämmung der Bodenplatte kann die Verwendung der Temperaturkorrekturfaktoren allerdings zu einer Unterschätzung der Transmissionswärmeverluste führen. Daher wurden die Faktoren in neueren Normen erweitert, um dies zu verbessern. Insgesamt sind die Temperaturkorrekturfaktoren von entscheidender Bedeutung für die realistische Berechnung der Transmissionswärmeverluste, insbesondere für Bauteile, die nicht direkt an die Außenluft angrenzen (mep.trimble.com, 2023).

“In Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5 sind die Temperaturkorrekturfaktoren im Heizfall (Index h) und im Kühlfall (Index c) angegeben” (ÖNORM B 8110-6, 2024, S. 15).

In der Abb. 3, ein Auszug aus der Tabelle 3 der ÖNORM (ÖNORM B 8110-6, 2024, S. 15) werden alle Temperaturkorrekturfaktoren derjenigen Bauteile aufgeführt, die an Außenluft grenzen.

Bauteile, die an Außenluft grenzen	Temperaturkorrekturfaktor im Heizfall f_{ih}	Temperaturkorrekturfaktor im Kühlfall f_{ic}
Außenwand und andere Bauteile gegen Außenluft (Außenfenster, Außentüren etc.) – nicht hinterlüftet – hinterlüftet	1,00	1,00
Außendecke und andere Bauteile gegen Außenluft (Lichtkuppel etc.) – Wärmestrom nach oben nicht hinterlüftet – Wärmestrom nach oben hinterlüftet – Wärmestrom nach unten nicht hinterlüftet – Wärmestrom nach unten hinterlüftet	1,00	1,00
Dachschräge und andere Bauteile gegen Außenluft (Dachflächenfenster etc.) – nicht hinterlüftet – hinterlüftet	1,00	1,00

Abb. 3: Tabelle 3 - Temperaturkorrekturfaktoren gegen Außenluft (ÖNORM B 8110-6, 2024, S. 15)

In Abb. 4, ein Auszug aus der Tabelle 4 der ÖNORM (ÖNORM B 8110-6, 2024, S. 15) werden die Temperaturkorrekturfaktoren derjenigen Bauteile dargestellt, die an unconditionierte Räume grenzen.

Bauteile, die an unconditionierte Räume grenzen	Temperaturkorrekturfaktor im Heizfall $f_{i,h}$	Temperaturkorrekturfaktor im Kühlfall $f_{i,c}$
Wand zu unconditioniertem, geschlossenem Dachraum	0,90	0,00
Decke zu unconditioniertem, geschlossenem Dachraum	0,90	0,00
Wand zu geschlossener Tiefgarage	0,80	0,80
Wand zu geschlossener Garage	0,90	0,90
Decke zu geschlossener Tiefgarage	0,80	0,80
Decke zu geschlossener Garage	0,90	0,90
Wand zu unconditioniertem Wintergarten mit folgender Außenverglasung des Wintergartens: – Einfachverglasung $U > 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, – Isolierglas $U \leq 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, – Wärmeschutzglas $U \leq 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0,80 0,70 0,60	0,00 0,00 0,00
Wand zu unconditioniertem, ungedämmtem Keller	0,70	0,70

Abb. 4: Auszug von Tabelle 4 - Temperaturkorrekturfaktoren unconditionierter Räume (ÖNORM B 8110-6, 2024, S. 15)

Schließlich werden in Abb. 5, ein Auszug aus der Tabelle 5 der ÖNORM (ÖNORM B 8110-6, 2024, S. 16) die Temperaturkorrekturfaktoren bodenberührter Bauteile präsentiert.

Bodenberührte Bauteile	Temperaturkorrekturfaktor im Heizfall $f_{i,h}$	Temperaturkorrekturfaktor im Kühlfall $f_{i,c}$	Produkt aus dem U-Wert und Temperaturkorrekturfaktor $(U_{bw} \cdot f)_{\max}$	Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils $((1/R_i) \cdot f)_{\max}$
Erdanliegende Wand ($\leq 1,5 \text{ m}$ unter Erdoberfläche)	0,80	0,80	–	–
Erdanliegender Fußboden ($\leq 1,5 \text{ m}$ unter Erdoberfläche)	0,70	0,70	–	–
Erdanliegende Wand ($> 1,5 \text{ m}$ unter Erdoberfläche)	0,60	0,60	$0,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,	$0,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,
Erdanliegender Fußboden ($> 1,5 \text{ m}$ unter Erdoberfläche)	0,50	0,50	$0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,	$0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,

Abb. 5: Tabelle 5 - Temperaturkorrekturfaktoren bodenberührter Bauteile (ÖNORM B 8110-6, 2024, S. 16)

1.4.7 Leitwert

Der Leitwert stellt einen zentralen bauphysikalischen Kennwert dar, der bei der Planung von Gebäudehüllen, Wärmebrücken und Bauteilaktivierung in Österreich Berücksichtigung findet. Ziel ist es, Wärmeverluste und Heizwärmebedarf zu minimieren.

„Im Rahmen der hier betrachteten Normen müssen die Leitwerte in Folge Transmission und in Folge Lüftung berechnet werden. Grundsätzlich sei an dieser Stelle angemerkt, dass sich natürlich alle Prozesse, bei denen sich Verluste einstellen, durch Leitwerte ausdrücken lassen. Allerdings wird darauf sowohl in den nationalen Normen als auch in den europäischen Normen weitestgehend verzichtet.[...]“ (Pöhn, Pech, Bednar, & Streicher, 2012, S. 28).

In der vorliegenden Untersuchung wird der Fokus auf den Transmissionsleitwert gelegt, da sich der Bauteilmonitor mit den Transmissionsverlusten befasst.

Transmissionsleitwert

In Formel 8 wird dargelegt, dass der Transmissionsleitwert L_T den Wärmefluss pro Kelvin Temperaturdifferenz angibt und in Watt pro Kelvin (W/K) angegeben wird.

$$L_T = A \cdot U \cdot f$$

Formel 8: Transmissionsleitwert in W/K (Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. Seite 18)

L_T ... Transmissionsleitwert in W/K

A ... Fläche des Bauteils in m^2

U ... Wärmedurchgangskoeffizient in W/m^2K

f ... Temperaturkorrekturfaktor des Bauteils im Heizfall

Transmissionsleitwert nach ON EN ISO 10211

Der thermische Leitwert stellt den Quotienten aus längenbezogenem Wärmestrom und Temperaturdifferenz zwischen zwei wärmetechnisch durch die betrachtete Konstruktion in Verbindung stehenden Umgebungen dar (ÖNORM EN ISO 10211, 2015).

1.4.8 Transmissionsleitwert alternative Berechnungsansätze

In der vorliegenden Literatur konnte kein standardisiertes Rechenverfahren, für die Berechnung des Transmissionsleitwerts in Kilowattstunden pro Jahr, ausfindig gemacht werden. Auch in ArchiPHYSIK existiert eine solche Berechnung bisher nicht. Daher wurde eine umfassende Recherche durchgeführt, um alternative bzw. ähnliche Ansätze zu identifizieren (Formel 9, 10, 11, 12). Diese sollen als Grundlage für die Integrierung des neuen Berechnungsverfahrens dienen.

$$Q_T = L_T * (\vartheta_i - \vartheta_e) * t$$

Formel 9: Monatliche Transmissionsverluste (Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. 56)

$$Q_T = L_T * HGT$$

Formel 10: Formelgrundlage für on b 8110-4 Formel B.1 (ÖNORM B 8110-4, 2023)

$$Q_T = \frac{1}{1000} * L_T * (\theta_{i,h} - \theta_e) * t$$

Formel 11: Monatlichen Transmissionswärmeverluste (Pöhn, Pech, Bednar, & Streicher, 2012, S. 33)

$$Q_{l,M} = 0,024 * H_M * (\theta_i - \theta_{e,M}) * t_M$$

Formel 12: Monatliche Wärmeverluste (Schild & Brück, Energie- Effizienzbewertung von Gebäuden - Anforderungen und Nachweisverfahren gem EnEV 2009, 2010, S. 79)

Q_T ... monatliche Transmissionsverluste in kWh¹

L_T ... Transmissionsleitwert in W/K

H_M ... spezifischer monatlicher Wärmeverlust in W/K

$\vartheta_i / \theta_{i,h} / \theta_i$... Innentemperatur in °C

$\vartheta_e / \theta_e / \theta_{e,M}$... Außentemperatur in °C

t / t_M ... Zeitdauer in Stunden

HGT ... Heizgradtage in Kd

0,024 ... Umrechnungsfaktor in kWh

Die hier präsentierten Formeln dienen als Grundlage für die Integrierung der neuen Berechnungsmethode, deren detaillierte Beschreibung Gegenstand des nachfolgenden Kapitels (2.3) ist.

1.4.9 Heizgradtage

Die Heizgradtage (HGT) (ÖNORM B 8110-5, 2024) in der Literatur auch als Gradtagszahlen (VDI 2067, 2012) bzw. Heizgradtagzahl (Schild & Brück, Energie- Effizienzbewertung von Gebäuden - Anforderungen und Nachweisverfahren gem EnEV 2009, 2010) bezeichnet, stellen einen Zusammenhang zwischen der Raumtemperatur und der Außenlufttemperatur während der Heizperiode dar.

„Die Heizgradtagszahl ist die Summe der Differenzen zwischen einer angenommenen Rauminnentemperatur (in der Regel: 19 °C) und der jeweiligen durchschnittlichen Tagesaußentemperatur für alle Tage eines Jahres mit einer durchschnittlichen Tagesaußentemperatur unterhalb der Heizgrenztemperatur [...]“ (Schild & Willems, Wärmeschutz: Grundlagen - Berechnung - Bewertung, 2.Auflage, 2013, S. 234).

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs erfolgt unter Zuhilfenahme der Heizgradtage, wobei in Österreich üblicherweise von einer Raumtemperatur von 22 °C und einer Heizgrenztemperatur von 14 °C ausgegangen wird. Dies impliziert, dass unter 14 °C geheizt werden muss, wobei eine Raumtemperatur von 22 °C aufrechterhalten wird (ÖNORM B 8110-5, 2024).

Die nachfolgende Abb. 6 veranschaulicht exemplarisch die Ermittlung der Heizgradtage. Die X-Achse gibt die Monate des Jahres von Juli (J) bis Juni (J) wieder. Die y-Achse zeigt die mittlere Außentemperatur in Grad Celsius (°C). Der dargestellte Bereich umfasst einen Temperaturbereich von minus zehn Grad Celsius bis über 20 Grad Celsius. Die blaue Kurve verdeutlicht den Verlauf der mittleren Außentemperatur im Jahresverlauf.

Die Temperaturkurve startet im Juli bei einer Temperatur von etwas unter 20 Grad Celsius, fällt dann im Herbst langsam und erreicht im Winter niedrige Temperaturen, bis die Temperaturen im Frühjahr wieder ansteigen.

Die sogenannte Heizgrenze ist durch eine schwarze horizontale Linie bei 12 °C markiert. Die Aktivierung der Heizung erfolgt in der Regel bei Unterschreitung des angegebenen Werts der Außentemperatur. Die orangefarbene Linie verläuft über der blauen Kurve knapp unter 20 °C und repräsentiert die Soll-Innentemperatur. Die graue Fläche kennzeichnet den Bereich zwischen der Heizgrenze (12 °C) und der blauen Kurve, welcher als "Heizgradtage" bezeichnet wird.

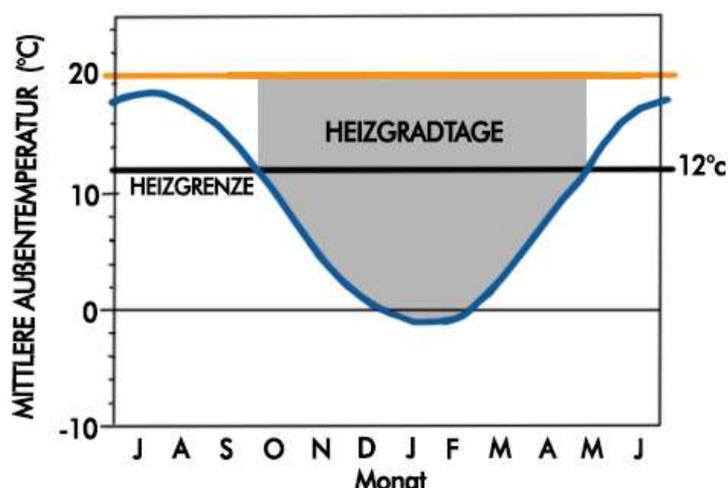


Abb. 6: Heizgradtage Erklärungsgrafik (Erstellt von Autorin im Rahmen eines Webinars für A-NULL Development, 2022)

In der Tat existiert eine Vielzahl von Methoden zur Berechnung der Heizgradtage. Im Folgenden werden die am häufigsten verwendeten Methoden aufgezählt und kurz beschrieben.

HGT lt. ÖNORM B8110-5

Die Berechnung der Heizgradtage, welche gemäß OIB-RL 6 anzuwenden ist, wird in der ÖNORM B 8110-5 geregelt. In diesem Kontext wird der Begriff "HGT22/14" verwendet, welcher bedeutet, dass ab einer Außentemperatur von 14 °C geheizt wird, wobei die Zieltemperatur im Innenbereich 22 °C beträgt.

„Die Heizgradtage HGT22/14 sind gemäß Gleichung (4) zu berechnen“ (ÖNORM B 8110-5, 2024, S. 8) (Formel 13).

$$HGT_{22/14} = \sum_j (\theta_{i,h} - \theta_{e,j}) \text{ für } \theta_{e,j} \leq 14^\circ\text{C}$$

Formel 13: Gleichung 4 – HGT22/14 (ÖNORM B 8110-5, 2024, S. 8)

$\theta_{i,h}$... Solltemperatur des beheizten Raumes, in °C

$\theta_{e,j}$... Heizgrenztemperatur, in °C

In älteren Fassungen der ON B 8110-5 wurde zudem der HGT 20/12 berücksichtigt. Diese Fassungen der Norm definierten folgende Grenzwerte: Ab einer Außentemperatur von 12 °C wird geheizt, wobei die Zieltemperatur im Innenbereich 20 °C beträgt.

HGT lt. H5056-1

“Summe der Temperaturdifferenzen zwischen einer bestimmten konstanten Raumtemperatur und dem Tagesmittel der Lufttemperatur, falls diese gleich oder unter einer angenommenen Heizgrenztemperatur liegt“ (ÖNORM H 5056-1, 2024, S. 7).

„Monatliche Heizgradtage, abhängig vom Tagesmittel der Außentemperatur innerhalb der Heizperiode, sind gemäß Gleichung (105) zu ermitteln“ (ÖNORM H 5056-1, 2024, S. 67) (Formel 14).

$$HGT = \sum_{d=1}^{d_{\text{Heiz}}} (\theta_{i,h} - \theta_{ed}) \cdot 1$$

Formel 14: Gleichung 105 – HGT (ÖNORM H 5056-1, 2024)

HGT ... monatliche Heizgradtage, in (K*d)/M

d_{Heiz} ... Anzahl der monatlichen Heiztage, in d/M

$\theta_{i,h}$... Solltemperatur des beheizten Raumes, in °C

θ_{ed} ... Heizgrenztemperatur, in °C

1.5 ArchiPHYSIK

Die Software ArchiPHYSIK stellt eine umfassende Lösung für die Erstellung von Bauphysik-Gutachten und Nachweisen zu Wärme, Schall, Dampfdiffusion, Energieausweisen und Ökologie für ein- und mehrzonige, Wohn- und Nichtwohngebäude dar. Seit über 30 Jahren erfüllt sie die Anforderungen von Planern und Ausführenden. Die Software unterstützt Anwender bei der Berechnung von Energieausweisen, dem Erstellen bauphysikalischer Nachweise sowie der Berechnung des ökologischen Fußabdrucks von Gebäuden. Die Verwendung von CAD-Schnittstellen ermöglicht eine wesentliche Erleichterung bei der Erstellung von bauphysikalischen Nachweisen und führt zu einer Zeitersparnis durch den Datenaustausch mit CAD-Programmen (archiphysik.at, 2024).

Die Abb. 7 zeigt den Startbildschirm von ArchiPHYSIK. Nach Eingabe der Lizenzdaten sowie potenzieller Updates des Programms wird dieser Bildschirm als erstes angezeigt.



Abb. 7: Startbildschirm ArchiPHYSIK 21 (archiphysik.at, 2024)

1.5.1 Überblick über Funktionen des Programms

Die Berechnung des U-Wertes, der Dampfdiffusion, der ökologischen Bewertung sowie des Schallschutzes erfolgt für homogene und inhomogene Bauteile sowie Fenster und Türen. Es werden Energieausweise für Wohngebäude, Nichtwohngebäude sowie sonstige Gebäude erstellt, sowohl für die Baueinreichung als auch für die Wohnbauförderung. Die Berechnungen erfolgen für ein- und mehrzonige Gebäude. Die Berechnung der Leitwerte von unkonditionierten Gebäudeteilen, erdberührter Gebäudeteile und Wärmebrücken stellt einen weiteren Arbeitsschritt dar. Neben der Erstellung des Nachweises des sommerlichen Wärmeschutzes erfolgt die ökologische Bewertung des Gebäudes, die LCA-Bewertung sowie die Ermittlung des mittleren U-Wertes von Fassaden und der Gebäudeheizlast gemäß ON B 8135.

Des Weiteren verfügt das Programm über eine CAD-Schnittstelle für ArchiCAD (Graphisoft Deutschland GmbH) und SketchUp (Trimble Inc), einen IFC-Viewer, einen BIM Bauteilfinder sowie einen APS-Viewer¹.

¹ Die Bezeichnung "APS-Datei" steht für „ArchiPHYSIK Schnittstelle“. Jene Dateien, welche mittels der Programme SketchUp und ArchiCAD erstellt werden und deren Schnittstellen einen Export aus den jeweiligen Programmen sowie einen Import in ArchiPHYSIK ermöglichen. Der APS-Viewer präsentiert diese Dateien in einer 3D-Ansicht (archiphysik.at, 2024).

1.5.2 Relevante Funktionen für den Bauteilmonitor

Im Rahmen der Bauteilanalyse, welche zudem als Basis für die Erstellung des Bauteilmonitors dient, sind folgende Funktionen des Programms von entscheidender Bedeutung:

Bauteileingabe

Die schichtweise Eingabe von Bauteilen, welche zudem die Dicke und die Lambda-Zahl umfasst, führt zur Berechnung des U-Wertes und des Leitwerts.

Mehrzonige Projekte

Die Möglichkeit der Eingabe mehrzoniger Projekte erlaubt eine nachträgliche Filterung derselben. Der Begriff "mehrzonige Projekte" bezeichnet demnach Projekte/Gebäude, die sich aus mehreren Zonen zusammensetzen. Unter einer Zone wird in ArchiPHYSIK ein definierter Bereich eines Gebäudes verstanden, der sich in seinen bauphysikalischen Eigenschaften oder seiner Nutzung von anderen Bereichen desselben Gebäudes unterscheidet. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn ein Projekt eine Zone mit Wohngebäude und eine Zone mit Büro-Nutzungsprofil umfasst. Alternativ besteht die Möglichkeit, ein Wohngebäude mit einer Zone "Bestand" und einer Zone "Neubau" zu versehen.

CAD-Schnittstelle

Die CAD-Schnittstelle ermöglicht den Import eines 3D-Modells aus ArchiCAD (Graphisoft Deutschland GmbH) oder SketchUp (Trimble Inc). Der Export bzw. Import über die Schnittstellen erfolgt im APS-Format, dem Austauschformat der ArchiPHYSIK-Schnittstelle. Der Import eines CAD-Modells ist für die spätere Darstellung und Auswahl im Bauteilmonitor relevant.

Softwaregrundlage 4D

Die Softwaregrundlage 4D² bildet die Basis für die Erstellung von ArchiPHYSIK. Sie verfügt über eine Vielzahl von Funktionen, von denen insbesondere die SVG-Komponente für den Bauteilmonitor von Bedeutung ist. Mithilfe dieser Komponente

² *Entwicklungsplattform mit Fokus auf Ihre Business-Regeln und einem einfachen Datenmodell.[...]* (4D, 2024).

können SVG-Grafiken erstellt und manipuliert werden. Der Einsatz der Komponente ermöglicht zudem die Erstellung und den Ausdruck von Diagrammen.

1.6 Hypothese

Die Integration des Bauteilmonitors in die Software ArchiPHYSIK ermöglicht eine präzisere und effizientere Identifikation und Analyse von Energieverlusten in Gebäuden, wodurch gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz ergriffen werden können. Die Entwicklung und Implementierung einer neuen Berechnungsmethode für Transmissionswärmeverluste spielt dabei eine entscheidende Rolle, da sie die Genauigkeit der energetischen Bewertungen weiter erhöht. Dies resultiert in einer signifikanten Reduktion des Energieverbrauchs und trägt zur nachhaltigen Bauweise sowie zu ökonomischen Vorteilen für Gebäudeeigentümer und -nutzer bei.

2 METHODE

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.

2.1 Überblick

Im Folgenden werden wesentliche Entwicklungs- und Implementierungs- Schritte detailliert beschrieben, die für das Projekt von zentraler Bedeutung sind. Ein Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung des Bauteilmonitors, seiner Tabelle zur Darstellung und Berechnung relevanter Daten sowie die Erstellung von SVG-Diagrammen zur Visualisierung der Ergebnisse.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Integrierung einer neuen Berechnungsmethode für den Transmissionsleitwert, gemessen in Kilowattstunden pro Jahr (kWh/a). Diese Methode wird ausführlich beschrieben und in den Bauteilmonitor integriert, was die Genauigkeit und Effizienz der Berechnungen erheblich verbessert.

Das Kapitel wird durch die Erstellung von Ausdrucksformularen abgerundet, welche den Nutzern die Möglichkeit bieten, die berechneten Daten und Diagramme in einer druckbaren Form zu exportieren. Die Formulare sind darauf ausgelegt, die Dokumentation und Weiterverarbeitung der Daten zu erleichtern und stellen sicher, dass alle relevanten Informationen übersichtlich und zugänglich präsentiert werden.

Die nachfolgend dargestellten Codezeilen repräsentieren Auszüge aus den Methoden. Bei Interesse am vollständigen Code des Bauteilmonitors besteht die Möglichkeit, diesen auf Anfrage als Open-Source-Code zur Verfügung zu stellen.

2.2 Entwicklung Bauteilmonitor

2.2.1 Analyse, Anforderungen und Spezifikation

Die Konzeption einer Analyse von Bauteilen basiert auf den Anforderungen von Kunden des Programms ArchiPHYSIK sowie auf Erkenntnissen aus Gesprächen mit Fachkollegen aus der Branche. In diesem Kontext wurde der Wunsch bzw. die Anregung geäußert, ein Analyse-Tool für Bauteile bereitzustellen, das eine schnelle Analyse ermöglicht. Sowohl bei Wettbewerben als auch bei Sanierungsprojekten wurde betont, dass insbesondere im ersten Stadium der Projekte der Bedarf nach einer schnellen und einfachen Abschätzung von großem Interesse ist.

Der erste Entwurf der Erweiterung trug ursprünglich den Namen "Leitwertmonitor" und lieferte wie in Abb. 8 ersichtlich, lediglich die Bauteilbezeichnung sowie den Leitwert.

The screenshot shows a software interface with a menu bar (Datei, Bearbeiten, Status, Bereich, Auswahl, Fenster, Inspektor, Support, Hilfe) and a toolbar. On the left is a navigation pane with icons for Bibliotheken, Projektliste, Projekt, Bauteile, and Räume. The main window displays a table with the following data:

Bauteile	Leitwert ges.	Leitwert
↕ Bauteile		
↕ Außenwand	0,00	
AW01		0,00
AW02		0,00
↕ Fenster	0,00	
AF01		0,00
AF02		0,00

Abb. 8: Erster Entwurf "Leitwertmonitor" (Erstellt von Autorin im Rahmen des Entwurfsprozess, 2024)

Es kristallisierte sich jedoch rasch heraus, dass das Tool weiteren Ansprüchen gerecht werden müsste. In der Folge wurde die Bezeichnung in "Bauteilmonitor" geändert. Im Rahmen diverser Gespräche mit Kunden von ArchiPHYSIK und Kollegen aus der Branche ergaben sich folgende Ansprüche:

Die Bauteile sollten in einer tabellarischen Übersicht mit den folgenden Angaben dargestellt werden: Die Bezeichnung des Bauteils, das Bauteiltyp-Kürzel, die Bauteilnummer, die Fläche, sowie den Leitwert. Des Weiteren ist eine Sortierung der Bauteile nach Zone, sowie die Möglichkeit weiterer Filterungen wünschenswert.

Die grafische Darstellung des Leitwerts spielt eine entscheidende Rolle bei der Identifikation energetisch kritischer Bauteile eines Gebäudes, da sie eine übersichtliche und leicht verständliche Analyse ermöglicht. Daher ist eine grafische Darstellung des Leitwerts in einem Diagramm erforderlich.

In Anbetracht der zukünftig zu erwartenden Entwicklung hin zu Building Information Modeling (BIM) war es von entscheidender Bedeutung, bereits in der Anfangsphase eine Verbindung zum 3D-Modell zu etablieren. Die Möglichkeit, Bauteile zeit- und ressourceneffektiv im 3D-Modell zu identifizieren, stellte dabei ein wesentliches Kriterium dar.

Im Rahmen der Konzeption des neuen Bauteilmonitors zeigte sich außerdem zunehmend die Notwendigkeit, neben der Anzeige der Leitwerte in Watt pro Kelvin auch die Wärmeverluste in Kilowattstunden pro Jahr darzustellen. Da bislang im Programm ArchiPHYSIK kein adäquates Rechenverfahren existiert, sind zunächst entsprechende Recherchen erforderlich, um auf deren Basis eine neue Berechnung zu integrieren. Diese Recherchen sind im Kapitel 1.4.8 zusammengefasst.

2.2.2 Softwarearchitektur

Die Software ArchiPHYSIK stellt ein spezialisiertes Programm für den Bereich der Bauphysik dar, welches auf der Entwicklungsumgebung 4D aufbaut.

4D stellt eine Entwicklungsplattform dar, welche sich auf die Erstellung von Business-Regeln sowie die Erstellung eines einfachen Datenmodells fokussiert (4D, 2024).

Die Programmierung von ArchiPHYSIK erfolgt mithilfe der 4D-Programmiersprache. Ein wesentlicher Vorteil von 4D besteht darin, dass ArchiPHYSIK dadurch in fast allen Bereichen nativ auf MacOS und Windows läuft, ohne dass der Code modifiziert werden muss.

Im Hintergrund von ArchiPHYSIK ist eine umfassende relationale Datenbank implementiert, die verschiedene Tabellen beinhaltet. Die genannten Tabellen enthalten bereits alle für die Konfiguration des Bauteilmonitors und dessen Berechnungen erforderlichen Projektdaten. Die Datenbanktechnologie von 4D ermöglicht eine effiziente Verwaltung sowie eine schnelle Abfrage der Daten.

Die Software ist in mehrere Hauptmodule unterteilt, wobei ein Modul für die Eingabe und Bearbeitung von Bauprojektdateien, ein Berechnungsmodul für bauphysikalische Analysen sowie ein Reporting-Modul zur Erstellung umfassender Berichte zu nennen sind. Die Module kommunizieren nahtlos miteinander und gewährleisten eine konsistente Datenverarbeitung.

Des Weiteren stellt die Software verschiedene Schnittstellen (APIs) für den Datenaustausch mit anderen Anwendungen bereit, wodurch sich die Integration in bestehende IT-Infrastrukturen vereinfacht. Die skalierbare Architektur von 4D erlaubt den performanten Betrieb von ArchiPHYSIK sowohl auf Einzelplatzsystemen als auch in größeren Netzwerken.

Die in Abb. 9 dargestellte Architektur des Bauteilmonitors gibt einen kurzen grafischen Überblick über die involvierten Elemente, Schnittstellen und Benutzer. Es sei darauf hingewiesen, dass die Grafik lediglich die für den Bauteilmonitor relevanten Elemente und Benutzer umfasst, nicht jedoch diejenigen des gesamten Programms ArchiPHYSIK.

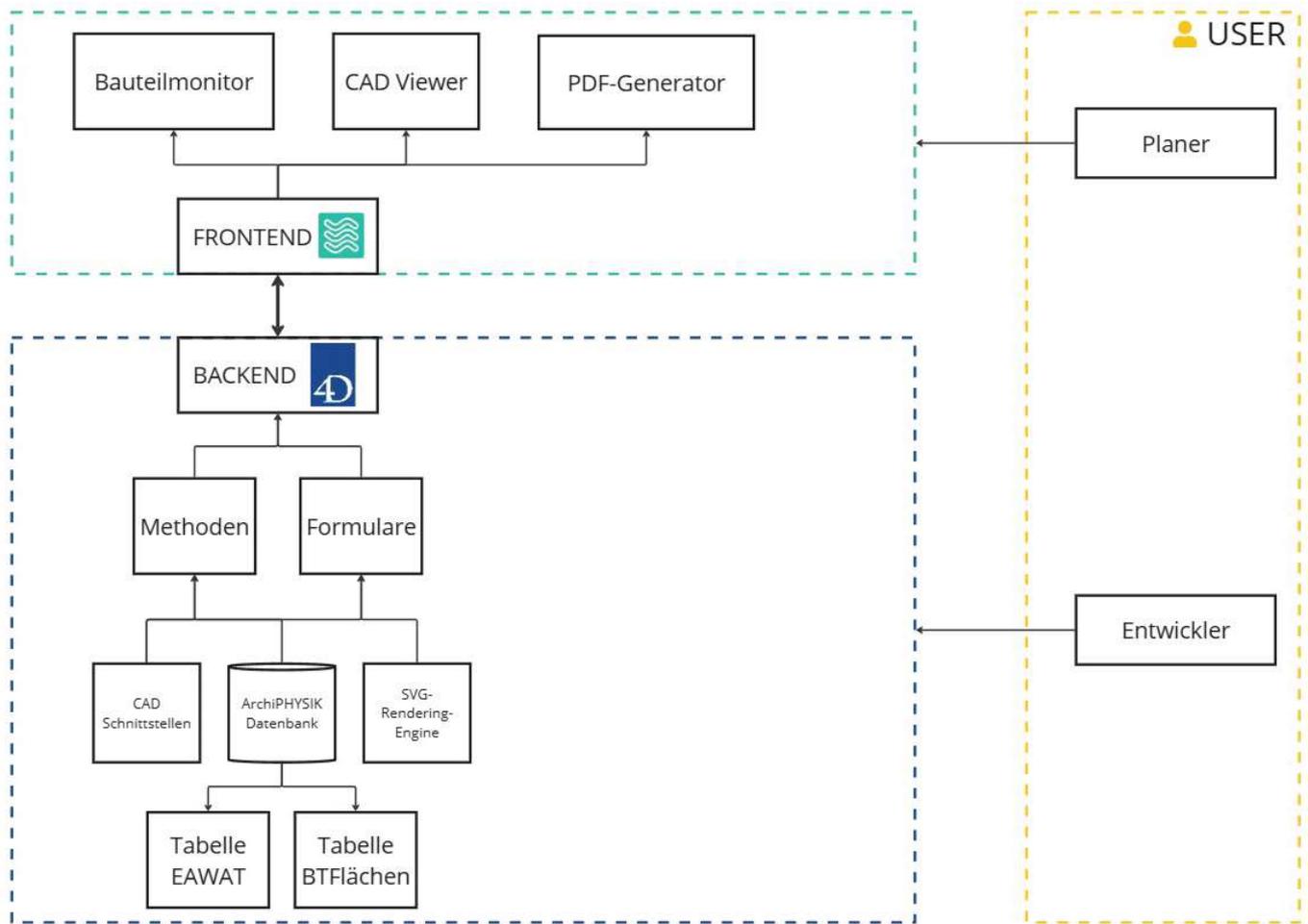


Abb. 9: Architektur hinter Bauteilmonitor (Erstellt von Autorin im Rahmen des Entwurfsprozess, 2024)

2.2.3 Implementierung in ArchiPHYSIK

Der Bauteilmonitor soll zu einem umfassenden Analyse-Tool für Bauteile entwickelt werden, das in seiner Funktionalität dem bereits existierenden Inspektor ähnelt, welcher ebenfalls als Analyse-Tool dient. Der Inspektor ermöglicht die kontinuierliche Überwachung und Analyse der Energiekennzahlen eines gesamten Projekts, wodurch er eine wertvolle Unterstützung bei der Optimierung und Nachverfolgung energetischer Effizienz bietet. In Anbetracht der ähnlichen Funktionen und Zielsetzungen wurde intern beschlossen, den neuen Bauteilmonitor im Menüpunkt "Inspektor" der Menüleiste zu integrieren. Diese Entscheidung zielt darauf ab, die Benutzerfreundlichkeit und Übersichtlichkeit zu verbessern, indem alle relevanten Analysewerkzeuge an einem zentralen Ort zusammengeführt werden.

Die Konfiguration erfolgt, wie in Abb. 10 dargestellt, über die Menüs der Toolbox. Da das Menü eine gewisse Komplexität aufweist, da es in jedem Bereich von ArchiPHYSIK eine andere Struktur aufweist, ist es erforderlich, den neuen Menüpunkt in mehreren Untermenüs zu integrieren. Der neue Menüpunkt wird mit dem Namen "Bauteilmonitor" versehen und mit der entsprechenden Methode (Programmcode 1) zum Öffnen hinterlegt.

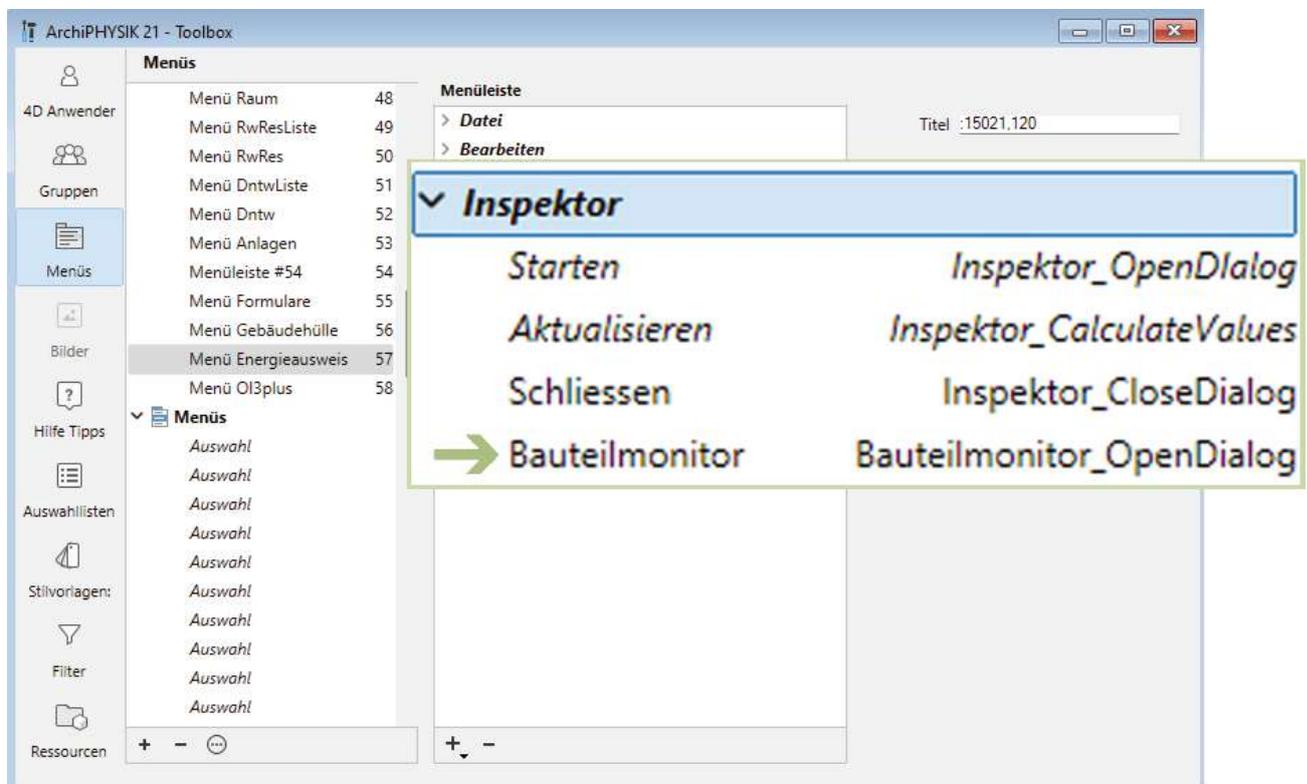


Abb. 10: Bauteilmonitor im Menü platzieren (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

In Ergänzung ist festzuhalten, dass die Komponente "Bauteilmonitor" als eigenständiger neuer Prozess in das Programm implementiert wird. Dies gestattet die spätere separate Ausführung der Anwendung, sowie die Bereitstellung des Codes als Open-Source-Version.

Um dies zu realisieren, wurde die erste Methode "Bauteilmonitor_OpenDialog" (Programmcode 1) geschrieben, die die Methode "Bauteilmonitor_show" (Programmcode 2) aufruft, wenn der Menüpunkt "Bauteilmonitor" angeklickt wird. Diese Methode wurde zudem, wie zuvor beschrieben, im Menüpunkt hinter dem neuen Button zum Aufrufen des Bauteilmonitors im Menü hinterlegt.

```

Case of
: (Form event code=On Clicked) | (Form event code=On Menu Selected)
    Bauteilmonitor_show
End case

```

Programmcode 1: Bauteilmonitor_Open Dialog

Da die Möglichkeit besteht, dass das Fenster des Bauteilmonitors bereits im Hintergrund geöffnet wurde, erfolgt durch die Methode "Bauteilmonitor_show" (Programmcode 2) nicht nur die Öffnung des Fensters des Bauteilmonitors, sondern auch dessen Positionierung im Vordergrund, sofern es bereits geöffnet wurde.

```

If (Not (Bauteilmonitor_IsRunning))
BTMWindow:=Open form window([Inspektor]; "Bauteilmonitor"; Plain form window; *)
SET WINDOW TITLE("Bauteilmonitor"; BTMWindow)
    DIALOG([Inspektor]; "Bauteilmonitor"; *)
Else
BRING TO FRONT(Current process)
End if

```

Programmcode 2: Bauteilmonitor_show

Die hier beschriebene Methode (Programmcode 2) setzt ebenfalls den Fenstertitel auf "Bauteilmonitor". Sobald das Formular mit dem Namen "Bauteilmonitor" gestartet wird, wird die entsprechende Formularmethode aufgerufen.

2.2.4 Prozessablauf

Der Prozess, der durch das Anklicken des Bauteilmonitors initiiert wird, umfasst eine Reihe von internen Vorgängen, die in der folgenden Abb. 11 dargestellt sind.

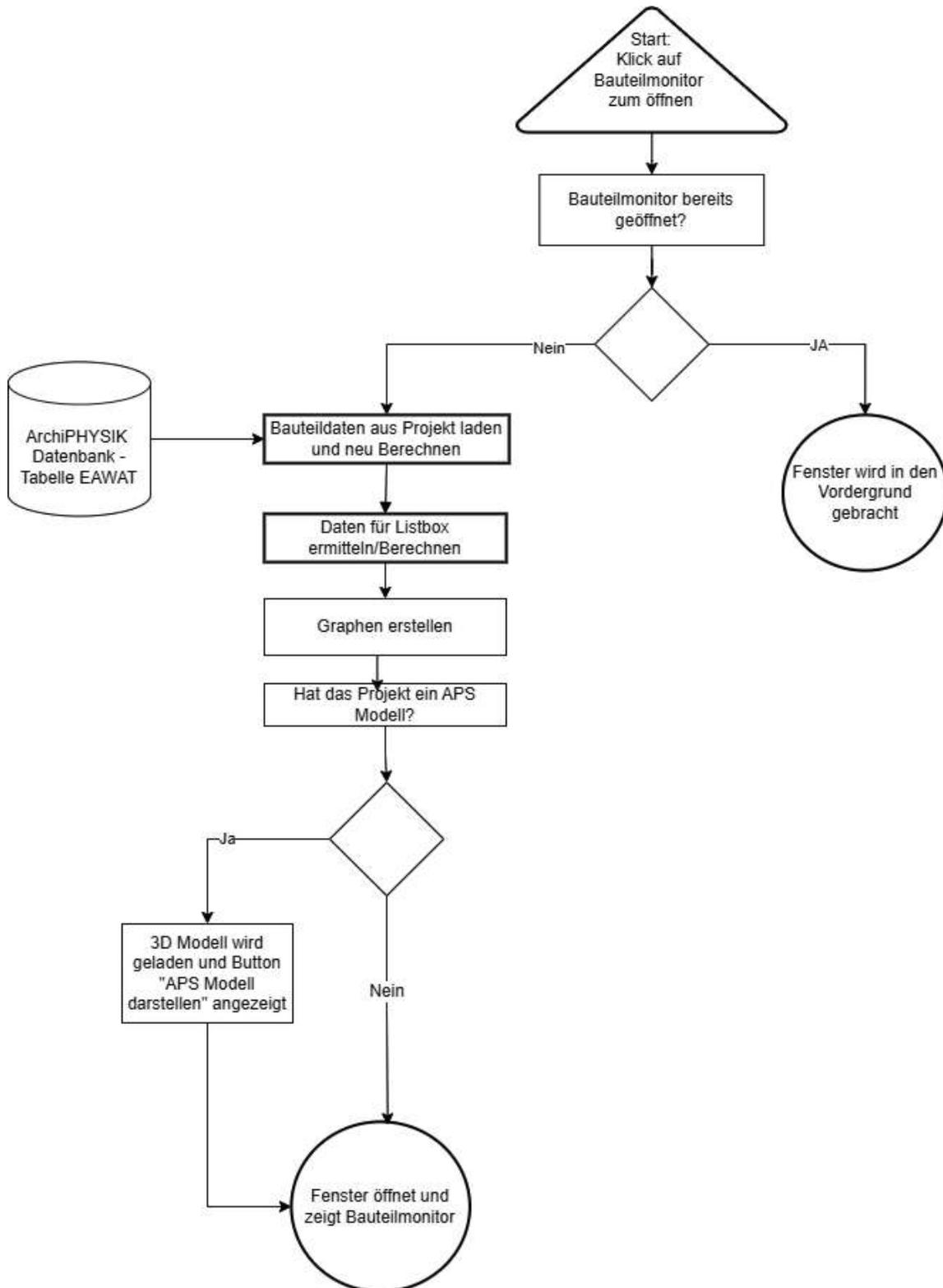


Abb. 11: Prozessablauf beim Starten (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

2.2.5 Gestaltung des Userinterface

Für die Benutzeroberfläche wurde ein neues Formular erstellt. Das neue Formular umfasst, wie in Abb. 12 ersichtlich, zunächst eine Tabelle (1) mit neun Spalten. Die Spalten sind für die Darstellung von Typ, Bauteilnummer, Bezeichnung, U-Wert, Anzahl, Fläche, Korrekturfaktor, Leitwert und Leitwertbalken vorgesehen. Darüber hinaus wurde ein Dropdown-Feld (2) oberhalb der Tabelle integriert, welches eine nach Zonen differenzierte Filterung ermöglichen soll. Ein weiterer Button (3), der die Optik eines Filtersymbols aufweist, ermöglicht die Ausführung von Filtern für die Auswahl von Bauteiltypen, Transparenz und Opazität sowie weiterer Kriterien. In der rechten oberen Ecke befindet sich ein Button (4), der es ermöglicht, das 3D-Modell zu einem späteren Zeitpunkt anzuzeigen. Der Button wird lediglich angezeigt, sofern ein 3D-Modell dem Projekt hinzugefügt wurde. Im unteren Bereich der Tabelle befindet sich ein Platzhalter (5) für die spätere Grafik sowie ein Button (6), der ein

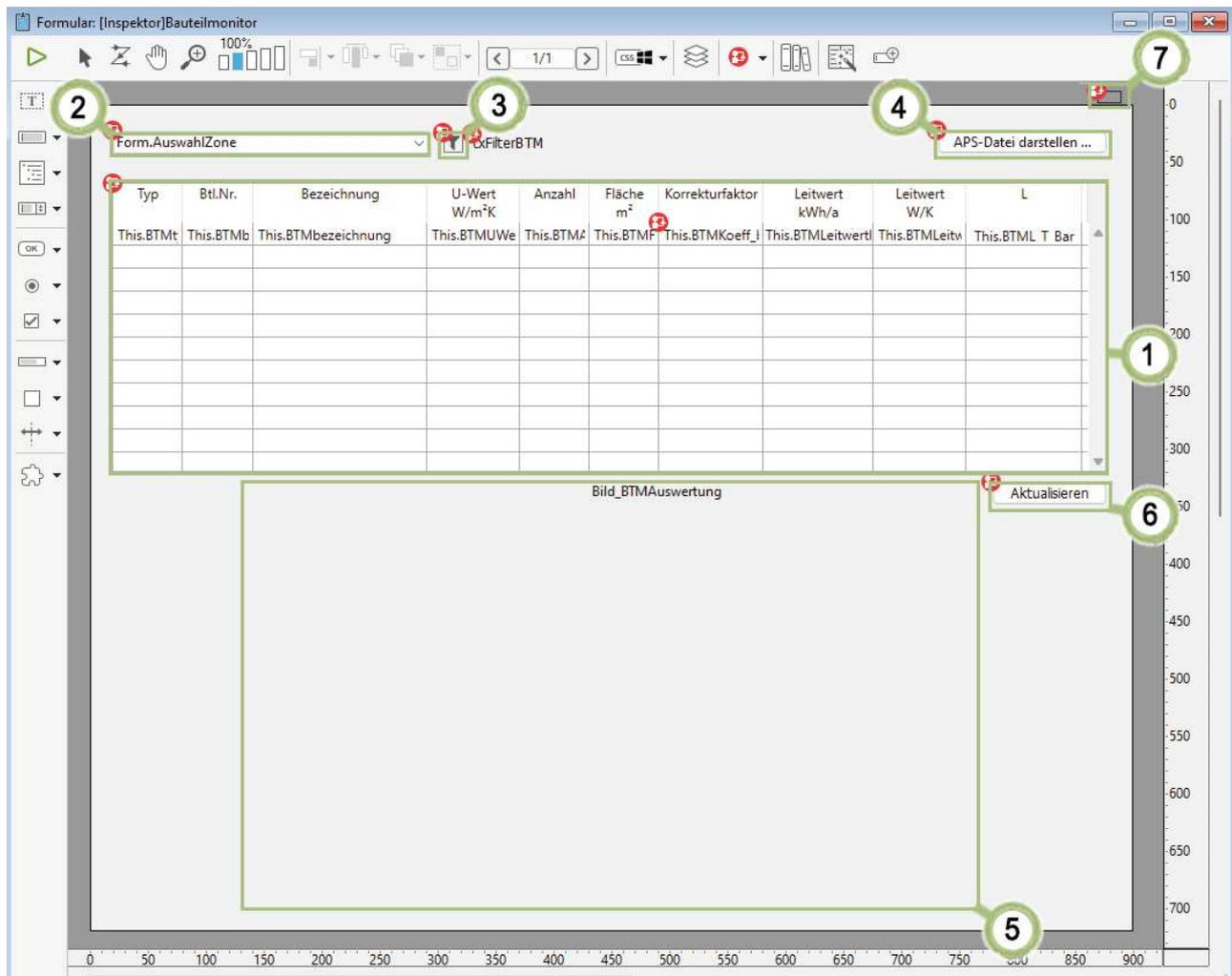


Abb. 12: Bauteilmonitor Developer Ansicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

In der rechten oberen Ecke befindet sich ein Button (4), der es ermöglicht, das 3D-Modell zu einem späteren Zeitpunkt anzuzeigen. Der Button wird lediglich angezeigt, sofern ein 3D-Modell dem Projekt hinzugefügt wurde. Im unteren Bereich der Tabelle befindet sich ein Platzhalter (5) für die spätere Grafik sowie ein Button (6), der ein

Aktualisieren des Fensters bzw. der Daten ermöglicht. Außerhalb des Fensters, also nicht sichtbar für den Anwender, liegt ein weiterer Button (7), der zu einem späteren Zeitpunkt lediglich über eine Tastenkombination (Strg+C) erreichbar ist und das spätere Kopieren der Tabelle über diese Tastenkombination ermöglicht.

2.2.6 Konfiguration des Bauteilmonitors

Im Anschluss an die Erstellung des Userinterfaces, der optischen Komponente, wurden für sämtliche Funktionen eine oder auch mehrere Methoden konzipiert. Diese umfassen beispielsweise die Datenladung, die Durchführung von Berechnungen, sowie die Darstellung von Diagrammen.

2.2.7 Befüllen der Tabelle

Der Prozess des Bauteilmonitors wird initiiert, bevor das Fenster dem Nutzer präsentiert wird. Im Hintergrund werden daraufhin die Daten zum Befüllen geladen. Dazu werden die erforderlichen Daten, wie in Programmcode 3 ersichtlich, mittels ORDA-Methode (Object-Relational Data Access) aus der Tabelle EAWAT anhand ihrer „Project Sequence Number“ geladen und in eine neue Collection geschrieben.

```
$ds_BtFlaechen:=ds.BtFlächen.query("ProjSequNr = :1 and BtFlArt = :2";
[Projekt]ProjSequNr; "EAWAT")

Form.zonenIDs:=$ds_BtFlaechen.distinct("ZoneInd_Inner")

$zonenbezeichnung:=New collection()

$zonenbezeichnung.push("Alle Zonen")
```

Programcode 3: Auszug aus „Bauteilmonitor_Load“

Im Anschluss an die erfolgreiche Sortierung der geladenen Daten nach Bauteilbezeichnung erfolgt deren Aufbereitung für die anstehenden Berechnungen. Nach der Erstellung eines neuen Objekts „bauteilbm“ wird sodann die Befüllung der Tabelle vorgenommen. Dabei werden, wie in Programmcode 4 ersichtlich, der Bauteiltyp, die Bauteilnummer, die Bezeichnung, der U-Wert sowie der Korrekturfaktor wie geladen übernommen und ausgegeben. Bei Vorhandensein mehrerer Bauteile erfolgt eine Addition der Werte für Anzahl und Fläche.

```

bauteilbm.BTMtyp:=$ds_Bauteil[0].BtTyp
bauteilbm.BTMBtNummer:=$nr
bauteilbm.BTMBtNummern:=New collection($nr)
bauteilbm.BTMbtnr:=$ds_Bauteil[0].BtTypNr
bauteilbm.BTMbezeichnung:=$ds_Bauteil[0].Bezeichnung
bauteilbm.BTMUWert:=$ds_Bauteil[0].UWert
bauteilbm.BTMAnzahl:=$ds_Bauteil.sum("Anzahl")
bauteilbm.BTMFläche:=$ds_Bauteil.sum("Fläche")
bauteilbm.BTMKoeff_b:=$ds_Bauteil[0].Koeff_b

```

Programmcode 4: Auszug aus BauteilmonitorLoadLB

Die Berechnung des Leitwerts erfolgt im Gegensatz zur bisherigen Vorgehensweise neu, wie der Programmcode 5 zeigt. Die Berechnung erfolgt durch Multiplikation der Bauteilfläche mit dem U-Wert sowie dem Korrekturfaktor für jeden einzelnen Bauteil. Bei einer Zeile mit mehreren Bauteilen wird jeweils der vorherberechnete Leitwert addiert. Das Ergebnis wird auf zwei Kommastellen gerundet und in das Objekt "bauteilbm.BTMLeitwert" geschrieben, welches schließlich in der Tabelle ausgegeben wird.

```

For each ($BtFlaeche; $ds_Bauteil)
$Leitwert:=$Leitwert+
($BtFlaeche.Fläche*$BtFlaeche.UWert*$BtFlaeche.Koeff_b)
$Leitwert:=Round($Leitwert; 2)
End for each
bauteilbm.BTMLeitwert:=$Leitwert

```

Programmcode 5: Auszug aus "BauteilmonitorLoadLB"

Die Ausgabe der geladenen und berechneten Daten in der Tabelle bzw. Listbox erfolgt nach einer Absteigendsortierung der Bauteile nach dem Leitwert (Programmcode 6).

```

bauteilmonitor:=bauteilmonitor.orderBy("BTMLeitwert desc")

```

Programmcode 6: Auszug aus "Bauteilmonitor_Load"

2.2.8 Umsetzung der Zonenselektion

Beim Laden der Daten mit Programmcode 3 wurden ebenfalls die Zonen aus dem Projekt geladen. Die Bezeichnungen der Zonen werden in eine separate Collection geladen und beim Anzeigen des Fensters gemeinsam als „Alle Zonen“ angezeigt. Durch Auswahl des Dropdown-Menüs werden die einzelnen Zonen-Titel angezeigt und können durch Klick darauf ausgewählt werden.

2.2.9 Umsetzung der Filtermethoden

Im ersten Schritt erfolgt eine Erweiterung der Funktionalität durch die Erstellung zusätzlicher Methoden zum Laden der Daten. In Abhängigkeit vom Filter werden die geladenen Daten korrigiert bzw. variiert. Die aktuell aktive Filtermethode wird in einem Textfeld neben dem Filtersymbol "txFilterBTM" angezeigt. Die Bauteile werden standardmäßig nach Bauteilbezeichnung geladen und dargestellt. Siehe dazu Programmcode 7.

```
txFilterBTM: "... zusammengefasst nach Bauteilbezeichnung"
```

Programmcode 7: Auszug aus "Bauteilmonitor_Load"

Die Erstellung einer geeigneten Methode mit der Bezeichnung "BauteilmonitorLoadChoice2" (Programmcode 8) diente der Anzeige der Bauteile nach Bauteiltyp. Dabei erfolgt die Sortierung der geladenen Daten nicht nach Bauteilbezeichnung, sondern nach Bauteiltyp.

Der Bauteiltyp wird dabei übernommen und entsprechend ausgegeben. Die Bauteilbezeichnung wird durch den Namen des Bauteiltyps ersetzt. Handelt es sich hierbei um Fenster, wird die Summe der Fenster berechnet und ausgegeben. Pro Bauteiltyp wird die Fläche summiert und ein mittlerer U-Wert neu berechnet. Daraus wird dann wiederum ein neuer Leitwert berechnet.

```

$ds_Bauteil:=$ds_BtFlaechen.query("BtTyp = :1"; $BtTyp)

bauteilm:=New object

QUERY ([BtTyp]; [BtTyp]Typ=$BtTyp; *)
QUERY ([BtTyp]; &; [BtTyp]Lokalisierung=[Projekt]Lokalisierung)

bauteilm.BTMtyp:=$ds_Bauteil[0].BtTyp
bauteilm.BTMbtrnr:=$ds_Bauteil.BtTypNr.distinct().join(", ")
bauteilm.BTMbtrnummern:=$ds_Bauteil.BtNummer.distinct()
bauteilm.BTMbezeichnung:=[BtTyp]Bezeichnung
bauteilm.BTMAnzahl:=$ds_Bauteil.sum("Anzahl")
bauteilm.BTMFläche:=$ds_Bauteil.sum("Fläche")
    bauteilm.BTMKoeff_b:=$ds_Bauteil[0].Koeff_b

//Mittl. U-Wert Berechnung
$mittlUwert:=0
For each ($BtFlaeche; $ds_Bauteil)
    $mittlUwert:=$mittlUwert+
        (( $BtFlaeche.Uwert*$BtFlaeche.Fläche) / (bauteilm.BTMFläche))
    $mittlUwert:=Round($mittlUwert; 2)
End for each
bauteilm.BTMUwert:=$mittlUwert

//Leitwert Berechnung
$Leitwert:=0
For each ($BtFlaeche; $ds_Bauteil)
    $Leitwert:=$Leitwert+( $BtFlaeche.Fläche*$BtFlaeche.Uwert*$BtFlaeche.Koeff_b
    )
End for each
$Leitwert:=Round($Leitwert; 2)
bauteilm.BTMLeitwert:=$Leitwert

```

Programmcode 8: Auszug aus "BauteilmonitorLoadChoice2"

Um eine Sortierung der Daten nach den Kriterien "Transparent" und "Opak" zu generieren, wird eine neue Methode, „BauteilmonitorLoadChoice3“ (Programmcode 9), mit einer neuen Collection erstellt. Im Folgenden erfolgt eine Sortierung der geladenen Daten nach Bauteilart. Zu diesem Zweck wird eine If-Schleife eingesetzt, welche eine Abfrage vornimmt, ob der jeweilige Bauteil opak ist oder nicht. Die Ausgabe erfolgt in Form zweier Zeilen, wobei die erste den Bauteiltyp "opak" und die zweite den Bauteiltyp "trans" (für transparent) aufweist. Im Folgenden werden die Bezeichnungen der Bauteile durch die Begriffe "opake Bauteile" und "Fenster" ersetzt. In der Folge werden die Anzahl und Fläche der Bauteile berechnet und in der entsprechenden Spalte ausgegeben. In einem letzten Schritt erfolgt eine Neuberechnung des U-Wertes und des Leitwertes gemäß der zuvor beschriebenen Filtermethode.

```

If ($i=1)

$ds_Bauteil:=$ds_BtFlaechen.query("BauteilArt # 26")

Else

$ds_Bauteil:=$ds_BtFlaechen.query("BauteilArt = 26")

End if

bauteilbm:=New object

bauteilbm.BTMbtnr:=$ds_Bauteil.BtTypNr.distinct().join(", ")

bauteilbm.BTMbtNummern:=$ds_Bauteil.BtNummer.distinct()

If ($i=1)

bauteilbm.BTMbezeichnung:="opake Bauteile"

bauteilbm.BTMtyp:="opak"

Else

bauteilbm.BTMbezeichnung:="Fenster"

bauteilbm.BTMtyp:="trans"

End if

bauteilbm.BTMAnzahl:=$ds_Bauteil.sum("Anzahl")

bauteilbm.BTMFläche:=$ds_Bauteil.sum("Fläche")

```

Programmcode 9: Auszug aus "BauteilmonitorLoadChoice3"

2.2.10 Leitwert-Balkendarstellung

Der Leitwertbalken wird mittels SVG erzeugt, wobei die Länge des Balkens einen direkten Einfluss auf den Leitwert hat. Die Farben der Balken werden durch die im nächsten Schritt erstellten SVG-Diagramme definiert. Bei einer Darstellung von mehr als sieben Bauteilen erfolgt die Darstellung der übrigen Bauteile in der Farbe braun für "Restliche Bauteile".

2.2.11 Erstellen, Manipulieren und Darstellen der Diagramme

In einer weiteren Methode (Programmcode 10) wird der Graph gezeichnet, welcher auf den gegebenen Daten basiert. Zu diesem Zweck wird zunächst die bereits erstellte Collection geladen und anschließend umsortiert, um eine absteigende Sortierung zu erreichen. Die sortierte Collection wird anschließend in ein Array überführt, welches lediglich die Bauteilbezeichnung und den Leitwert beinhaltet.

```
C_COLLECTION($BauteilmonitorKopie)

$BauteilmonitorKopie:=bauteilmonitor.copy()

$BauteilmonitorKopie:=$BauteilmonitorKopie.query("BTMLEitwert > 0")

COLLECTION TO ARRAY($BauteilmonitorKopie; $ArtxAuswertungBTM;
"BTMbezeichnung"; $Leitwert; "BTMLEitwert")
```

Programmcode 10: Auszug aus "Bauteilmonitor_Graph"

Im Anschluss wurde der Graph mit dem Typ 7 erstellt, welcher dem Typ Tortendiagramm entspricht. Dazu wurde, wie im Programmcode 11 ersichtlich, die in 4D eingebaute SVG-Rendering-Engine verwendet.

Die nötigen Diagrammeigenschaften wie Schriftgröße, Höhe, Breite, Abstände und vieles mehr wurden mittels OB SET vergeben. Da beim Pie-Diagramm lediglich acht "Tortenstücke" eingefügt werden können, ist eine zusätzliche Überprüfung der Anzahl der Bauteile im Array erforderlich. Dabei wird festgelegt, dass alle Bauteile mit einer Anzahl von über sieben als "restliche Bauteile" ausgewiesen werden sollen.

```

    If (Size of array($ArtxAuswertungBTM)>0)
OBJECT SET VISIBLE(*; "Bild_BTMAuswertung"; True)
OB SET($BTMgraphsettings; Graph type; 7)
    $summe:=0
    If (Size of array($ArtxAuswertungBTM)>8)
For ($i; 8; Size of array($ArtxAuswertungBTM))
        $summe:=$summe+$Leitwert{$i}
    End for
ARRAY TEXT($ArtxAuswertungBTM; 8)
ARRAY REAL($Leitwert; 8)
    $ArtxAuswertungBTM{8}:="Restliche Bauteile"
    $Leitwert{8}:=$summe
End if

//Diagrammeigenschaften
OB SET($BTMgraphsettings; Graph pie font size; 15)
OB SET($BTMgraphsettings; Graph legend icon height; 0)
OB SET($BTMgraphsettings; Graph legend icon width; 0)
OB SET($BTMgraphsettings; Graph font size; 20)
OB SET($BTMgraphsettings; Graph pie shift; 20)
OB SET($BTMgraphsettings; Graph document background opacity; "0")
GRAPH(Bild_BTMAuswertung; $BTMgraphsettings; $ArtxAuswertungBTM; $Leitwert)

```

Programmcode 11: Auszug aus "Bauteilmonitor_Graph"

Da die Funktion OB SET nicht alle gewünschten Einstellungen ermöglicht, wird das SVG zunächst mittels DOM EXPORT TO VAR in seine einzelnen Elemente zerlegt. Anschließend erfolgt eine direkte Manipulation des Codes, um den Hintergrund auf unsichtbar zu setzen und die Schattenwirkung des Diagramms zu deaktivieren. Das neu manipulierte SVG wird schließlich mittels SVG EXPORT TO PICTURE gespeichert und auf dem Formular dargestellt (Programmcode 12).

```

$SVG:=SVG_Open_picture (Bild_BTMAuswertung)

DOM EXPORT TO VAR ($SVG; $svgtext)

//Hintergrund ausgeblenden

C_TEXT ($svgbackground)

$svgbackground:=DOM Find XML element by ID ($SVG; "ID_background")

DOM SET XML ATTRIBUTE ($svgbackground; "visibility"; "hidden")

//Hintergrund Schatten ausblenden

C_TEXT ($svgbackgroundshadow)

$svgbackgroundshadow:=DOM Find XML element by ID ($SVG;
"ID_background_shadow")

DOM SET XML ATTRIBUTE ($svgbackgroundshadow; "visibility"; "hidden")

//Restliche Bauteile Label festlegen

If (Size of array ($ArtxAuswertungBTM)=8)

  If (($ArtxAuswertungBTM{8})="Restliche Bauteile")

    C_TEXT ($svgLabel8)

    C_TEXT ($svgLabel8G1)

    C_TEXT ($svgLabel8grey)

    C_TEXT ($svgLabel8white)

    $svgLabel8:=DOM Find XML element by ID ($SVG; "ID_pie_label_8")

    $svgLabel8G1:=DOM Get first child XML
    element ($svgLabel8)

    $svgLabel8grey:=DOM Get first child XML
    element ($svgLabel8G1)

    DOM SET XML ELEMENT VALUE ($svgLabel8grey; "Restliche Bauteile")

    $svgLabel8white:=DOM Get next sibling XML element ($svgLabel8grey)

    DOM SET XML ELEMENT VALUE ($svgLabel8white; "Restliche Bauteile")

  End if

End if

SVG EXPORT TO PICTURE ($SVG; Bild_BTMAuswertung)

```

Programmcode 12: Auszug aus "Bauteilmonitor_Graph"

2.2.12 CAD-Verbindung schaffen

Die Funktionalität des Buttons zum Darstellen des CAD-Modells wird um eine Objektmethode erweitert. Beim Klick auf den Button „APS-Datei darstellen...“ im Bauteilmonitor wird die bereits in ArchiPHYSIK existierende Methode zum Darstellen des CAD-Modells aufgerufen. In der Folge wird der APS-Viewer, welcher sich innerhalb der Anwendung befindet, aufgerufen und dessen Prozess bzw. Fenster in den Vordergrund gebracht. Sofern das Fenster bereits geöffnet ist, erfolgt lediglich eine Positionierung im Vordergrund.

Die Erstellung einer weiteren Objekt-Methode (Programmcode 13) für die Listbox ist erforderlich, um die Auswahl und Anzeige von Bauteilen in einem 3D-Modell zu ermöglichen.

Jedem importierten Bauteil aus einem CAD-Modell ist eine sogenannte GUID³ zugewiesen, welche mit den Bauteilen aus der eigentlichen Collection verknüpft wird. Dies ermöglicht die Anzeige der jeweiligen Bauteile im CAD-Modell durch einen Klick auf eine Zeile in der Tabelle.

```

For each ($BtFlächen_Teilstück; $BtFlächen_Bauteil)

  $btFlächen_GL:=ds.BtFlächen.query("ProjSequNr= :1 & BtFlArt= :2 &
  Gebh_lfdNummer= :3"; $BtFlächen_Teilstück.ProjSequNr; "GL";
  $BtFlächen_Teilstück.Gebh_lfdNummer).first()

  If ($BtFlächen_Teilstück.BauteilArt#26)
    QUERY ([FlächenEditor];
    [FlächenEditor]ProjSequNr=$btFlächen_GL.ProjSequNr; *)
    QUERY ([FlächenEditor]; [FlächenEditor]BtFlArt="GL"; *)
    QUERY ([FlächenEditor];&[FlächenEditor]BtFlSequNr=
    $btFlächen_GL.BtFlSequNr)
    FIRST RECORD ([FlächenEditor])
    For ($FlEd; 1; Records in selection ([FlächenEditor]))
      If ([FlächenEditor]AC_UniqueGUID#"")
        $ac_guids_to_show.push([FlächenEditor]AC_UniqueGUID)

```

³ „Globally Unique Identifiers, kurz GUIDs, werden in der BIM-Technologie zur eindeutigen Kennzeichnung von Objekten und Attributen verwendet“ (bimpedia.eu, 2024).

```

Else
    $ac_guids_to_show.push([FlächenEditor]Bemerkung)

End if

NEXT RECORD ([FlächenEditor])

End for

Else

If ($BtFlächen_Teilstück.ACP_Herkunft#")
    $obj_FensterHerkunft:=JSON Parse
($BtFlächen_Teilstück.ACP_Herkunft)

If (Not(OB Is empty($obj_FensterHerkunft)))
    $colFenster:=$obj_FensterHerkunft.Fenster

For each ($Fenster; $colFenster)

    If(OB Is defined($Fenster; "AC_UniqueGUID"))
$ac_guids_to_show.push($Fenster.AC_UniqueGUID)

    Else

$ac_guids_to_show.push($Fenster.AC_Listing_ID)

    End if

End for each

End if

End if

```

Programmcode 13: Auszug aus Objekt-Methode "[Inspektor].Bauteilmonitor.List Box"

2.2.13 Gestaltung der Ausdrucke

Im Rahmen der Erstellung der Druckformulare wurde ein neues Druck-Formular in 4D entwickelt. Das Druck-Formular beinhaltet, wie in Abb. 13 ersichtlich, einen Platzhalter (1) für die SVG-Grafik (Graph) sowie eine Tabelle mit einer Zeile, die mit festen Texten als Überschrift (2) gefüllt ist und Variablen (3), die zu einem späteren Zeitpunkt zeilenweise mittels Code gefüllt werden.

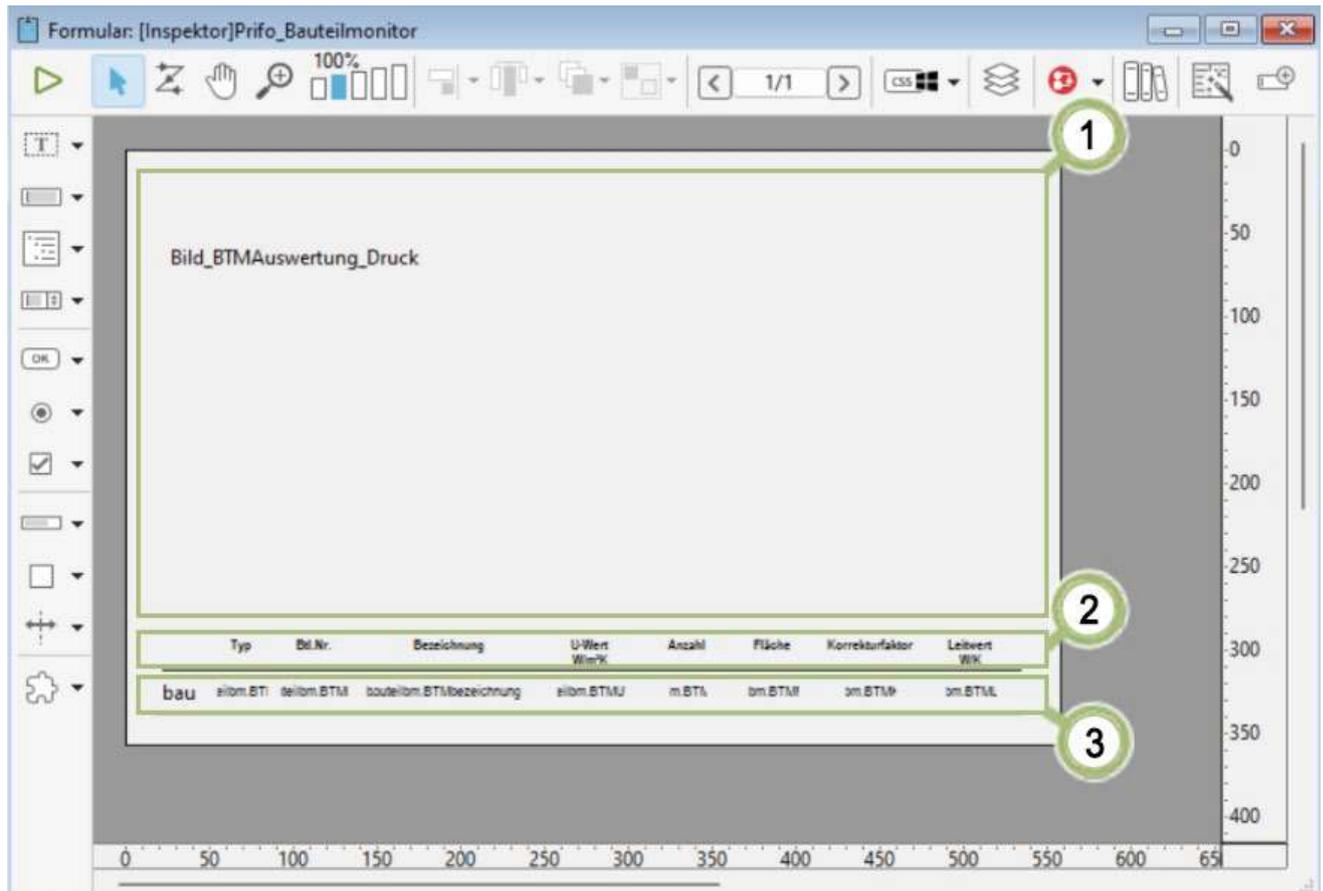


Abb. 13: Druck-Formular Developer Ansicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Des Weiteren wurde eine Methodik für die Erstellung einer Überprüfung entwickelt, welche zunächst abfragt, welches Formular gedruckt wird, d. h. welche Filtervariante verwendet wird. Zu diesem Zweck wird jedem Formular eine eindeutige Nummer im Programm zugewiesen.

Wie in Programmcode 14 dargestellt, erfolgt die Nummerierung der Formulare wie folgt:

426: ... Zusammengefasst nach Bauteilbezeichnung

433: ... Zusammengefasst nach Bauteil-Typ

434: ... Zusammengefasst Opak und Transparent

```

Case of

: ([Formulare]FormNr=426)

txFormular_Titel:="Bauteilmonitor Auswertung - Zusammengefasst nach
Bauteilbezeichnung"

txFormular_Bezeichnung:=[Projekt]PTitel

: ([Formulare]FormNr=433)

txFormular_Titel:="Bauteilmonitor Auswertung - Zusammengefasst nach Bauteil-Typ"

txFormular_Bezeichnung:=[Projekt]PTitel

: ([Formulare]FormNr=434)

txFormular_Titel:="Bauteilmonitor Auswertung - Zusammengefasst Opak und Transparent"

txFormular_Bezeichnung:=[Projekt]PTitel

End case

```

Programmcode 14: Auszug aus "Bauteilmonitor_PriFo"

Die aufgerufene Methode ist abhängig vom jeweiligen gewählten Formular. Sie ist auch für das Füllen des Bauteilmonitors verantwortlich. Für das Erstellen und Einfügen des Graphen wurde eine neue Graph-Print-Methode erstellt. Diese ist erforderlich, da das zu druckende SVG zusätzliche Manipulationen im SVG-Code erfordert. Am Ende der neuen Methode werden die Farben automatisch aus dem SVG ausgelesen und in die erste Tabellenspalte eingefügt. Dies dient einer erleichterten Lesbarkeit.

2.3 Integration neuer Berechnungsmethode der Transmissionswärmeverluste

2.3.1 Herleitung der Berechnungsmethode

In ArchiPHYSIK wurde bisher keine entsprechende Berechnung verwendet, sodass die Herleitung auf Basis der Formeln aus Punkt 1.4.8 erfolgt. Der Transmissionsleitwert in Watt pro Kelvin eines Bauteils wird mit den Heizgradtagen des Projekts multipliziert. Um das Ergebnis in Kilowatt umzurechnen, wird das Ergebnis mit 24/1000 multipliziert (Formel 15).

$$L_{Tneu} = \frac{24}{1000} \cdot L_T \cdot HGT$$

Formel 15: LT neue Berechnungsmethode in kWh/a (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

L_{Tneu} ... Transmissionswärmeverlust eines Bauteils in kWh/a

24 ... Tage/Monat

1000 ... Watt zu KW

L_T ... Transmissionsleitwert W/K

HGT ... Heizgradtage in Kd

Die Integration der Heizgradtage in die Berechnung führt zu einer Kennzahl, die neben den klimaunabhängigen Faktoren auch die Außentemperatur pro Monat berücksichtigt. Dadurch soll die Aussagekraft der Berechnung verbessert werden.

2.3.2 Überprüfung der Berechnung

Zur Evaluierung der neu integrierten Berechnungsmethode wird wie folgt vorgegangen: Zunächst werden die Gesamtverluste (Q_T) des für die Diplomarbeit vorbereiteten Testprojekts angezeigt. Anschließend erfolgt eine Aufteilung dieser Verluste, im Verhältnis der Leitwerte in W/K, auf alle Bauteile. Es wird erwartet, dass das Resultat pro Bauteil in einer vergleichbaren Größenordnung liegt wie bei L_{Tneu} .

2.3.3 Integration in den Bauteilmonitor

Im Rahmen der neuen Berechnung werden die Ergebnisse, wie in Abb. 14 ersichtlich, in einer zusätzlichen Spalte (1) in der Tabelle des Bauteilmonitors dargestellt. Die Berechnung selbst wird in die jeweiligen Methoden integriert, direkt unter der Berechnung des Leitwerts nach Watt pro Kelvin. Dies ist an mehreren Stellen bzw. in mehreren Methoden erforderlich, da die neue Berechnung auch für jede Filter- und Zonierungsmöglichkeit angeboten werden soll.

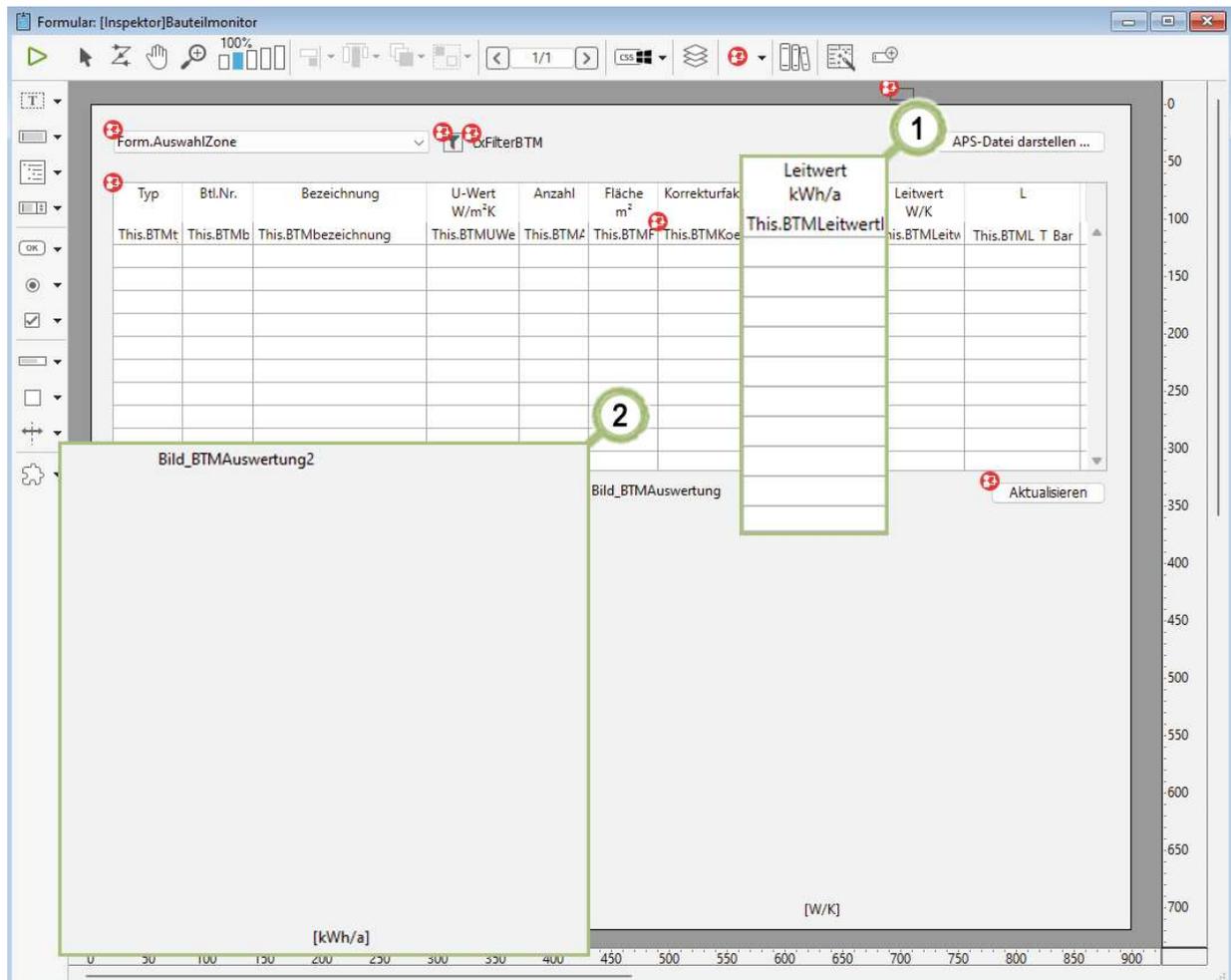


Abb. 14: Userinterface mit neuer Berechnungsspalte und neuem Bild für Graphen (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Im nächsten Schritt wird ein neuer Graph (2) im Bauteilmonitor-Formular eingefügt, der die Ergebnisse der neuen Berechnung als Stapeldiagramm ausgeben soll. Dazu wird eine neue Methode angelegt, die für jedes Ergebnis jedes Bauteils ein Array anlegt und daraus das Stapeldiagramm als SVG erstellt. Auch dieses SVG wird von mir so manipuliert, dass es optisch neben dem anderen Diagramm zur Geltung kommt.

Infolge der Einfügung des Leitwerts nach kWh/a vor dem Leitwert in K/W in der Tabelle wurde eine Verschiebung des bestehenden Diagramms nach rechts erforderlich, um die Lesbarkeit des neuen Diagramms auf der linken Seite zu optimieren.

Auch die Ausdrucke wurden entsprechend angepasst und ergänzt. Wie in Abb. 15 ersichtlich wurde das bisherige Diagramm nach rechts verschoben, sodass das neue Diagramm (1) für den Transmissionsleitwert nach kWh/a links daneben eingefügt werden konnte. In die Tabelle wurde ebenfalls der neue Wert (2) mit Überschrift und Ausdrucksvariable ergänzt.

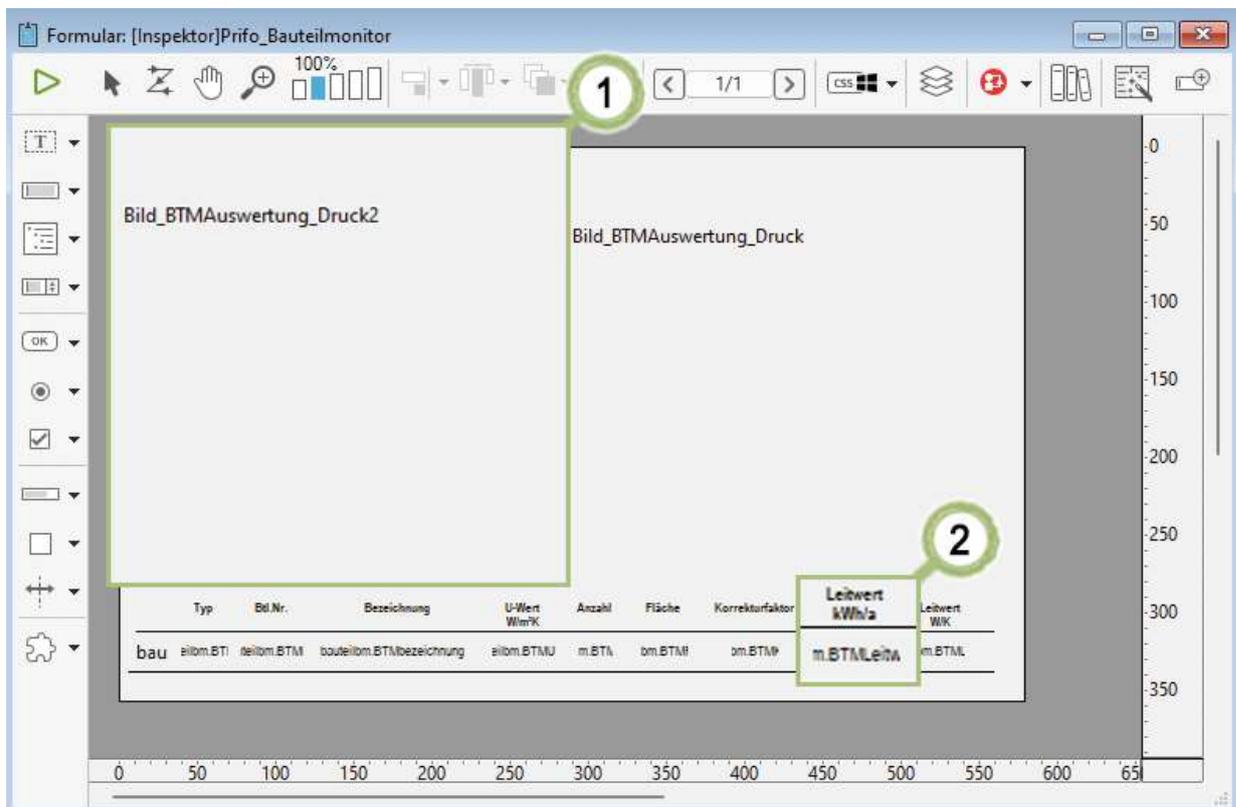


Abb. 15: Druckformular mit neuem Graph und neuer Spalte (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

2.4 Erstellung des Beispielprojekts

Im vorliegenden Abschnitt erfolgt eine Erläuterung zur Erstellung des Beispielprojekts, auf dessen Basis im späteren Kapitel die Resultate des Bauteilmonitors präsentiert werden. Der Workflow umfasst die Modellierung des Gebäudes in SketchUp⁴ (Trimble Inc), die Zuweisung von Bauteil- und Zonenfarben, den Export, sowie der Import und die Anpassung der Bauteile in ArchiPHYSIK.

2.4.1 Gebäudes in SketchUp erstellen

Der erste Schritt des Vorgehens besteht in der Erstellung eines digitalen Gebäudemodells in SketchUp (Abb. 16). Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes erfolgt die Modellierung der relevanten Strukturen des Gebäudes, welche als Grundlage für die energetische Berechnung in ArchiPHYSIK dienen.

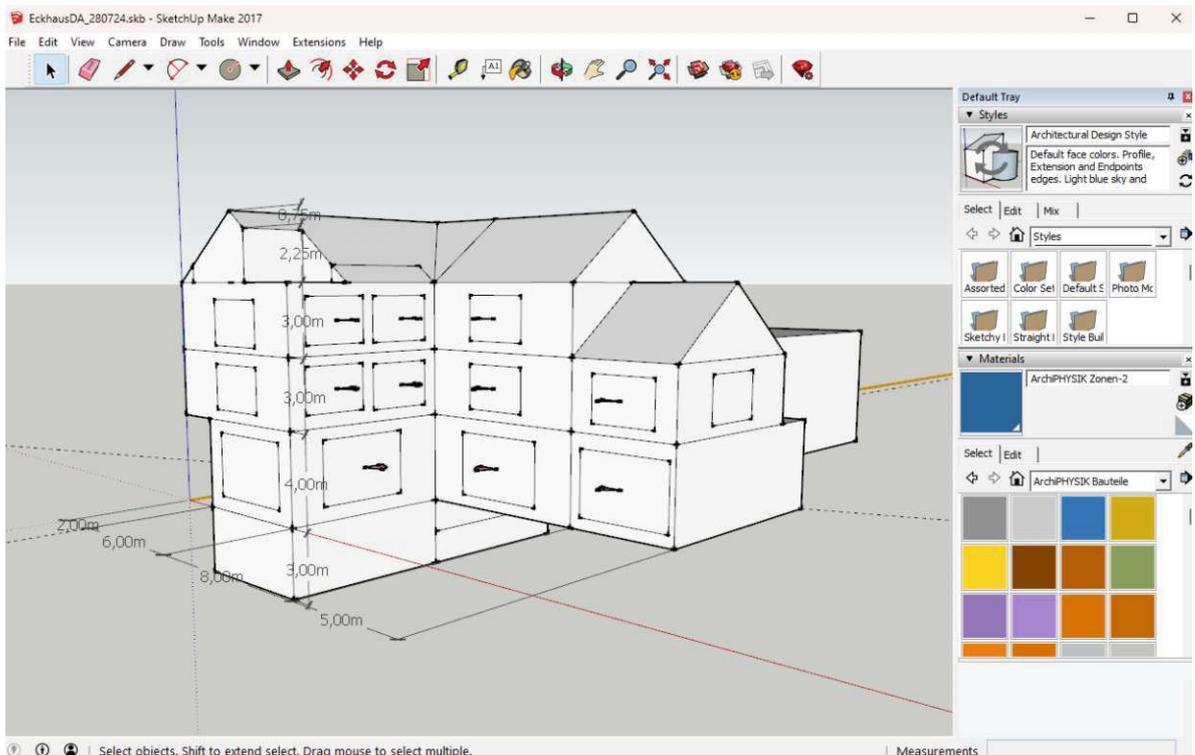


Abb. 16: CAD-Modell in SketchUp - Standard Ansicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

⁴ SketchUp ist eine Software, die die Erstellung von dreidimensionalen Modellen ermöglicht. Sie besticht insbesondere durch ihre Benutzerfreundlichkeit sowie eine effiziente Arbeitsweise (Trimble Inc).

2.4.2 Zuweisung von Bauteil- und Zonenfarben

Um die Bauteile und Zonen des Gebäudes für ArchiPHYSIK vorzubereiten, erfolgt im nächsten Schritt die farbliche Kennzeichnung der einzelnen Elemente. Den Bauteilen (Abb. 17) werden spezifische Farben zugeordnet, um die verschiedenen Bauteiltypen zu definieren, nach denen später im Bauteilmonitor gefiltert werden kann.

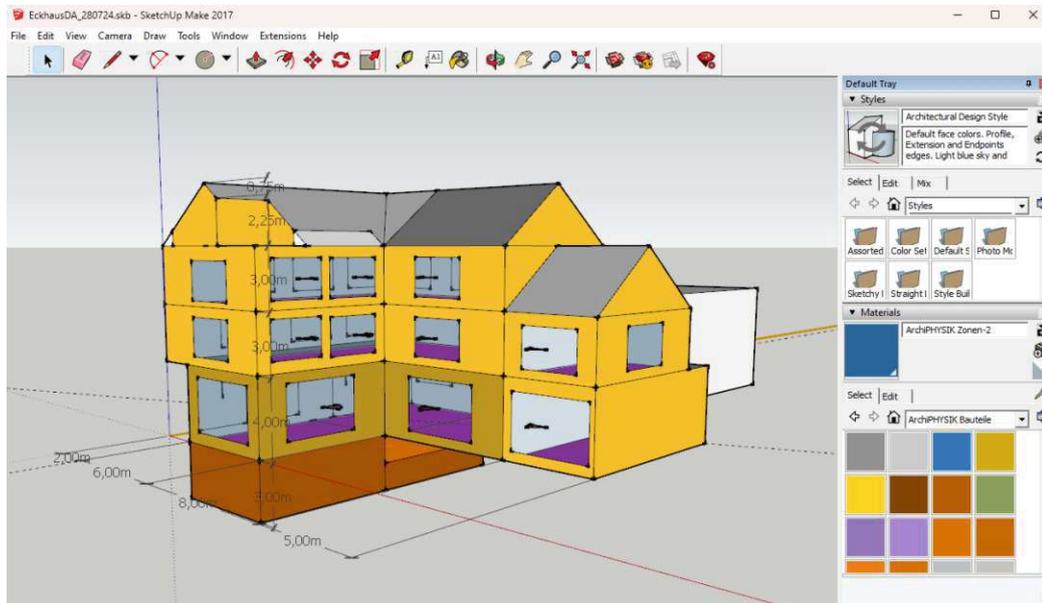


Abb. 17: SketchUp Bauteilansicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Des Weiteren erfolgt die Vergabe von Farben für die verschiedenen Zonen (Abb. 18), um eine spätere Zuordnung von ArchiPHYSIK zu gewährleisten. Die Erstellung der Zonen erfolgt ebenfalls mit dem Ziel, die dazu passende Zonenselektion im Bauteilmonitor in den Resultaten veranschaulichen zu können.

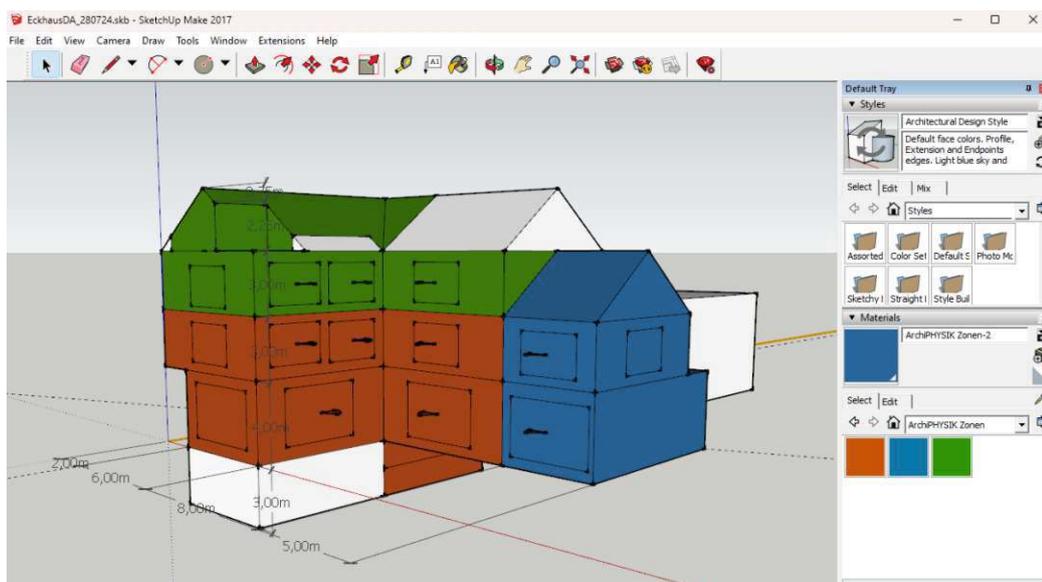


Abb. 18: SketchUp Zonenansicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Bei der Farbgebung ist zu beachten, welche Bauteile von welcher Seite markiert werden, die Zuordnung der Farben ist in der Abb. 19 erläutert.

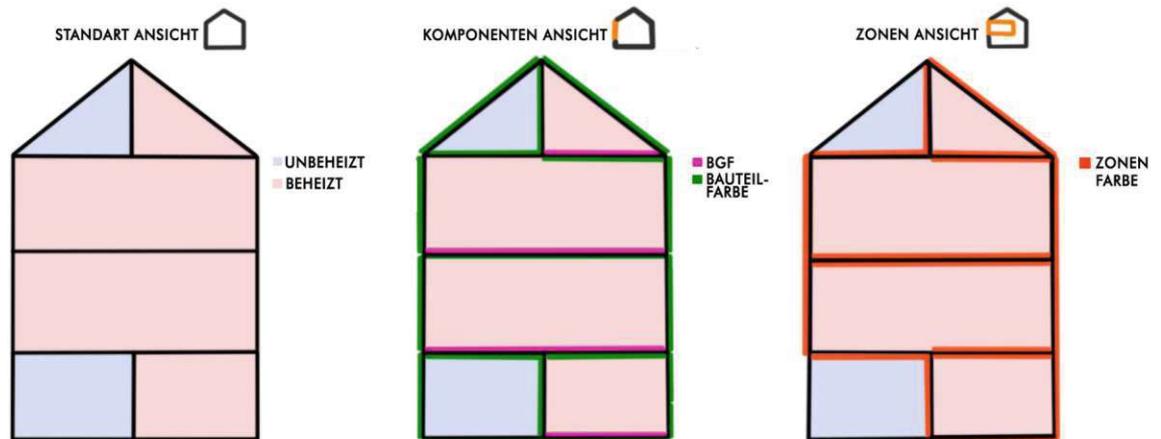


Abb. 19: Erläuterung Einfärbung von Bauteilen in SketchUp (Erstellt von Autorin im Rahmen eines Webinars für A-NULL Development)

2.4.3 Export aus SketchUp

Nachdem das Gebäude vollständig modelliert und mit Farben versehen wurde, wird es aus SketchUp (Trimble Inc) exportiert (Abb. 20). Der Export erfolgt im .aps Format, wie bereits im Kapitel 1.5.2 erklärt.

Anz.	Bauteilfarbe	Fläche
10	BGF-ArchiPHYSIK	788,00
5	Innendecke	530,00
3	Decke gg unbeh Dachraum	85,00
8	Außendach hinterlüftet	191,50
2	Bodenplatte bis 1,5m	114,00
1	Decke ü Durchfahrt	32,00
1	Decke gg Keller	48,00
1	Bodenplatte ab 1,5m	48,00
23	Außenwand hinterlüftet	387,90
5	Außenwand	134,71
4	Wand gg unbeh Dachraum	27,75
4	Erb. Wand bis 1,5m	51,00
3	Erb. Wand ab 1,5m (2)	33,00
29	Glas	205,39

Optionen: Selbstverschattung Fremdverschattung

ArchiPHYSIK

Abb. 20: Export Dialog in SketchUp (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

2.4.4 Neues Projekt in ArchiPHYSIK erstellen

In ArchiPHYSIK wird ein neues Projekt angelegt, in das das exportierte Gebäudemodell integriert werden soll. Dabei werden die Projektparameter, im Bereich „Projekt“ (Abb. 21), wie z.B. die Adresse für die Klimabedingungen, sowie die Berechnungsgrundlage durch Festlegung der Lokalisierung und des Zwecks definiert.

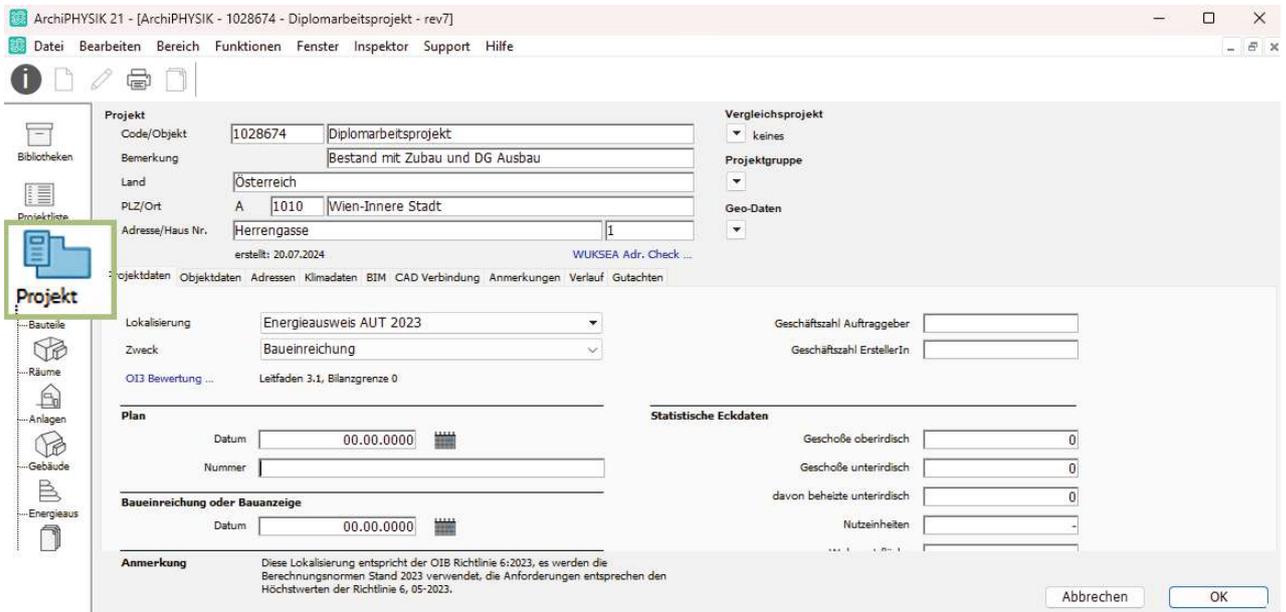


Abb. 21: Neues ArchiPHYSIK Projekt (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

2.4.5 CAD-Import in ArchiPHYSIK

Im Anschluss erfolgt der Import der exportierten APS-Datei aus SketchUp (Trimble Inc) in ArchiPHYSIK. Dazu ist es erforderlich, im Projekt in den Reiter "CAD-Verbindung" zu wechseln und anschließend den Button "Wählen..." zu betätigen (Abb. 22).

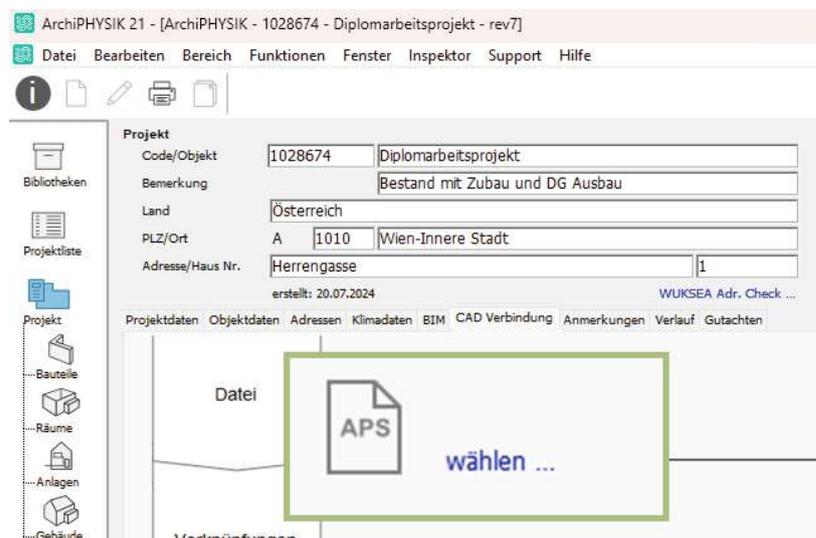


Abb. 22: APS Modell wählen (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Im Folgenden werden die importierten Bauteile sowie Zonen einer Überprüfung unterzogen. Durch Betätigen der Schaltfläche "Übertragen" (Abb. 23) werden die selektierten Elemente schließlich in das Projekt übertragen.

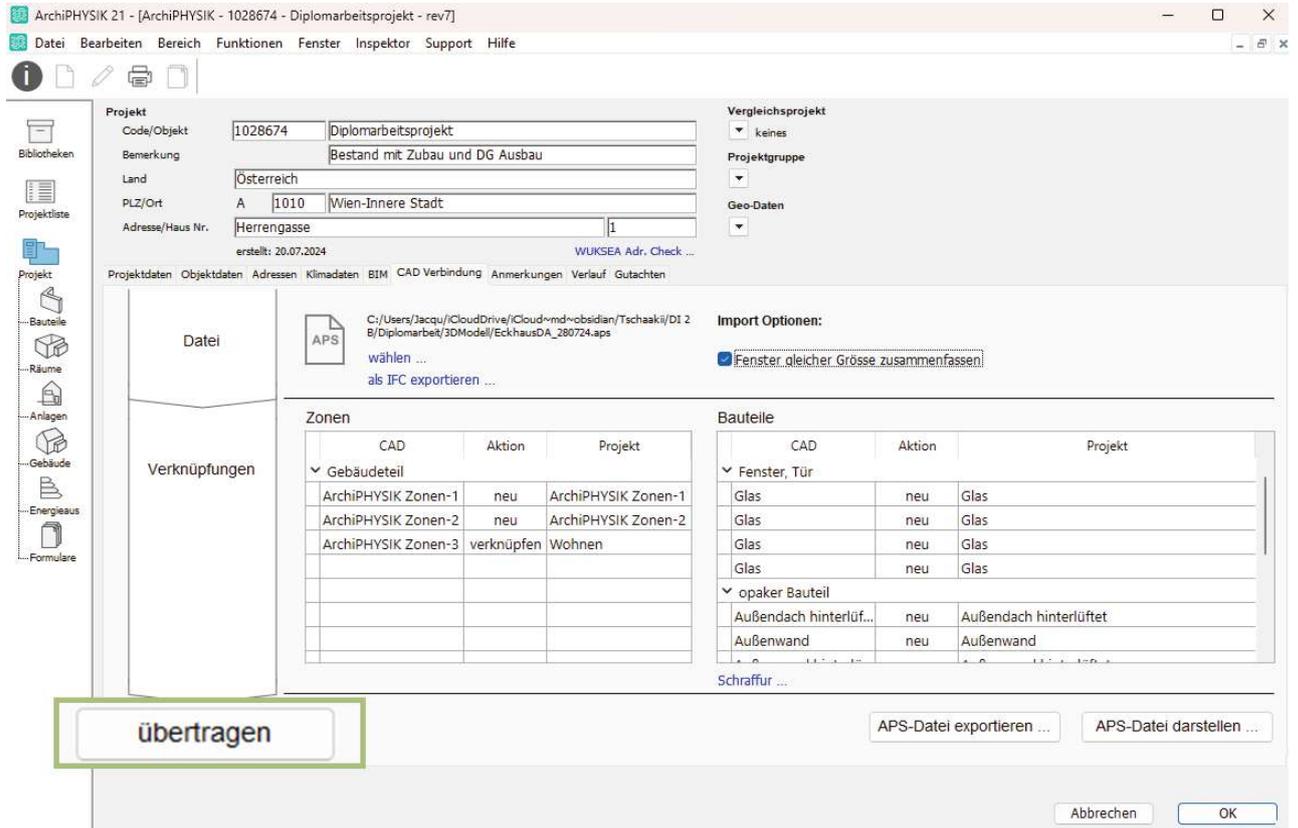
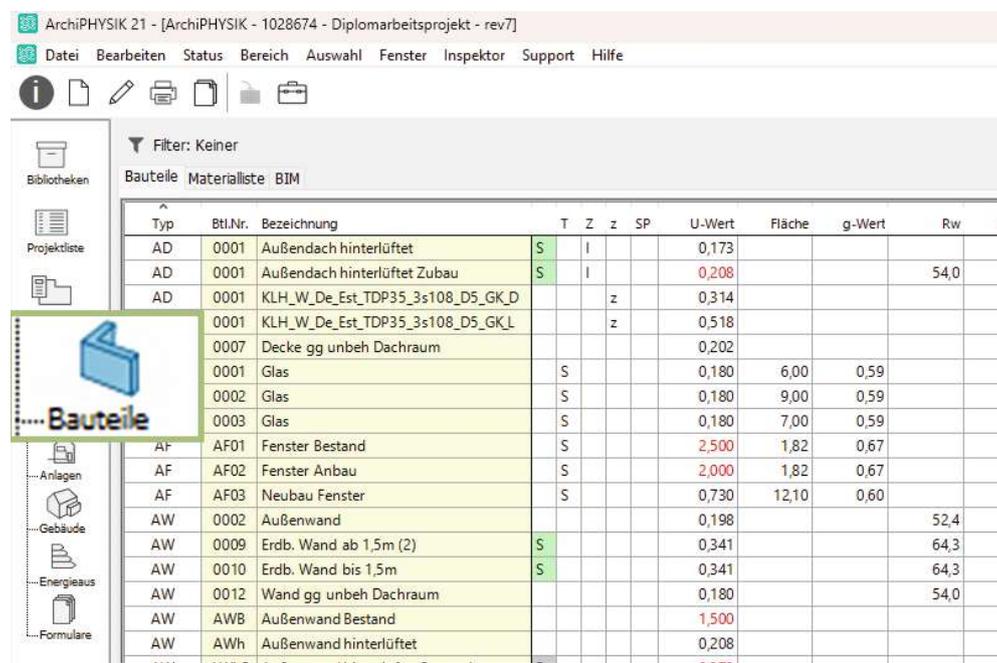


Abb. 23: Bauteile Übertragen (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

2.4.6 Bauteile anpassen und ergänzen

Im Anschluss an die Übertragung erfolgt ein Wechsel in den Bereich der Bauteile (Abb. 24), wo diese mit Schichten bzw. daraus resultierenden bauphysikalischen Eigenschaften versehen werden. Dadurch wird gewährleistet, dass jeder Bauteil einen U-Wert aufweist, der in weiterer Folge im Bauteilmonitor angezeigt wird bzw. für die Berechnung des Leitwerts herangezogen wird.

Des Weiteren wird der Einsatz einer Vielzahl unterschiedlicher Bauteilarten in den diversen Zonen angestrebt, um im Anschluss eine breitere Palette an Filtermöglichkeiten für die Resultate zu haben.



ArchiPHYSIK 21 - [ArchiPHYSIK - 1028674 - Diplomarbeitprojekt - rev7]

Datei Bearbeiten Status Bereich Auswahl Fenster Inspektor Support Hilfe

Filter: Keiner

Bauteile Materialliste: BIM

Typ	Btl.Nr.	Bezeichnung	T	Z	z	SP	U-Wert	Fläche	g-Wert	Rw	L
AD	0001	Außendach hinterlüftet	S	I			0,173				
AD	0001	Außendach hinterlüftet Zubau	S	I			0,208			54,0	
AD	0001	KLH_W_De_Est_TDP35_3s108_D5_GK_D			z		0,314				
	0001	KLH_W_De_Est_TDP35_3s108_D5_GK_L			z		0,518				
	0007	Decke gg unbeh Dachraum					0,202				
	0001	Glas	S				0,180	6,00	0,59		
	0002	Glas	S				0,180	9,00	0,59		
	0003	Glas	S				0,180	7,00	0,59		
AF	AF01	Fenster Bestand	S				2,500	1,82	0,67		
AF	AF02	Fenster Anbau	S				2,000	1,82	0,67		
AF	AF03	Neubau Fenster	S				0,730	12,10	0,60		
AW	0002	Außenwand					0,198			52,4	
AW	0009	Erdb. Wand ab 1,5m (2)	S				0,341			64,3	
AW	0010	Erdb. Wand bis 1,5m	S				0,341			64,3	
AW	0012	Wand gg unbeh Dachraum					0,180			54,0	
AW	AWB	Außenwand Bestand					1,500				
AW	AWh	Außenwand hinterlüftet					0,208				

Abb. 24: ArchiPHYSIK Bereich Bauteile (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Nach vollständiger Eingabe der Bauteile kann der Bauteilmonitor geöffnet werden, um die Ergebnisse zu betrachten. Eine detaillierte Erläuterung der Funktionen sowie eine Anleitung zu deren Anwendung erfolgt in Kapitel 3.

3 RESULTATE

3.1 Überblick

Die zentralen Ziele der Arbeit, die Identifizierung und Visualisierung von energieineffizienten Bauteilen, sowie die Integration einer neuen Berechnungsmethode für Transmissionswärmeverluste, konnten erfolgreich erreicht werden. Die Integration des Bauteilmonitors in die Software ArchiPHYSIK ist erfolgreich abgeschlossen worden. Die Resultate der Arbeit am Bauteilmonitor werden anhand des im Kapitel 2.4 erstellten Beispielprojekts präsentiert und erörtert. Das untersuchte Wohngebäude umfasst, wie in Abb. 25 ersichtlich, ein Bestandsgebäude (orange), einen jüngeren Anbau (blau), sowie ein neu ausgebautes Dachgeschoss (grün). Die Analyse ermöglicht eine Bewertung der Bauteilverbesserungen im Laufe der Zeit, sowie die Identifikation von potenziellen Energieverschwendern im Gebäude. Dabei werden die Unterschiede in den Transmissionsverlusten nach kWh/a in den verschiedenen Zonen ersichtlich, da sich die Heizgradtage je nach Zone unterscheiden und somit ein Unterschied zum Leitwert in K/W entsteht. Die Überprüfung der neu hergeleiteten Berechnung der Transmissionsverluste in kWh/a erfolgt ebenfalls unter Zuhilfenahme der Bauteile des Musterprojekts, deren Ergebnisse am Ende des Kapitels dargelegt werden.

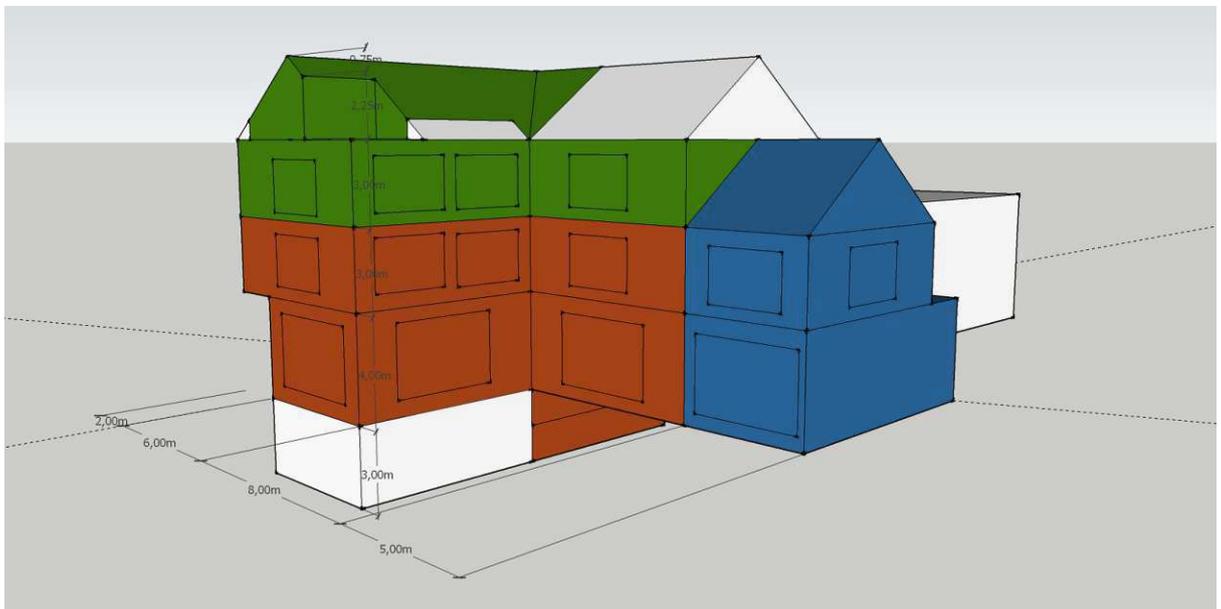


Abb. 25: Beispiel Gebäude Überblick (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

3.2 Funktionalität

3.2.1 Initiierung des Bauteilmonitors

Sobald ein Projekt in der Projektliste von ArchiPHYSIK geöffnet wurde, kann der Bauteilmonitor zu jedem Zeitpunkt und von jedem Bereich aus gestartet werden. Der Aufruf erfolgt über die Auswahl des Menüpunkts "Inspektor" und anschließend des Untermenüpunkts "Bauteilmonitor" in der Menüleiste (Abb. 26).



Abb. 26: Starten des Bauteilmonitors (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

In Übereinstimmung mit der Beschreibung des Prozessablaufs nach dem Start im Punkt 2.2.4 wird nun das Fenster des Bauteilmonitors gestartet, die Daten geladen und dem Nutzer angezeigt.

3.2.2 Beschreibung des Userinterfaces

Bei der Konzeption des Userinterfaces wurde besonderer Wert auf eine einfache und übersichtliche Gestaltung gelegt, um eine intuitive Bedienung zu ermöglichen.

Im Zentrum der Anwendung (Abb. 27) befindet sich eine übersichtliche Tabelle, welche alle relevanten Kennwerte der Bauteile auflistet. Die Tabelle beinhaltet die folgenden Angaben zu den Bauteilen: Bauteiltyp, Bauteilnummer, Bezeichnung, U-Wert in ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$), bei Fenstern zusätzlich die Anzahl, Fläche in m^2 , Korrekturfaktor, Leitwert in kWh/a sowie Leitwert in W/K .

An dieser Stelle sei auf die grafische Darstellung der Leitwerte innerhalb der Tabelle in Form von Balken hingewiesen. Die farbliche Kodierung der Balken entspricht der Farbgebung der Tortengrafik bzw. des Stapeldiagramms, wodurch eine schnelle Identifizierung in der Grafik ermöglicht wird. Die Tortengrafik, wie auch das Stapeldiagramm, dienen der übersichtlichen Darstellung der Bauteile, wobei die Leitwerte als Basis dienen. Auf diese Weise lässt sich eine intuitive Übersicht über die Verteilung und Anteile der einzelnen Bauteile gewinnen.

Zur Erleichterung der Handhabung und Navigation stehen dem Nutzer verschiedene Filtermethoden als Dropdown-Menüs über der Tabelle zur Verfügung. Die Filterfunktion erlaubt es den Nutzern, spezifische Bauteile nach verschiedenen Kriterien auszuwählen und die angezeigten Daten entsprechend anzupassen. Des Weiteren besteht für den Nutzer die Möglichkeit, einzelne Zonen auszuwählen und die Daten auf diese Bereiche zu fokussieren, sofern entsprechende Zonen im Projekt vorhanden sind.

Wenn der Nutzer dem Projekt ein CAD-Modell (APS-Datei) hinzugefügt hat, wird über der rechten Tabellenecke ein Button eingeblendet, über den das CAD-Modell dargestellt werden kann.

In Bezug auf die Funktionalitäten ist ferner zu erwähnen, dass eine Kopier- und Einfüge-Möglichkeit integriert ist, welche eine Übertragung der Daten aus der Tabelle in ein Tabellenkalkulationsprogramm erlaubt.

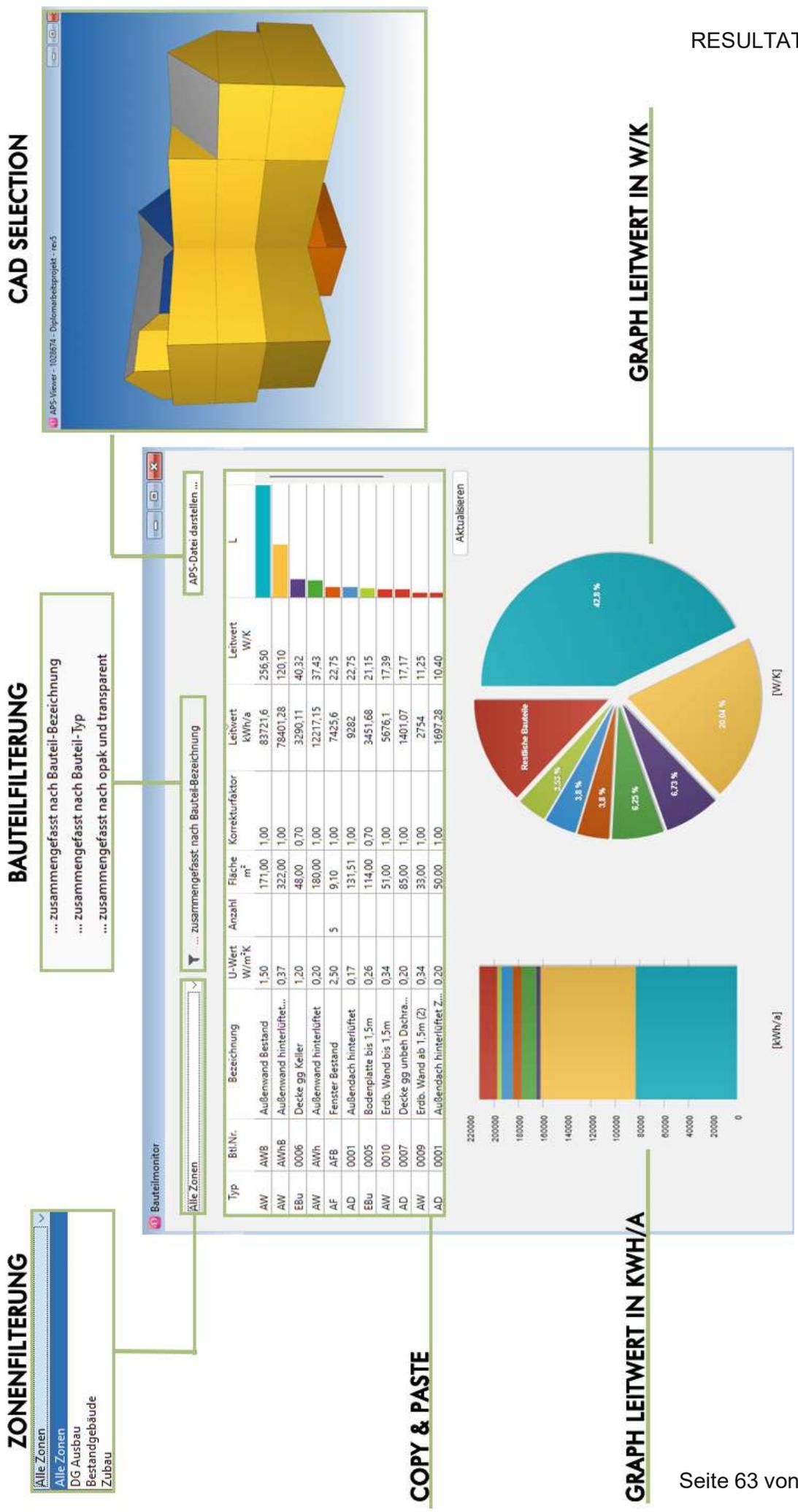


Abb. 27: Funktionalität Überblick Bauteilmonitor (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024))

3.2.3 Zonenselektion

Wie bereits in der Einleitung (Punkt 1.5.2) dargelegt, bietet ArchiPHYSIK die Möglichkeit, ein Gebäude mit verschiedenen Zonen einzugeben.

Durch Klicken auf das Dropdown-Menü (Abb. 28), das standardmäßig immer alle Zonen anzeigt, werden die Zonen des Projekts angezeigt. Wenn das Projekt mehr als eine Zone hat, kann nun zwischen den Zonen gewechselt werden. So ist es möglich, z.B. bei einem Gebäude mit Anbau, einem Wohngebäude mit Dachgeschossausbau oder einem Gebäude mit mehreren Stiegen, schnell zu selektieren und so noch genauer zu sehen, wo die Energiefresser des Gebäudes liegen.

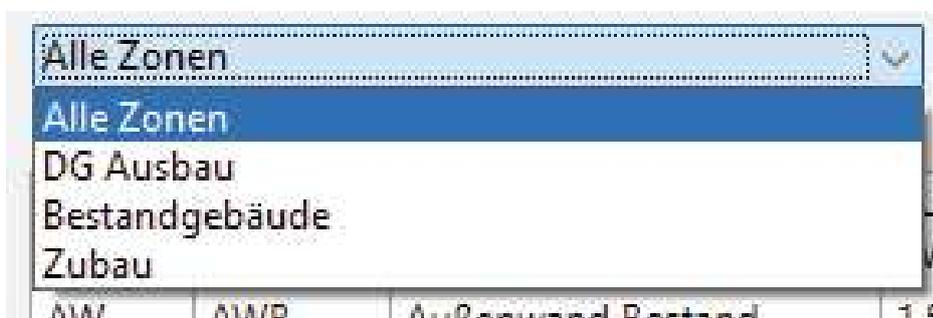


Abb. 28: Zonenselektion (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

In dem vorliegenden Beispielprojekt besteht die Möglichkeit, zwischen dem Bestand, dem Zubau und dem Dachgeschossausbau zu selektieren. Infolgedessen können die Bauteile je Zone angezeigt und ausgewertet werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Selektion aller drei Zonen vorgenommen, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Zone DG-Ausbau gerichtet wurde.

Alle Zonen

Unter dem Menüpunkt "Alle Zonen" (Abb. 29) werden alle Bauteile des gesamten Projekts nach ihrem Leitwert in W/K absteigend geordnet dargestellt.



Abb. 29: Alle Zonen anzeigen-Auswahl (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

In Abb. 30 zeigt sich, dass der Bauteil "Außenwand", in diesem Projekt, den größten Leitwert aufweist und daher in der ersten Zeile erscheint. Der Leitwert macht ca. 31 Prozent des Gesamtleitwerts aus, was darauf hindeutet, dass Verbesserungen vor allem an diesem Bauteil nützlich wären bzw. einen großen Fortschritt bei der Energieeffizienz erzielen würden.

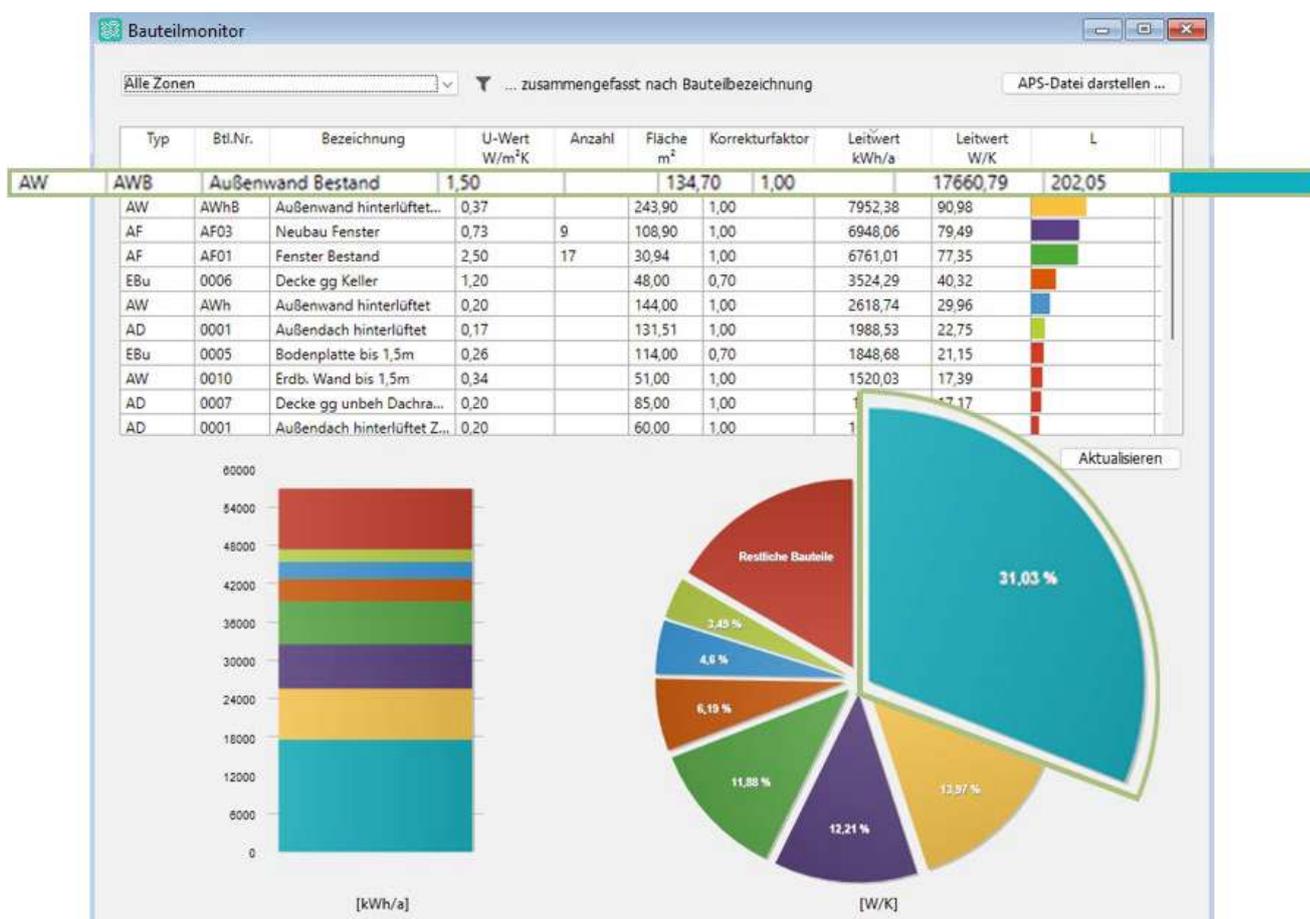


Abb. 30: Alle Zonen anzeigen (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Zone DG-Ausbau

Im nächsten Schritt wurde, wie in Abb. 31 dargestellt, auf die Auswahl "Zone-DG-Ausbau" gewechselt.

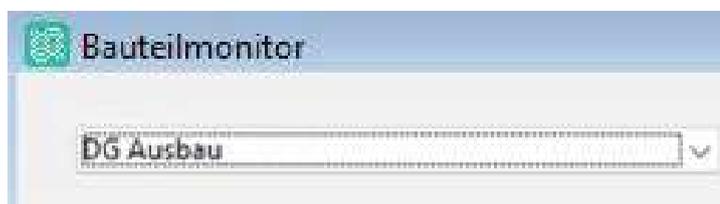


Abb. 31: Zone DG-Ausbau-Auswahl (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Bei einem Wechsel zur Zone DG-Ausbau (Abb. 32) erfolgt eine Änderung der Ergebnisse, da der Bestandsbauteil in diesem Kontext nicht vorhanden ist. Dies resultiert in einer Verschiebung des Neubau-Fensters an die oberste Position. Um diese Zone zu optimieren, ist es empfehlenswert, vor allem die Fenster zu verbessern.

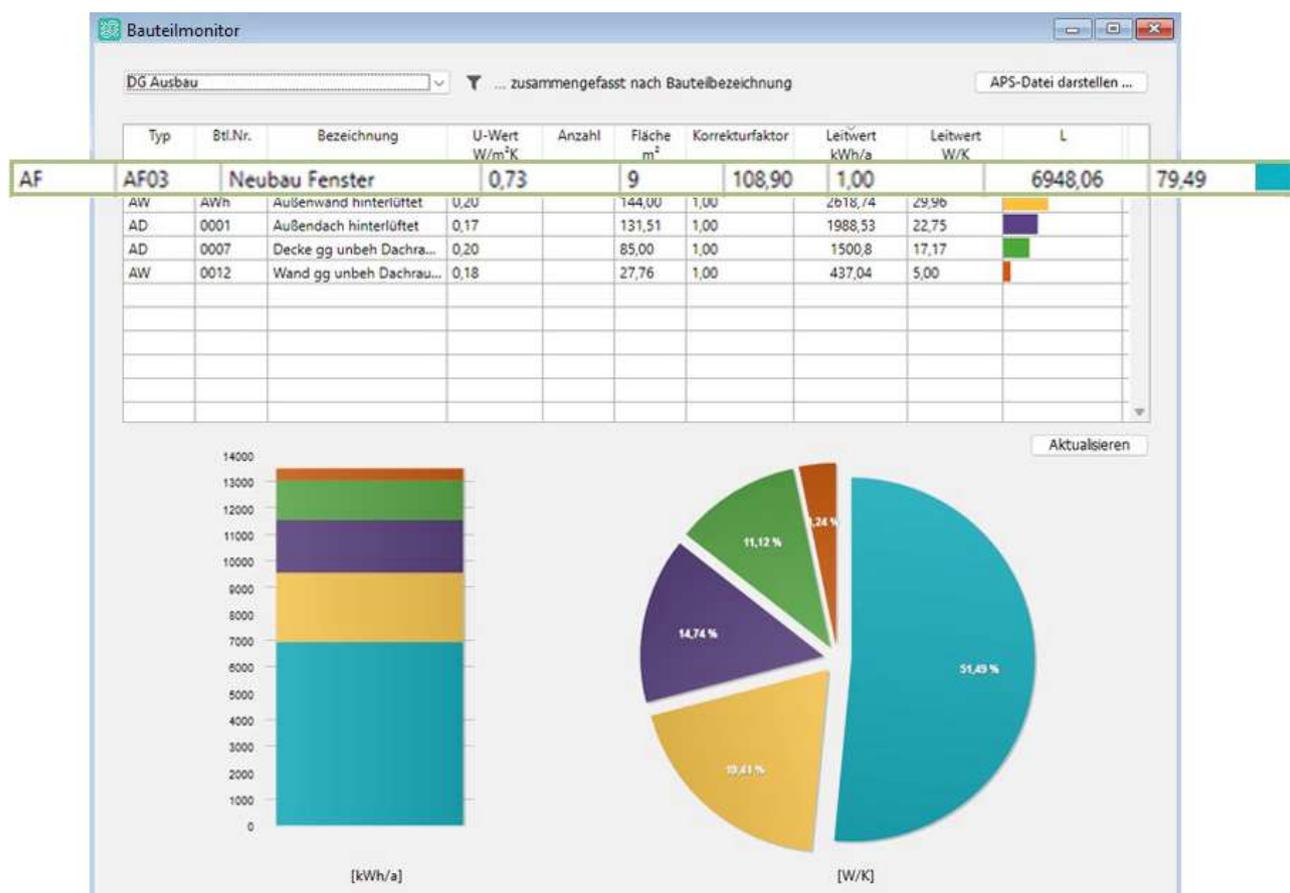


Abb. 32: Zonenselektion - DG Ausbau (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Zone Bestand und Zubau

Im Rahmen weiterer Tests des Bauteilmonitors wurde zudem ein Wechsel auf die Zonen "Bestand" (Abb. 33) und "Zubau" (Abb. 34) vorgenommen. Bei der Zone "Bestand" befand sich die Außenwand an oberster Stelle, beim Zubau die Außenwand hinterlüftet.

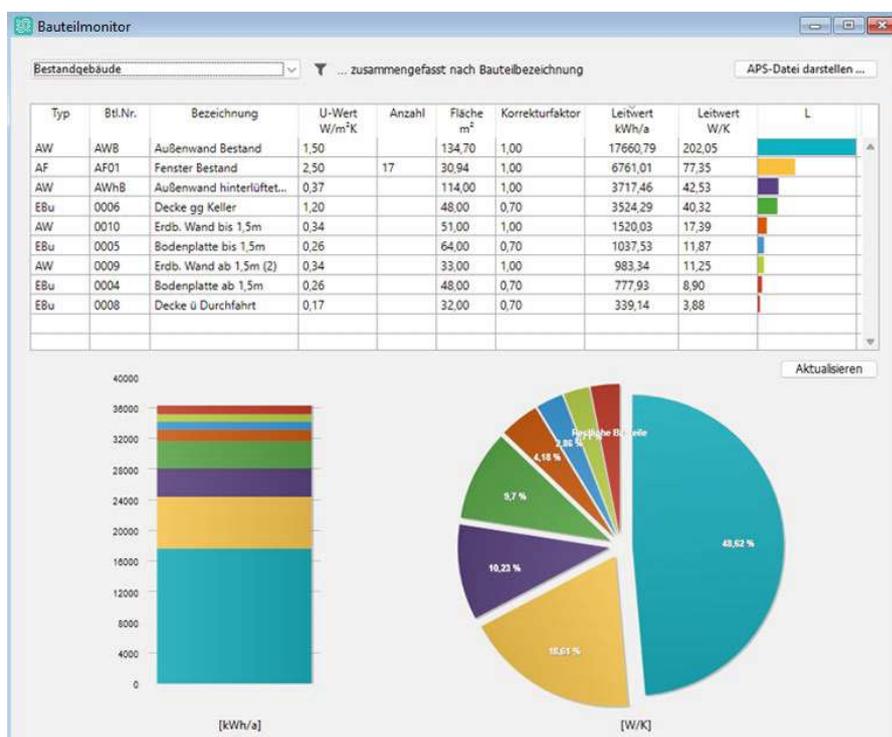


Abb. 33: Zonenselektion - Bestandsgebäude (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

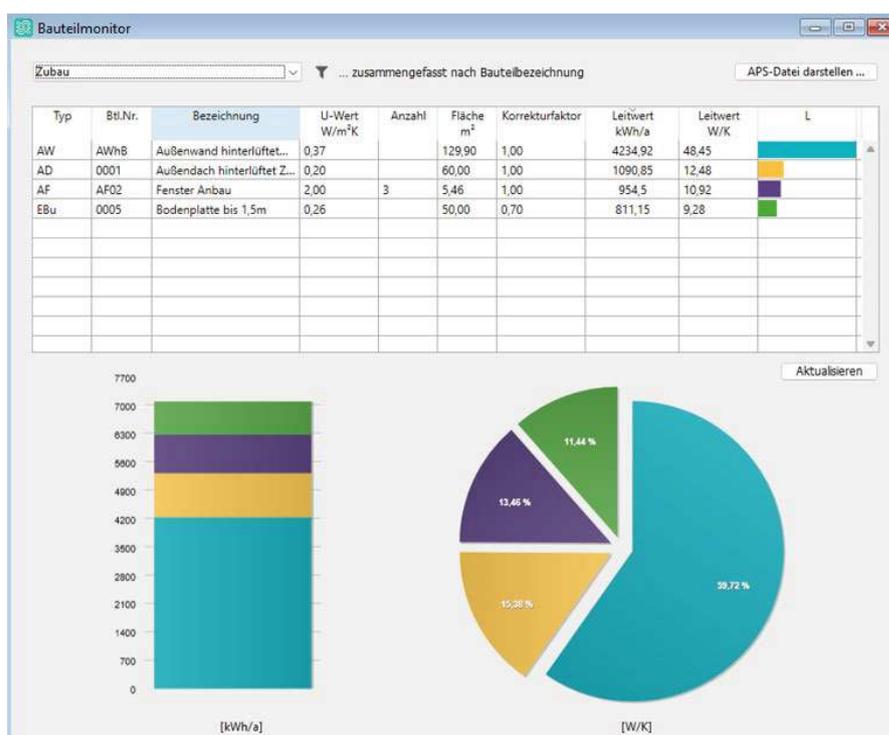


Abb. 34: Zonenselektion - Zubau (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

3.2.4 Filtermethoden

Um eine präzisere Filterung vorzunehmen, ist es erforderlich, auf das Filtersymbol  zu klicken und die Auswahl zwischen den Optionen "Bauteilbezeichnung", "Bauteiltyp" und "opak und transparent" zu treffen (Abb. 35).

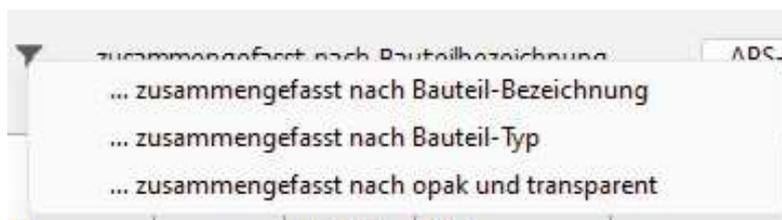


Abb. 35: Filtermethoden Übersicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Des Weiteren besteht die Option, die einzelnen Filtermethoden mit der Zonenselektion zu kombinieren, um eine differenzierte Darstellung der jeweiligen Filterungen pro Zone zu ermöglichen. In den Unterpunkten dargestellten Screenshots wurden die Bauteile für alle Zonen gefiltert.

Bauteilbezeichnungsfilerung

Bei der Öffnung des Bauteilmonitors erfolgt eine standardisierte Sortierung der Bauteile nach ihrer jeweiligen Bauteilbezeichnung. Dies bedeutet, dass alle Bauteile mit einer identischen Bezeichnung in einer gemeinsamen Zeile angezeigt werden (Abb. 36).

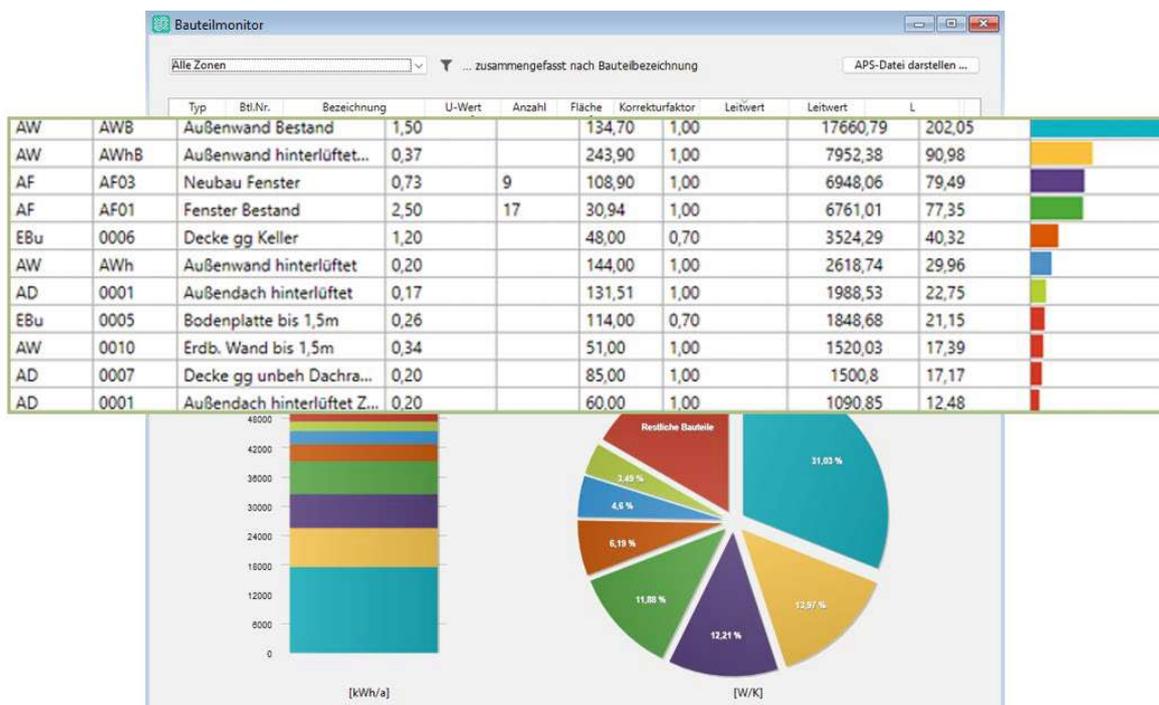


Abb. 36: Filterung nach Bauteilbezeichnung (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Bauteiltypfilterung

Wird nach Bauteiltyp gefiltert, werden alle Bauteile nach ihrem Typ gruppiert. Hier werden, wie in Abb. 37 ersichtlich, z.B. alle Außenwände, alle Fenster usw. zusammengefasst dargestellt. Dies erlaubt eine zeitnahe Identifikation desjenigen Bauteiltyps, der die größten Ineffizienzen im Gebäude aufweist.

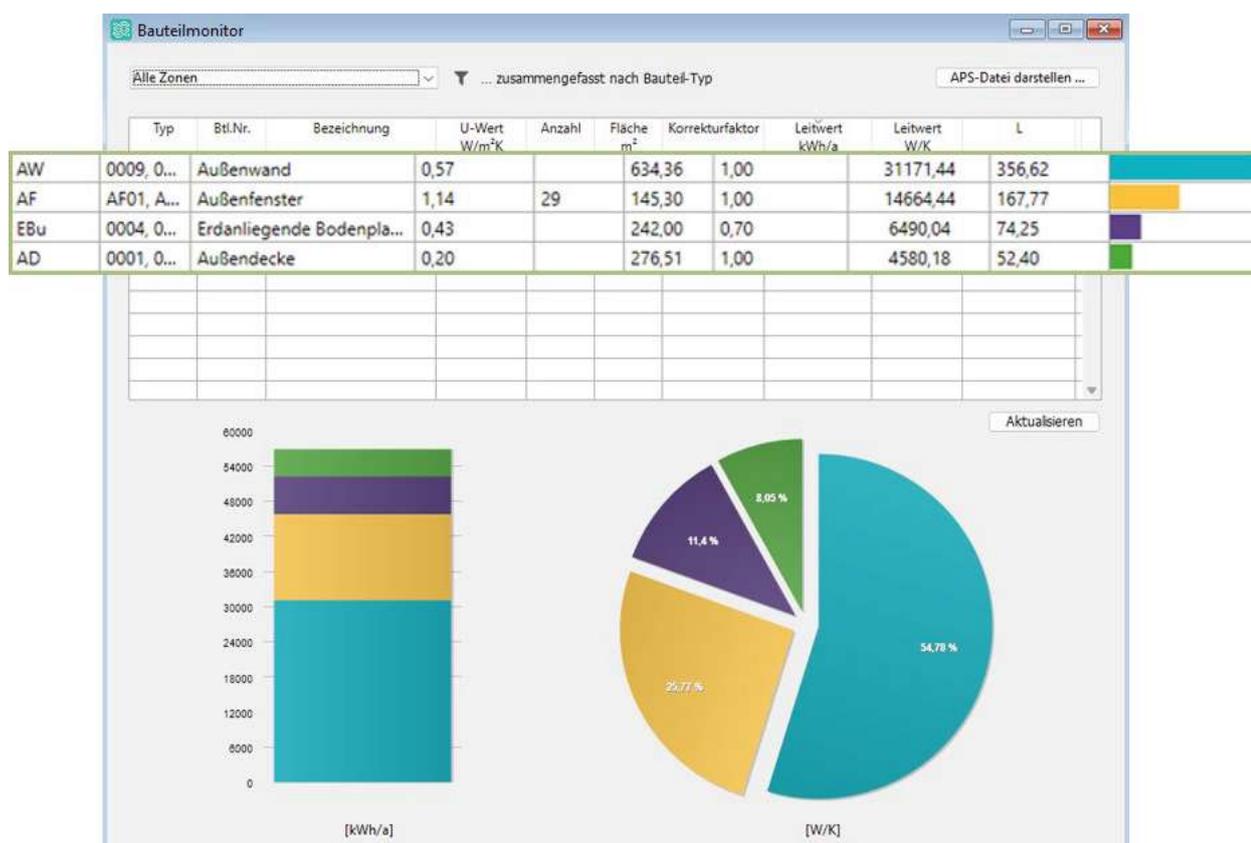


Abb. 37: Filterung nach Bauteiltyp (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

In der Spalte „Typ“ wird das jeweilige Kürzel des Bauteiltyps angezeigt. In der Spalte „Bauteilnummer“ werden alle zusammengefassten Bauteilnummern dargestellt. In der Spalte „Bezeichnung“ wird die jeweilige Typ-Bezeichnung angezeigt. Zusätzlich werden der mittlere U-Wert, die gesamte Fläche pro Bauteiltyp sowie jeweils ein, gemittelter Leitwert angezeigt.

Transparenzfilterung

Mit der Transparenzfilterung (Abb. 38) ist es möglich, alle Komponenten nach transparent und opak zu gruppieren. So kann z.B. überprüft werden, ob die Fenster die größten Energieverbraucher sind oder ob der Energieverbraucher in einem der opaken Bauteile liegt.

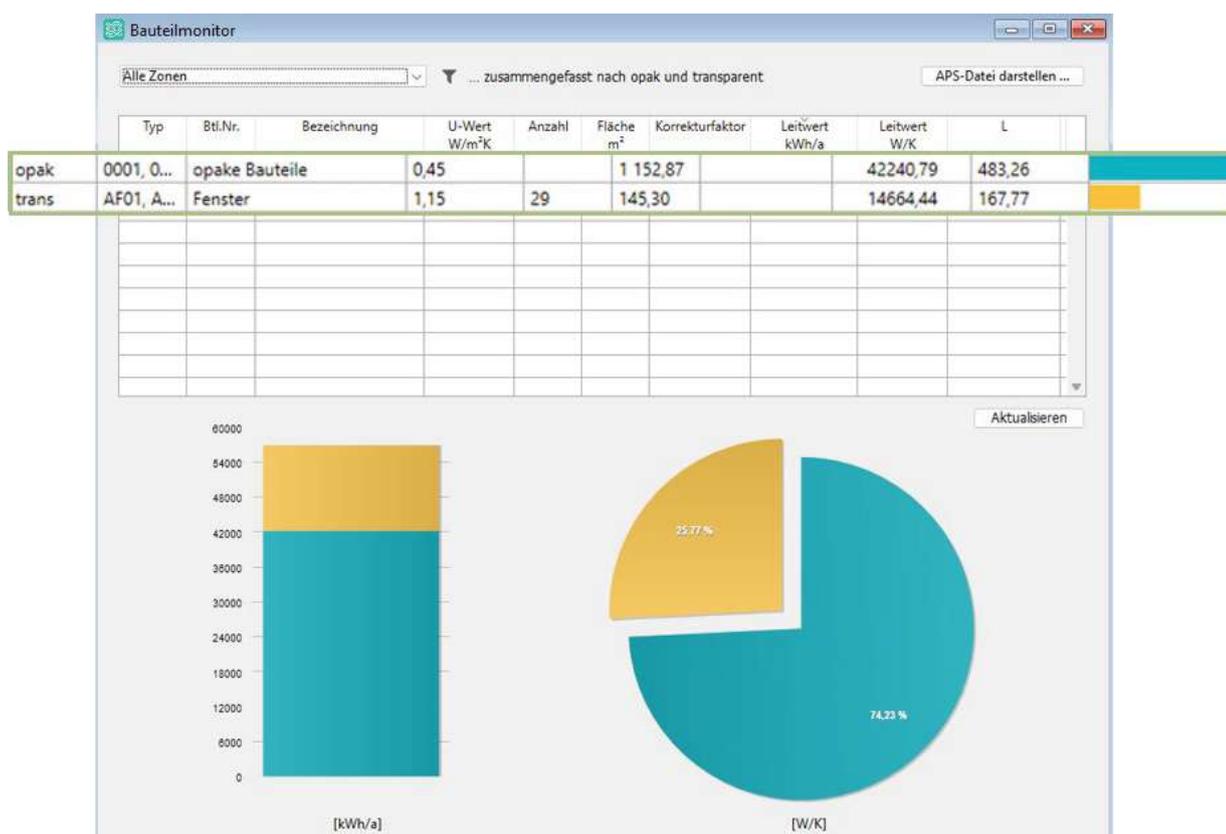


Abb. 38: Filterung nach opak und transparent (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

In der Spalte „Typ“ werden die Werte „opak“ und „trans“ ausgegeben. Die Spalte „Bauteilnummer“ führt alle Bauteilnummern der zusammengefassten Bauteile auf. Der U-Wert sowie die Leitwerte werden gemittelt und die Fläche summiert.

3.2.5 CAD-Selektion

Sofern ein 3D-Modell in das Projekt importiert wurde, kann dieses über die Schaltfläche “APS-Datei darstellen ...”, wie in Abb. 39 sichtbar, angezeigt werden. Das 3D-Modell öffnet sich in einem zusätzlichen Fenster, das neben dem Bauteilmonitor platziert werden kann.

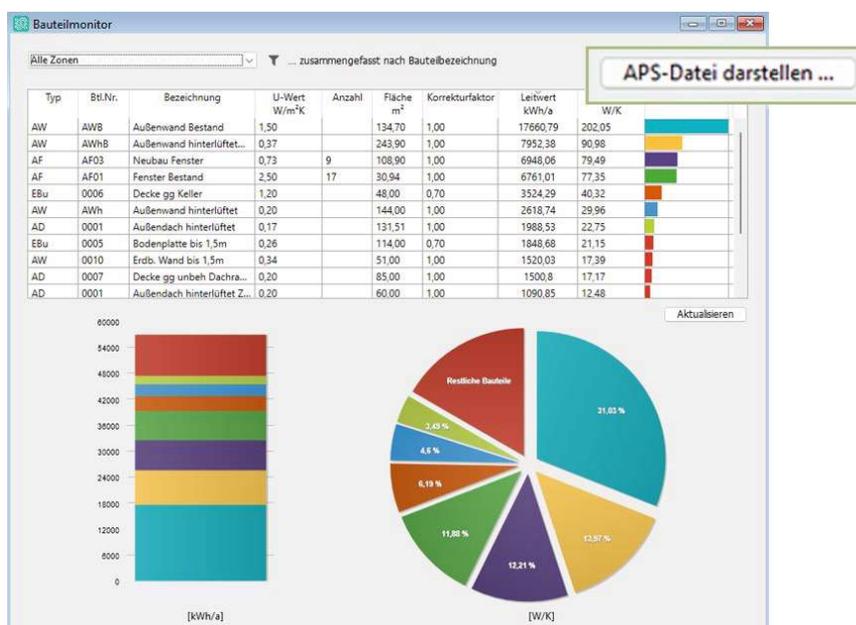


Abb. 39: CAD-Datei darstellen (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Der APS-Viewer (Abb. 40) kann an jeder Stelle positioniert und in seiner Größe angepasst werden. Das darin befindliche Modell kann sowohl gedreht als auch gezoomt werden.



Abb. 40: APS-Viewer (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Identifiziert man nun ein Bauteil mit einem schlechten U-Wert oder Leitwert, kann man auf die entsprechende Zeile im Bauteilmonitor klicken und erhält das ausgewählte Bauteil im 3D Modell farblich markiert. In der vorliegenden Abbildung (Abb. 41) wurde die hinterlüftete Bestandswand selektiert, sodass diese nun im CAD-Viewer farblich dargestellt wird.

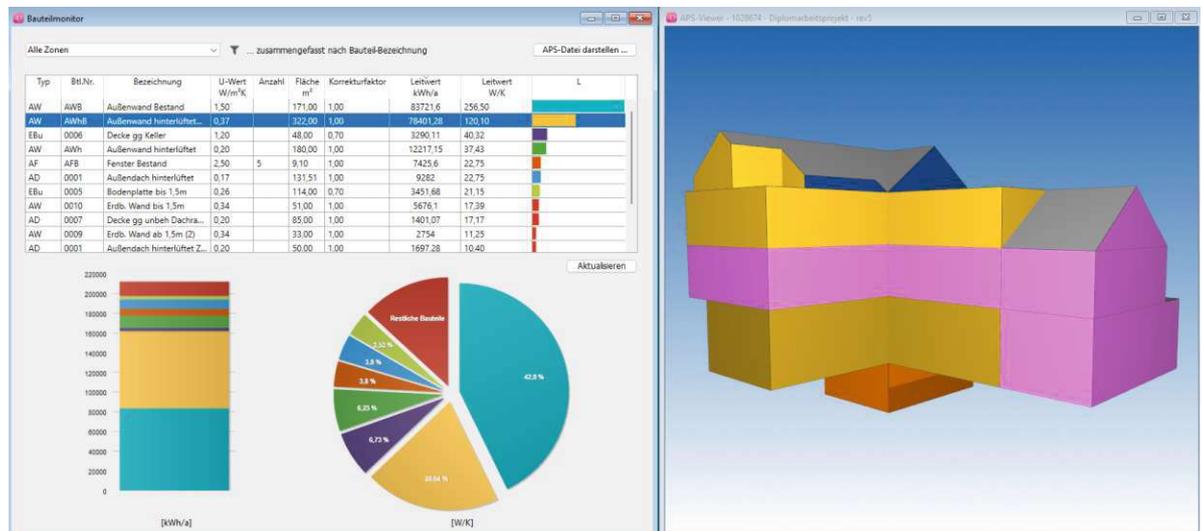


Abb. 41: CAD-Selektion - Außenwand hinterlüftet bestand (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Im zweiten Beispiel (Abb. 42) wurden sämtliche Bauteile durch Drücken der Tastenkombination "STRG+A" markiert, wodurch eine farbliche Kennzeichnung aller Elemente im CAD-Viewer erfolgte.

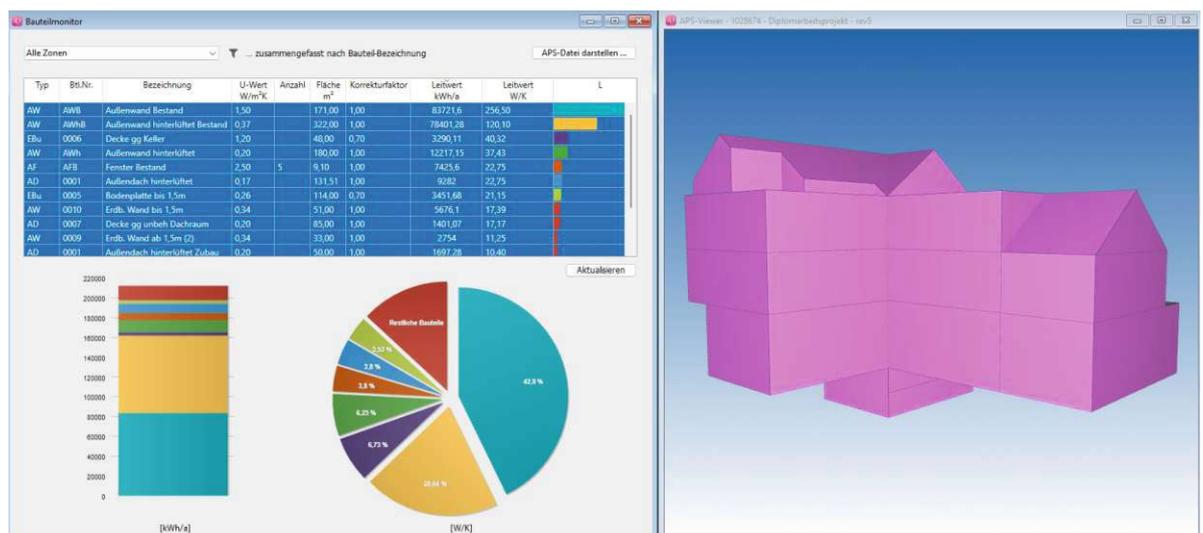


Abb. 42: CAD Selektion - Alle Bauteile (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

3.2.6 Copy & Paste

Sofern sich das Fenster des Bauteilmonitors im Vordergrund befindet, d.h. das Fenster mindestens einmal angeklickt wurde, kann die gesamte Tabelle durch Drücken der Tastenkombination STRG+C in die Zwischenablage kopiert und anschließend mit STRG+V in ein beliebiges Tabellenkalkulationsprogramm (Abb. 43) oder auch Textverarbeitungsprogramm eingefügt werden. Dies funktioniert auch unter MacOS, allerdings nur mit den Tastenkombinationen Ctrl+C und Ctrl+V.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	AW	AWB	Außenwand Bestand	1,5	171	1	256,5	
2	AW	AWWh	Außenwand hinterlüftet Bestand	0,373	322	1	120,1	
3	EBu	6	Decke gg Keller	1,2	48	0,7	40,32	
4	AW	AWh	Außenwand hinterlüftet	0,208	180	1	37,43	
5	AF	AFB	Fenster Bestand	2,5	9,1	1	22,75	
6	AD	1	Außendach hinterlüftet	0,173	131,51	1	22,75	
7	EBu	5	Bodenplatte bis 1,5m	0,265	114	0,7	21,15	
8	AW	10	Erdb. Wand bis 1,5m	0,341	51	1	17,39	
9	AD	7	Decke gg unbeh Dachraum	0,202	85	1	17,17	
10	AW	9	Erdb. Wand ab 1,5m (2)	0,341	33	1	11,25	
11	AD	1	Außendach hinterlüftet Zubau	0,208	50	1	10,4	
12	EBu	4	Bodenplatte ab 1,5m	0,265	48	0,7	8,9	
13	AW	12	Wand gg unbeh Dachraum	0,18	27,76	1	5	
14	AF	1	Glas	0,18	24	1	4,32	
15	EBu	8	Decke ü Durchfahrt	0,173	32	0,7	3,88	
16								

Abb. 43: Kopie von Bauteilmonitor Tabelle eingefügt in Excel (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Der Leitwertbalken, welcher als SVG-Grafik dargestellt wird, wird nicht mitkopiert, da ein Einfügen in das Tabellenkalkulationsprogramm nicht möglich ist. Die verbleibenden Daten können nun mit dem Tabellenkalkulationsprogramm zügig und unkompliziert weiterverarbeitet werden.

Außerdem scheinen die Formulare nun in der Tabelle auf und können mit Klick auf "Drucken" oder "PDF-Dateien erzeugen" ausgedruckt bzw. generiert werden (Abb. 46).

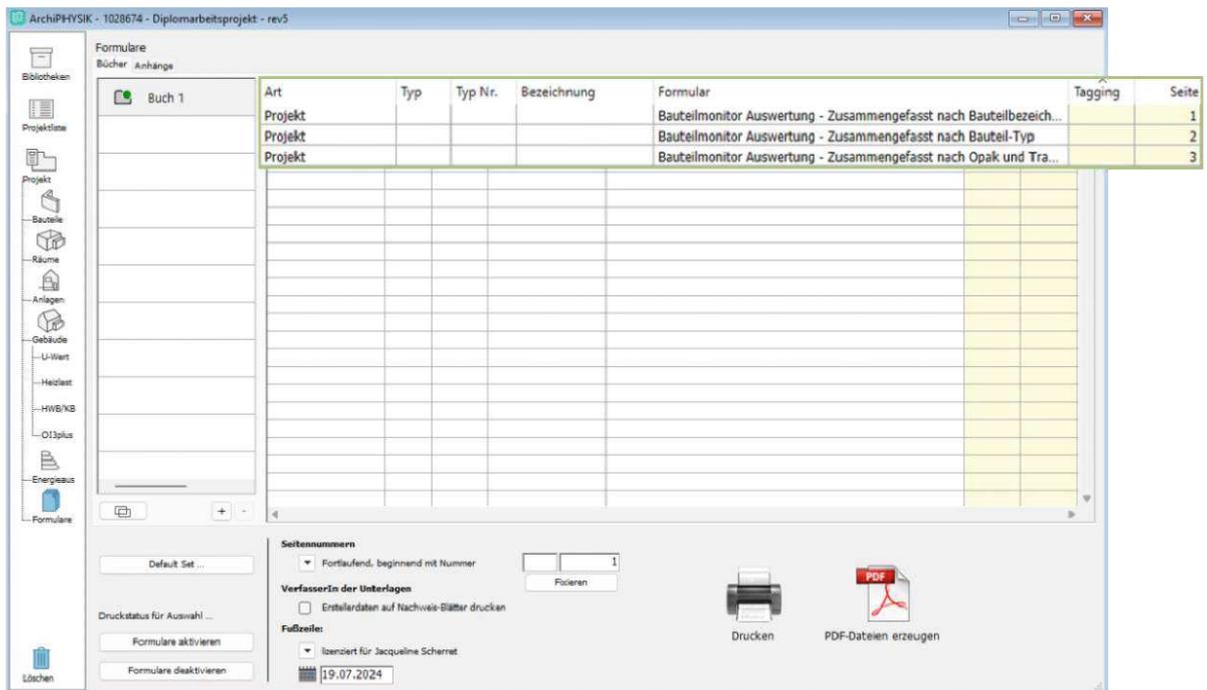


Abb. 46: Bauteilmonitor-Formulare ausdrucken (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

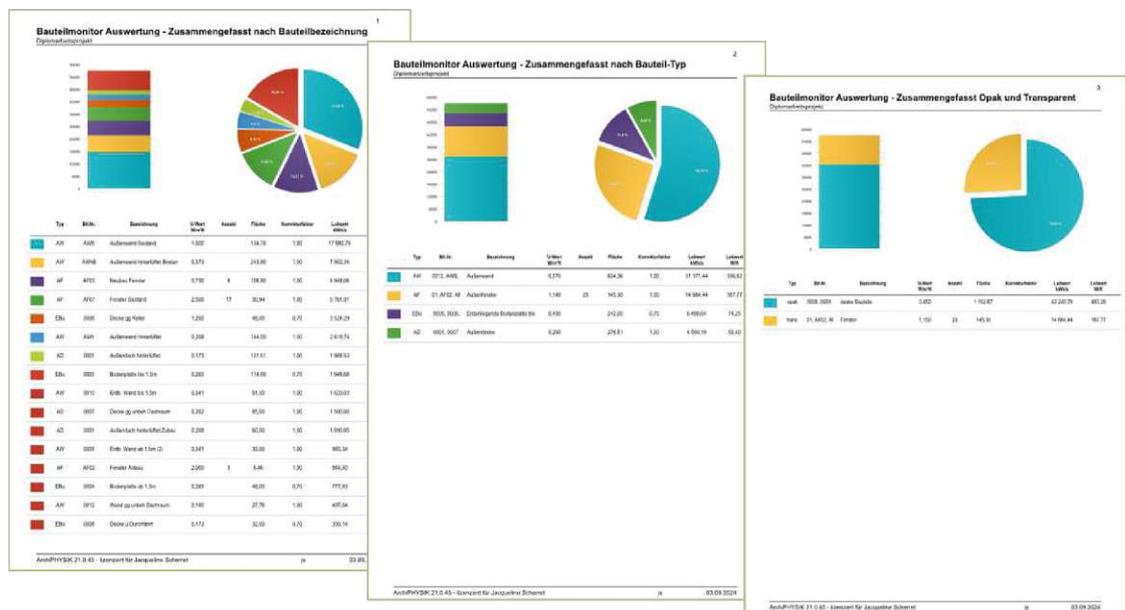


Abb. 47: Alle Ausdruckformulare - Übersicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Die erzeugten Formulare (Abb. 47) sind in der Anlage im Kapitel 10 (Anhang 3-Anhang 5) unter der jeweiligen Bezeichnung zu finden und können dort näher betrachtet werden.

3.4 Prüfung der neu integrierten Berechnung

Die Überprüfung der Berechnung erfolgt anhand der Zone "DG-Ausbau". Die Vorgehensweise entspricht der in Kapitel 2.3.2 beschriebenen Methodik. Im Rahmen der initialen Evaluierung wurden, wie in Abb. 48 dargestellt, der im Userinterface angezeigte QT (2) im Bereich HWB/KB (1), sowie die im Energieausweis aufgeführten Heizgradtage herangezogen. Die aus dem Bauteilmonitor herangezogenen Leitwerte (3) werden in einer weiteren Spalte in Prozenten dargestellt. Der Leitwert (4) in kWh/a wird aus dem Bauteilmonitor übernommen, da eine Überprüfung desselben beabsichtigt ist.

In einem ersten Schritt (Tabelle 1) wird der Q_T als Ganzes durch 100 geteilt, um den Anteil der Heizgradtage an der Gesamtsumme zu ermitteln. Anschließend wird in jeder Zeile bzw. für jedes Bauteil der jeweilige Anteil des Q_T mit dem entsprechenden Anteil des Leitwerts multipliziert. Dabei werden die Ergebnisse in zwei zusätzlichen Spalten, nämlich einer Differenz- und einer Prozent-Spalte, neben den jeweiligen Werten dargestellt. Dies verdeutlicht, dass die Überprüfung eine Differenz von ca. 15 Prozent aufweist.

**Tabelle 1: Erste Überprüfung der Berechnung
(Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)**

Bauteil	Leitwert (W/K)	Leitwert %	LT neu (kWh/a)	Überprüfung (kWh/a)	Differenz (kWh/a)	Differenz %
AF03	79,49	51,49	6948,06	8143,64	1195,58	14,68
Awh	29,96	19,41	2618,74	3069,36	450,62	14,68
AD0001	22,75	14,74	1988,53	2330,71	342,18	14,68
AD0007	17,17	11,12	1500,80	1759,04	258,25	14,68
AW0012	5,00	3,24	437,04	512,24	75,20	14,68
	154,37	100,00	13493,17	15815,00	2321,83	14,68

Bei der Evaluierung der Ursachen für die festgestellte Differenz wurde ersichtlich, dass eine Adaptierung des Q_T aus der Monatsbilanz SK anstelle der bisherigen Verwendung in der Monatsbilanz RK erforderlich ist.

Des Weiteren wurde in der vorliegenden Berechnung der Wärmebrückenzuschlag nicht berücksichtigt. Dieser ist jedoch im übernommenen Leitwert enthalten. Dies wurde bei genauerer Betrachtung der Monatsbilanz, sowie auch beim Ausdruck der Leitwerte ersichtlich (Abb. 49). Daher wird dieser bei der Überarbeitung der Überprüfungsrechnung als zusätzliche Zeile unter den Bauteilen eingefügt.



Abb. 49: Auszug Monatsbilanz SK und Ausdruck Leitwert (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024) – Die Formulare können im Kapitel 10 „Anhang“ genauer betrachtet werden!

Durch die Hinzunahme des Wärmebrückenleitwertes muss diese Zeile nun auch in den Prozentwerten berücksichtigt werden. Alle Bauteile verlieren dadurch einige Prozent. Im zweiten Nachweis (Tabelle 2) wird nun der korrigierte Q_T mit den korrigierten % multipliziert.

**Tabelle 2: Zweite Überprüfung der Berechnung – DG Ausbau
(Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)**

Bauteil	Leitwert (W/K)	%	LT neu (kWh/a)	Überprüfung (kWh/a)	Differenz (kWh/a)	Differenz %
AF03	79,49	46,81	6948,06	8097,86	1149,80	14,20
Awh	29,96	17,64	2618,74	3052,11	433,36	14,20
AD0001	22,75	13,40	1988,53	2317,60	329,07	14,20
AD0007	17,17	10,11	1500,80	1749,15	248,36	14,20
AW0012	5,00	2,94	437,04	509,36	72,32	14,20
WB	15,44	9,09	1349,58	1572,91	223,33	14,20
	169,81	100,00	14842,75	17299,00	2456,25	14,20

Ogleich die Parameter korrekt verwendet werden, bleibt der Unterschied bestehen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Unterschied nicht aus den Gesamtverlusten (QT) resultiert, sondern aus den Heizgradtagen. In ArchiPHYSIK findet das Monatsbilanzverfahren Anwendung, während die vorliegende Berechnung eher dem früher verwendeten Heizperiodenverfahren ähnelt. ⁵

Folglich sind für die Heizgradtage nicht lediglich die tatsächlichen Heiztage zu berücksichtigen, sondern die vollen Tage jedes Monats. Daher erfolgt eine eigenständige Berechnung der Heizgradtage (Tabelle 3), wobei die Ziel-Innentemperatur von 22 Grad von der Außentemperatur gemäß Monatsbilanz subtrahiert und mit den Tagen jedes Monats multipliziert wird. Die Summe der 12 Monate ergibt schließlich die Heizgradtage.

⁵ Das Monatsbilanzverfahren und das Heizperiodenverfahren sind zwei unterschiedliche Methoden zur Berechnung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden. Das Monatsbilanzverfahren ist genauer und detaillierter, da es den Heizwärmebedarf auf Monatsbasis berechnet und spezielle Faktoren wie die passive Solarenergienutzung berücksichtigt. Es ist komplexer und erfordert in der Regel den Einsatz von Computerprogrammen. Im Gegensatz dazu ist das Heizperiodenverfahren ein vereinfachtes Verfahren, das die gesamte Heizperiode als einen Zeitraum betrachtet und auch als Handrechenverfahren angewendet werden kann. Es eignet sich besonders für Wohngebäude mit standardisierten Merkmalen und ermöglicht eine schnelle, wenn auch weniger detaillierte Abschätzung. Die Wahl zwischen den beiden Verfahren hängt von den spezifischen Projektanforderungen, der gewünschten Genauigkeit und der Komplexität des Gebäudes ab (Loga, 2004).

**Tabelle 3: Neuberechnung der Heizgradtage
(Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)**

	Außen	Innen	Tage	HGT
Jan	-0,37	22	31	693,47
Feb	1,4	22	28	576,80
Mär	5,63	22	31	507,47
Apr	10,75	22	30	337,50
Mai	15,19	22	31	211,11
Jun	18,59	22	30	102,30
Jul	20,49	22	31	46,81
Aug	19,90	22	31	65,10
Sep	16,09	22	30	177,30
Okt	10,32	22	31	362,08
Nov	4,82	22	30	515,40
Dez	1,04	22	31	649,76
				4245,10

Im Folgenden werden die in Tabelle 3 berechneten Heizgradtage in die dritte und letzte Überprüfung (Tabelle 4) eingesetzt.

**Tabelle 4: Dritte und letzte Überprüfung der Berechnung
(Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)**

Bauteil	Leitwert (W/K)	Leitwert %	LT neu (kWh/a)	Überprüfung (kWh/a)	Differenz (kWh/a)	Differenz %
AF03	79,49	46,81	8098,63	8097,86	0,77	0,01
Awh	29,96	17,64	3052,40	3052,11	0,29	0,01
AD0001	22,75	13,40	2317,82	2317,60	0,22	0,01
AD0007	17,17	10,11	1749,32	1749,15	0,17	0,01
AW0012	5,00	2,94	509,41	509,36	0,05	0,01
WB	15,44	9,09	1573,06	1572,91	0,15	0,01
	169,81	100,00	17300,65	17299,00	1,65	0,01

Die Einbeziehung der selbst berechneten Heizgradtage in die Nachweisrechnung zeigt eine Annäherung der Ergebnisse mit einer Differenz von 0,01. Dieses Ergebnis kann als gleichwertig angesehen werden, da die Differenz aus Rundungsgenauigkeiten resultieren kann.

3.5 Überprüfung des Tortendiagramms

Die Überprüfung der Neuberechnung, die im vorigen Kapitel durchgeführt wurde, hat auch eine zweite Überprüfung mit sich gebracht, nämlich die Überprüfung des Tortendiagramms. Die berechneten Prozentsätze sollten mit denen im Tortendiagramm im Bauteilmonitor übereinstimmen. Wie in Abb. 50 ersichtlich, sind die Prozentsätze identisch. Dies wurde für jede Zone und jede Filtermöglichkeit überprüft. Aufgrund der offensichtlichen Richtigkeit ist die Überprüfung damit abgeschlossen.

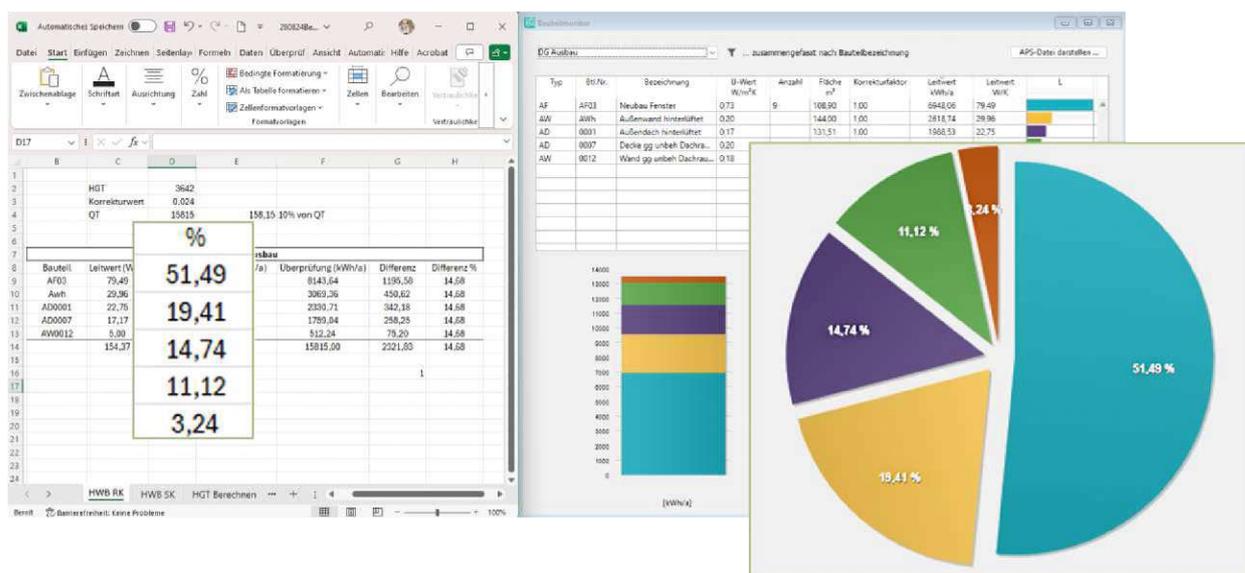


Abb. 50: Überprüfung Tortendiagramm (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

4 DISKUSSION

4.1 Überblick

Im Folgenden erfolgt eine Diskussion der Ergebnisse. Dabei wird sowohl auf die Funktionalität als auch auf die neu integrierte Methode zur Berechnung von Transmissionswärmeverlusten eingegangen.

Zudem werden mögliche Fehlerquellen, der Vergleich mit bereits existierenden Tools, sowie die Auswirkungen auf die Baupraxis und die Forschung erörtert. Abschließend werden ethische Aspekte wie Datenschutz und soziale Gerechtigkeit im Kontext der Energieeffizienz thematisiert.

4.2 Interpretation der Ergebnisse

4.2.1 Funktionalität und Effizienz des Bauteilmonitors

Die Analyse der Energieeffizienz von Gebäuden kann mit dem Bauteilmonitor effektiv durchgeführt werden. Die implementierten Funktionen, insbesondere die Zonenselektion, Filtermethoden und CAD-Integration, erlauben eine detaillierte und flexible Untersuchung der Bauteile hinsichtlich ihrer energetischen Eigenschaften.

Die Zonenselektion erlaubt eine gezielte Analyse spezifischer Gebäudebereiche, was insbesondere bei komplexen Strukturen von Vorteil ist. Dies erlaubt es Planern, sich auf kritische Bereiche zu fokussieren und somit ressourceneffizient zu arbeiten. Die Filtermethoden, insbesondere die Bauteiltypfilterung und Transparenzfilterung, eröffnen zusätzliche Möglichkeiten für eine flexible Analyse. Die Möglichkeit, bestimmte Bauteilgruppen isoliert zu betrachten, ist für die Identifikation spezifischer Schwachstellen im Gebäude von essenzieller Bedeutung.

Die Integration mit CAD-Systemen stellt einen bedeutenden Fortschritt dar. Die Möglichkeit, Analyseergebnisse direkt im 3D-Modell des Gebäudes zu visualisieren, verbessert das Verständnis für die räumliche Verteilung von Energieverlusten erheblich. Dies unterstützt nicht nur den Planungsprozess, sondern erleichtert auch die Kommunikation mit Bauherren und anderen Stakeholdern.

4.2.2 Bewertung der neu integrierten Berechnungsmethode für Transmissionswärmeverluste

Die Integration der genannten Berechnung in den Bauteilmonitor führt zu einer signifikanten Erweiterung des Funktionsumfangs. Die Quantifizierung der Energieverluste über längere Zeiträume wird dadurch exakter, was für die langfristige Planung und Optimierung von Gebäuden von großer Bedeutung ist. Die Berücksichtigung der Heizgradtage in der Berechnung führt zu einer Verbesserung der Genauigkeit und erlaubt eine standortspezifische Analyse.

Im Rahmen der Überprüfung wurden Diskrepanzen in den Ergebnissen festgestellt, sodass eine direkte Gegenüberstellung der Gesamtverluste eines Gebäudes mit der Berechnung der Transmissionswärmeverluste in kWh/a, wie ursprünglich angenommen, nicht möglich ist. Diese Diskrepanz lässt sich auf die divergierenden Berechnungsverfahren zurückführen. Während ArchiPHYSIK mit dem Monatsbilanzverfahren operiert, welches eine Berücksichtigung klimatischer Einflüsse erlaubt, erfolgt die Berechnung im Bauteilmonitor unabhängig von klimatischen Faktoren und fokussiert sich ausschließlich auf die Qualität der Bauteile selbst.

4.3 Vergleich mit dem Stand der Technik

4.3.1 Positionierung des Bauteilmonitors im Kontext existierender Energieanalyse-Tools

Der Bauteilmonitor zeichnet sich durch eine spezifische Fokussierung auf die Bauteilanalyse aus, wodurch er sich von anderen Energieanalyse-Tools abhebt. Im Gegensatz zu vielen existierenden Lösungen, welche eine ganzheitliche Gebäudeanalyse bieten, fokussiert sich der Bauteilmonitor auf die detaillierte Untersuchung einzelner Baukomponenten. Dies erlaubt eine vertiefte Analyse sowie eine gezieltere Ausrichtung von Optimierungsmaßnahmen.

Im Vergleich zu konventionellen Methoden der Energieanalyse ermöglicht der Bauteilmonitor eine detailliertere Analyse der Daten. Die Möglichkeit, einzelne Bauteile oder Bauteilgruppen isoliert zu betrachten und zu vergleichen, ist in dieser Form in vielen anderen Tools nicht gegeben. Infolgedessen erweist sich der Bauteilmonitor als wertvolles Ergänzungswerkzeug in der Energieeffizienzplanung.

Des Weiteren stellt die Integration mit CAD-Systemen einen Fortschritt dar. Während einige fortschrittliche Energieanalyse-Tools bereits 3D-Visualisierungen anbieten, ist die direkte Verknüpfung von Analyseergebnissen mit dem CAD-Modell in dieser Form innovativ und erhöht die Benutzerfreundlichkeit erheblich.

4.3.2 Innovative Aspekte des Bauteilmonitors

Ein wesentlicher Innovationsaspekt des Bauteilmonitors ist die Verbindung einer detaillierten Bauteilanalyse mit einer intuitiven Visualisierung. Die Möglichkeit, komplexe bauphysikalische Berechnungen in leicht verständliche visuelle Darstellungen zu übersetzen, erleichtert die Interpretation der Daten und unterstützt fundierte Entscheidungsprozesse.

Ebenso stellt die Integrierung einer neuen Berechnungsmethode für Transmissionswärmeverluste in kWh/a eine Innovation für ArchiPHYSIK dar. Diese Methode ergänzt die bestehenden normativen Berechnungen und bietet einen zusätzlichen Blickwinkel auf die Energieeffizienz von Bauteilen.

4.4 Mögliche Fehlerquellen

4.4.1 Datenqualität und -integrität

Die Verlässlichkeit der Analyseergebnisse des Bauteilmonitors ist in erster Linie von der Exaktheit der Eingangsdaten abhängig. Ungenauigkeiten oder Fehler in den CAD-Modellen sowie den bauphysikalischen Eigenschaften der Materialien können zu fehlerhaften Ergebnissen führen. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass die Nutzer des Tools die Eingangsdaten sorgfältig prüfen und validieren.

Eine weitere potenzielle Fehlerquelle liegt in der Komplexität realer Gebäudestrukturen. Der Bauteilmonitor basiert auf vereinfachten Modellen der Wärmeübertragung, sodass eine vollständige Erfassung aller Aspekte komplexer Baukonstruktionen nicht gewährleistet werden kann. Insbesondere bei der Analyse von Wärmebrücken oder komplexen Geometrien könnten Abweichungen zwischen den berechneten und den tatsächlichen Werten auftreten.

4.4.2 Benutzerfreundlichkeit und Usability

Obschon der Bauteilmonitor darauf ausgelegt ist, eine hohe Benutzerfreundlichkeit zu gewährleisten, besteht die Möglichkeit von Fehlinterpretationen der Ergebnisse durch unerfahrene Nutzer. Die Analyseergebnisse müssen korrekt interpretiert und

die richtigen Schlüsse gezogen werden, was ein grundlegendes Verständnis der Materie voraussetzt. Die Vielzahl an Filtermöglichkeiten und Analysefunktionen kann für einige Nutzer überwältigend sein, sodass wichtige Aspekte übersehen oder falsche Schlussfolgerungen gezogen werden, wenn die Nutzer nicht ausreichend mit den Funktionen des Tools vertraut sind.

Aus den dargelegten Gründen ist vorgesehen, im Rahmen eines Usability-Tests eine weitere Optimierung des Bauteilmonitors vorzunehmen. Die Testdurchführung könnte gemäß den zehn Usability-Heuristiken von Jakob Nielsen (Nielsen, 1994) erfolgen.

Diese Heuristiken bieten allgemeine Prinzipien für benutzerfreundliches Interaktionsdesign (Nielsen, 1994):

1. Sichtbarkeit des Systemstatus
2. Übereinstimmung zwischen System und Wirklichkeit
3. Benutzerkontrolle und -freiheit
4. Konsistenz und Standards
5. Fehlervermeidung
6. Wiedererkennung statt Erinnern
7. Flexibilität und Effizienz der Nutzung
8. Ästhetisches und minimalistisches Design
9. Unterstützung der Benutzer beim Erkennen, Diagnostizieren und Beheben von Fehlern
10. Hilfe und Dokumentation

(Original von (Nielsen, 1994) - übersetzt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit)

Des Weiteren wäre zu berücksichtigen, dass die ISO-Norm 9241-11, welche in Österreich als (ÖNORM EN ISO 9241-11, 2018) übernommen wurde, Anwendung finden könnte.

„Die Anwendung und der Nutzen der Grundsätze und allgemeinen Empfehlungen in diesem Dokument bringen eine Vielzahl von Vorteilen für die Anwender interaktiver Benutzungsschnittstellen mit sich, einschließlich Verbesserungen in Bezug auf die Geschwindigkeit, Genauigkeit, den mentalen Aufwand und die User Experience. Außerdem tragen sie dazu bei, zu verhindern, dass die Benutzer Probleme mit der Gebrauchstauglichkeit in Zusammenhang mit den dargestellten Informationen erfahren [...]“ (ÖNORM EN ISO 9241-11, 2018, S. 6).

4.5 Relevanz und Implikationen der Ergebnisse

4.5.1 Auswirkungen auf die Baupraxis

Der Bauteilmonitor birgt das Potenzial, die Baupraxis in mehrfacher Hinsicht zu beeinflussen. In erster Linie erlaubt er eine exaktere und effizientere Planung von energieeffizienten Gebäuden. Die detaillierte Analyse einzelner Bauteile erlaubt die frühzeitige Erkennung und Behebung von Schwachstellen, was zu einer Optimierung des Gesamtenergiekonzepts führt.

Die optimierte Visualisierung der Energieeffizienz durch die CAD-Integration kann zu einer verstärkten Sensibilisierung für energetische Aspekte in der Architektur führen. Dies könnte langfristig zu einer Veränderung in der Gestaltung von Gebäuden beitragen, bei der die energetische Effizienz von Beginn an als integraler Bestandteil des Entwurfsprozesses betrachtet wird.

Für Bauherren und Investoren stellt der Bauteilmonitor eine optimierte Grundlage für ihre Entscheidungen dar. Die Möglichkeit, die energetischen Auswirkungen verschiedener Bauteilkonfigurationen zeit- und kosteneffizient zu vergleichen, kann zu fundierteren Investitionsentscheidungen führen und langfristig zur Reduzierung der Betriebskosten beitragen.

4.5.2 Einfluss auf zukünftige Forschung

Die Entwicklung des Bauteilmonitors eröffnet neue Forschungsfelder und Entwicklungsmöglichkeiten. Ein vielversprechender Ansatz wäre die Integration von maschinellem Lernen und künstlicher Intelligenz in die Analyse. Dies könnte zu einer automatisierten Generierung von Optimierungsvorschlägen für Bauteilkonfigurationen führen, wodurch sich der Planungsprozess weiter beschleunigen ließe.

Die neu integrierte Berechnungsmethode für Transmissionswärmeverluste in kWh/a eröffnet Möglichkeiten für weitere Forschungsarbeiten. Eine Verifizierung der Methode durch Feldstudien, sowie eine Gegenüberstellung mit realen Messdaten könnten zu einer Optimierung des Modells, sowie einer weiteren Steigerung seiner Präzision beitragen.

Ein weiterer Forschungsbereich könnte in der Erweiterung des Bauteilmonitors um dynamische Simulationen liegen. Die Berücksichtigung von Faktoren wie dem Nutzerverhalten, Wetterdaten, sowie der Gebäudeautomation könnte zu einer ganzheitlicheren Betrachtung der Energieeffizienz von Gebäuden führen.

4.6 Ethische Überlegungen und gesellschaftliche Implikationen

4.6.1 Datenschutz und Privatsphäre

Die fortschreitende Digitalisierung im Bauwesen, sowie die detaillierte Analyse von Gebäudedaten werfen Fragen des Datenschutzes und der Privatsphäre auf. Die im Bauteilmonitor verarbeiteten Daten könnten sensible Informationen über Gebäudestrukturen und Energieverbrauchsmuster enthalten. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, geeignete Sicherheitsmaßnahmen zu ergreifen, um den Schutz dieser Daten zu gewährleisten.

4.6.2 Soziale Gerechtigkeit im Kontext der Energieeffizienz

Die Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Instrumente wie den Bauteilmonitor wirft auch Fragen der sozialen Gerechtigkeit auf. Während die Nutzung von energieeffizienten Gebäuden langfristig zu Kosteneinsparungen führt, können die anfänglichen Investitionen für energetische Sanierungen oder hocheffiziente Neubauten erheblich sein. Es besteht die Gefahr, dass energieeffizientes Wohnen zu einem Privileg wird, das nicht allen Bevölkerungsgruppen in gleicher Weise zugänglich ist.

5 SCHLUSSFOLGERUNG

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.

Der Bauteilmonitor erweist sich als ein wertvolles, benutzerfreundliches Instrument zur Analyse der Bauteil-Leitwerte. Die systematische Identifizierung und Visualisierung von Energieverlusten in Bauteilen ermöglicht es Fachleuten, gezielte Verbesserungsmaßnahmen zu ergreifen, was einen entscheidenden Einfluss auf die Energieeffizienz von Gebäuden hat und somit eine deutliche Verbesserung der Energieeffizienzanalyse darstellt. Des Weiteren unterstützt er bei Entscheidungen für Energiesparmaßnahmen und somit einer Förderung nachhaltiger Bauweisen.

5.1 Limitierungen des Ansatzes und dieser Arbeit

Der Bauteilmonitor weist trotz seiner zahlreichen Stärken einige Einschränkungen auf. Die Genauigkeit der Ergebnisse hängt maßgeblich von der Qualität der eingegebenen Daten ab, was bedeutet, dass fehlerhafte oder unvollständige Informationen die Analyse verfälschen können. Zudem berücksichtigt das Tool möglicherweise nicht alle komplexen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Bauteilen und Umweltfaktoren. Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Anwendbarkeit des Monitors auf bestimmte Gebäudetypen oder klimatische Bedingungen begrenzt sein könnte. Des Weiteren besteht das Risiko von Fehlinterpretationen der Analyseergebnisse, insbesondere durch unerfahrene Nutzerinnen und Nutzer, die die Funktionen des Tools nicht adäquat verstehen. Trotz der benutzerfreundlichen Konzeption kann es zu Missverständnissen bei der Auswertung kommen, weshalb die Durchführung von Usability-Tests erforderlich ist. Diese Tests sollen potenzielle Nutzungsprobleme identifizieren und beheben.

5.2 Zukünftige Forschung und Entwicklung

Die kontinuierliche Weiterentwicklung des Bauteilmonitors ist unerlässlich, um den sich wandelnden Anforderungen der Bauindustrie gerecht zu werden. Diese Weiterentwicklung eröffnet ein breites Spektrum an Möglichkeiten für künftige Forschungsarbeiten, sowie technologische Optimierungen.

Künstliche Intelligenz

Ein wesentliches Forschungsfeld könnte die Integration von maschinellem Lernen und künstlicher Intelligenz sein, um automatisierte Optimierungsvorschläge für Bauteilkonfigurationen zu generieren.

Verbesserung und Weiterentwicklung der Berechnungsmethode

Des Weiteren kann die Weiterentwicklung der Berechnungsmethoden für Transmissionswärmeverluste durch Feldstudien und Vergleiche mit realen Messdaten zu präziseren Ergebnissen führen. Infolge der bei der Überprüfungsrechnung eruierten Diskrepanzen ist zu eruieren, ob der Bauteilmonitor die Heizgradtage für jedes Projekt zur Kalkulation des Leitwerts in kWh/a eigenständig berechnen sollte, um ein exaktes oder approximatives Resultat zu den von ArchiPHYSIK kalkulierten Gesamtverlusten des Projekts zu gewährleisten.

Simulationen

Außerdem kann die Erweiterung um dynamische Simulationen, welche Faktoren wie das Nutzerverhalten und Wetterdaten einbeziehen, als vielversprechende Option betrachtet werden, um eine umfassendere Analyse der Energieeffizienz von Gebäuden zu ermöglichen und realitätsnähere Prognosen zu treffen.

BIM

Ein weiteres zukunftsträchtiges Forschungsfeld ist die Integration von Building Information Modeling (BIM), durch die Einbindung eines IFC-Viewers. Dies erlaubt eine detaillierte 3D-Modellierung von Gebäuden unter direkter Integration und Analyse energetischer Aspekte. Zudem könnte die Verlagerung des Programms in eine webbasierte Umgebung den Austausch zwischen Planern, Kunden und Partnern verbessern und somit die Effizienz steigern.

Weitere Analyse Aspekte

In Anbetracht der zunehmenden Relevanz von Bauteiluntersuchungen sind Erweiterungen des Bauteilmonitors vorgesehen. Diesbezüglich ist die Integration ökologischer Aspekte für LCA-, E110- und OI3-Bewertungen vorgesehen. Um die Übersichtlichkeit zu wahren, wird die Einführung zusätzlicher Reiter empfohlen, die eine flexible Navigation zwischen verschiedenen Aspekten der Bauteilbetrachtung ermöglichen. In Zukunft ist vorgesehen, die Bauteile nach $\Delta OI3$ zu sortieren und mit einem Tortendiagramm zu visualisieren. Ein zweites Diagramm für den GWP biogenic soll den CO₂-Speicher darstellen, was insbesondere im Kontext des Holzbaus von Interesse ist. Zudem ist die Ergänzung der G-Werte der Fenster geplant, um solare Gewinne in der Planung zu berücksichtigen.

Die Entwicklung des Bauteilmonitors verdeutlicht die Relevanz einer interdisziplinären Kooperation zwischen der Softwareentwicklung und der Bauphysik. Die Entwicklung veranschaulicht exemplarisch, wie innovative digitale Lösungen dazu beitragen können, die Herausforderungen der nachhaltigen Gebäudeplanung und -sanierung zu bewältigen. Die Fähigkeit des Bauteilmonitors, komplexe Daten in umsetzbare Erkenntnisse zu übersetzen, lässt einen nachhaltigen Einfluss auf die Baubranche, sowie einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung von Klimazielen im Gebäudesektor erwarten.

6 INDEX

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.

6.1 Abbildungen

Abb. 1: Transmissions- und Lüftungswärmeverluste (u-wert.net, 2010)

Abb. 2: Heizwärmebedarf Erklärungsgrafik (Erstellt von Autorin im Rahmen eines Webinars für A-NULL Development, 2022)

Abb. 3: Tabelle 3 - Temperaturkorrekturfaktoren gegen Außenluft (ÖNORM B 8110-6, 2024, S. 15)

Abb. 4: Auszug von Tabelle 4 - Temperaturkorrekturfaktoren unconditionierter Räume (ÖNORM B 8110-6, 2024, S. 15)

Abb. 5: Tabelle 5 - Temperaturkorrekturfaktoren bodenberührter Bauteile (ÖNORM B 8110-6, 2024, S. 16)

Abb. 6: Heizgradtage Erklärungsgrafik (Erstellt von Autorin im Rahmen eines Webinars für A-NULL Development, 2022)

Abb. 7: Startbildschirm ArchiPHYSIK 21 (archiphysik.at, 2024)

Abb. 8: Erster Entwurf "Leitwertmonitor" (Erstellt von Autorin im Rahmen des Entwurfsprozess, 2024)

Abb. 9: Architektur hinter Bauteilmonitor (Erstellt von Autorin im Rahmen des Entwurfsprozess, 2024)

Abb. 10: Bauteilmonitor im Menü platzieren (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 11: Prozessablauf beim Starten (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 12: Bauteilmonitor Developer Ansicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 13: Druck-Formular Developer Ansicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 14: Userinterface mit neuer Berechnungsspalte und neuem Bild für Graphen (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 15: Druckformular mit neuem Graph und neuer Spalte (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 16: CAD-Modell in SketchUp - Standard Ansicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 17: SketchUp Bauteilansicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 18: SketchUp Zonenansicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 19: Erläuterung Einfärbung von Bauteilen in SketchUp (Erstellt von Autorin im Rahmen eines Webinars für A-NULL Development)

Abb. 20: Export Dialog in SketchUp (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 21: Neues ArchiPHYSIK Projekt (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 22: APS Modell wählen (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 23: Bauteile Übertragen (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 24: ArchiPHYSIK Bereich Bauteile (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 25: Beispiel Gebäude Überblick (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 26: Starten des Bauteilmonitors (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 27: *Funktionalität Überblick Bauteilmonitor* (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024))

Abb. 28: Zonenselektion (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 29: Alle Zonen anzeigen-Auswahl (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 30: Alle Zonen anzeigen (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 31: Zone DG-Ausbau-Auswahl (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 32: Zonenselektion - DG Ausbau (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 33: Zonenselektion - Bestandsgebäude (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 34: Zonenselektion - Zubau (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 35: Filtermethoden Übersicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

Abb. 36: Filterung nach Bauteilbezeichnung (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

- Abb. 37: Filterung nach Bauteiltyp (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)
- Abb. 38: Filterung nach opak und transparent (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)
- Abb. 39: CAD-Datei darstellen (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024))
- Abb. 40: APS-Viewer (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)
- Abb. 41: CAD-Selektion - Außenwand hinterlüftet bestand (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)
- Abb. 42: CAD Selektion - Alle Bauteile (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)
- Abb. 43: Kopie von Bauteilmonitor Tabelle eingefügt in Excel (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)
- Abb. 44: Formular neu (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)
- Abb. 45: Bauteilmonitor-Formulare finden/hinzufügen (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)
- Abb. 46: Bauteilmonitor-Formulare ausdrucken (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)
- Abb. 47: Alle Ausdruckformulare - Übersicht (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)
- Abb. 48: Berechnungsüberprüfung DG-Ausbau (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)
- Abb. 49: Auszug Monatsbilanz SK und Ausdruck Leitwert (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)
- Abb. 50: Überprüfung Tortendiagramm (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

6.2 Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung HWB (Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. 74)	14
Formel 2: Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) (Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. 20)	15
Formel 3: Wärmedurchgangswiderstand (Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. 20).....	15
Formel 4: Wärmedurchgangskoeffizient (DIN EN 673, 2003).....	15
Formel 5: Gesamtwärmedurchlasskoeffizient der Verglasung (DIN EN 673, 2003)	16
Formel 6: Wärmedurchlasskoeffizient des Gaszwischenraumes (DIN EN 673, 2003)	16
Formel 7: Wärmedurchgangskoeffizient (ON EN ISO 6946, 2018).....	16
Formel 8: Transmissionsleitwert in W/K (Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. Seite 18).....	20
Formel 9: Monatliche Transmissionsverluste (Riccabona & Bednar, 7. Auflage, 2008, S. 56)	21
Formel 10: Formelgrundlage für on b 8110-4 Formel B.1 (ÖNORM B 8110-4, 2023)	21
Formel 11: Monatlichen Transmissionswärmeverluste (Pöhn, Pech, Bednar, & Streicher, 2012, S. 33).....	21
Formel 12: Monatliche Wärmeverluste (Schild & Brück, Energie- Effizienzbewertung von Gebäuden - Anforderungen und Nachweisverfahren gem EnEV 2009, 2010, S. 79).....	21
Formel 13: Gleichung 4 – HGT22/14 (ÖNORM B 8110-5, 2024, S. 8)	23
Formel 14: Gleichung 105 – HGT (ÖNORM H 5056-1, 2024)	24
Formel 15: LT neue Berechnungsmethode in kWh/a (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024).....	50

6.3 Programmcode-Verzeichnis

Programmcode 1: Bauteilmonitor_Open Dialog.....	35
Programmcode 2: Bauteilmonitor_show	35
Programmcode 3: Auszug aus „Bauteilmonitor_Load“	38
Programmcode 4: Auszug aus BauteilmonitorLoadLB	39
Programmcode 5: Auszug aus "BauteilmonitorLoadLB"	39

Programmcode 6: Auszug aus "Bauteilmonitor_Load".....	39
Programmcode 7: Auszug aus "Bauteilmonitor_Load"	40
Programmcode 8: Auszug aus "BauteilmonitorLoadChoice2"	41
Programmcode 9: Auszug aus "BauteilmonitorLoadChoice3"	42
Programmcode 10: Auszug aus "Bauteilmonitor_Graph"	43
Programmcode 11: Auszug aus "Bauteilmonitor_Graph"	44
Programmcode 12: Auszug aus "Bauteilmonitor_Graph"	45
Programmcode 13: Auszug aus Objekt-Methode "[Inspektor].Bauteilmonitor.List Box"	47
Programmcode 14: Auszug aus "Bauteilmonitor_PriFo"	49

6.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erste Überprüfung der Berechnung (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024).....	77
Tabelle 2: Zweite Überprüfung der Berechnung – DG Ausbau (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)	79
Tabelle 3: Neuberechnung der Heizgradtage (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024).....	80
Tabelle 4: Dritte und letzte Überprüfung der Berechnung (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)	80

7 LITERATURVERZEICHNIS

4D. (2024). Von <https://de.4d.com/warum-4d> abgerufen

archiphysik.at. (2024). *ArchiPHYSIK - ENERGIEAUSWEIS UND BAUPHYSIK SOFTWARE*. Von A-NULL Development GmbH: www.archiphysik.at abgerufen

bimpedia.eu. (2024). Von <https://www.bimpedia.eu/artikel/1345-guid-globally-unique-identifizier> abgerufen

DIN EN 673. (2003). Deutsches Institut für Normung. *Glas im Bauwesen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) - Berechnungsverfahren*.

Ficher, J. S. (6. Auflage, 2008). *Lehrbuch der Bauphysik – Praxis*. ISBN 978-3-519-55014-3: Vieweg + Teubner Verlag.

Graphisoft Deutschland GmbH. (kein Datum). ARCHICAD. www.graphisoft.de.

Loga, T. (2004). *Die Heizperiodenbilanz - Abschätzung der Heizgrenztemperaturen und Bilanzzeiten für das Heizperiodenbilanzverfahren nach EN 832 / DIN V 4108-6*. INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GmbH, 64285 Darmstadt.

mep.trimble.com. (2023). Von <https://mep.trimble.com/de/resources/mep-blogs/transmissionswärmeverlust-berechnen-mit-präziser-berechnung-zu-mehr-energieeffizienz> abgerufen

Nielsen, J. (1994). *nngroup.com*. Von <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/> abgerufen

ON EN ISO 6946. (2018). Bauteile und Bauelemente — Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient — Berechnungsverfahren. In A. S. International.

ÖNORM B 8110-4. (2023). Wärmeschutz im Hochbau - Teil 4: Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes. In A. S. International.

ÖNORM B 8110-5. (2024). Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile. In A. S.-K. 175.

ÖNORM B 8110-6. (2024). Wärmeschutz im Hochbau - Teil 1: Grundlagen und Ermittlung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs. In A. S.-K. 175.

- ÖNORM EN ISO 10211. (2015). Austrian Standards International. *Wärmebrücken im Hochbau — Wärmeströme und Oberflächentemperaturen — Detaillierte Berechnungen.*
- ÖNORM EN ISO 6946. (2017). Austrian Standards International. *Bauteile und Bauelemente — Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient — Berechnungsverfahren.*
- ÖNORM EN ISO 9241-11. (2018). Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte. *Austrian Standards International - Komitee 052.*
- ÖNORM H 5050. (2024). Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Teil 2: Validierung des Gesamtenergieeffizienzfaktors, des Primärenergiebedarfs und der äquivalenten Kohlendioxidemissionen. In A. S.-K. 235.
- ÖNORM H 5056-1. (2024). Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Teil 1 Ermittlung des Heiztechnikenergiebedarfs. In A. S.-K. 235.
- Österreichisches Institut für Bautechnik. (2023). OIB Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz.
- Pech, A., & Pöhn, C. (2. Auflage, 2018). *Baukonstruktionen - Band 1 – Bauphysik.* ISBN 987-3-0356-0573-0: Birkenhäuser Verlag GmbH.
- Pöhn, C., Pech, A., Bednar, T., & Streicher, W. (2012). *Bauphysik - Erweiterung 1: Energieeinsparung und Wärmeschutz.* Wien: Springer-Verlag.
- Riccabona, C., & Bednar, T. (7. Auflage, 2008). *Baukonstruktionslehre 4 – Bauphysik.* ISBN 978-3-7068-3270-0: Manz Crossmedia GmbH & Co KG.
- Schild, K., & Brück, H. (2010). *Energie- Effizienzbewertung von Gebäuden - Anforderungen und Nachweisverfahren gem EnEV 2009.* Vieweg+Teubner.
- Schild, K., & Willems, W. (2013). *Wärmeschutz: Grundlagen - Berechnung - Bewertung, 2.Auflage.* Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Trimble Inc. (kein Datum). SKETCHUP. <https://www.trimble.com>.
- u-wert.net. (2010). Von <https://www.u-wert.net/wp-content/uploads/2010/05/waermeverlusteb.png> abgerufen
- VDI 2067 . (2012). Verein Deutscher Ingenieure, Bezirksverein Frankfurt-Darmstadt e.V. *Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung.*

8 ERKLÄRUNG DER AUTORIN

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe verfasst habe. Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Quellen und Hilfsmittel sind vollständig angegeben und als solche kenntlich gemacht.

Ich versichere, dass ich für sämtliche in dieser Arbeit präsentierten Grafiken, Abbildungen, Tabellen und Textpassagen, sofern nicht anders gekennzeichnet, alleinig verantwortlich bin und diese selbst erstellt habe.

Des Weiteren ist festzuhalten, dass das Grundprogramm "ArchiPHYSIK" nicht bzw. lediglich Teile davon auf eigener Entwicklung basieren. Der "Bauteilmonitor", eine Erweiterung für ArchiPHYSIK, stellt jedoch das Kernstück meiner Arbeit dar, welches von mir eigenständig konzipiert, designt und implementiert wurde.

Des Weiteren bestätige ich, dass alle in dieser Arbeit beschriebenen und angewandten Methoden von mir selbst programmiert und implementiert wurden, es sei denn, es ist explizit anders vermerkt.

9 GLOSSAR

1. **ArchiPHYSIK:** Eine umfassende Softwarelösung für die Erstellung von Bauphysik-Gutachten und Nachweisen zu Wärme, Schall, Dampfdiffusion, Energieausweisen und Ökologie für ein- und mehrzonige, Wohn- und Nichtwohngebäude.
2. **Bauteilmonitor:** Eine Erweiterung für ArchiPHYSIK, die eine schnelle und effiziente Identifizierung von Energiefressern in Gebäuden ermöglicht durch die Analyse der Leitwerte von Bauteilen.
3. **Heizgradtage (HGT):** Ein Maß für den Zusammenhang zwischen der Raumtemperatur und der Außenlufttemperatur während der Heizperiode, das für die Berechnung des Heizwärmebedarfs verwendet wird.
4. **Leitwert:** Ein bauphysikalischer Kennwert, der den Wärmefluss pro Kelvin Temperaturdifferenz angibt und in Watt pro Kelvin (W/K) gemessen wird.
5. **Temperaturkorrekturfaktoren:** Faktoren, die bei der Berechnung der Transmissionswärmeverluste verwendet werden, um die unterschiedlichen Temperaturverhältnisse von Bauteilen zu berücksichtigen, die an das Erdreich oder unbeheizte Räume grenzen.
6. **Transmissionsleitwert:** Der Quotient aus längenbezogenem Wärmestrom und Temperaturdifferenz zwischen zwei wärmetechnisch durch die betrachtete Konstruktion in Verbindung stehenden Umgebungen.

- 6. U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient):** Ein Maß für den Wärmedurchgang durch ein Bauteil, das in Watt pro Quadratmeter und Kelvin (W/m^2K) angegeben wird.
- 7. Wärmebrücke:** Ein Bereich in Bauteilen, an dem ein erhöhter Wärmefluss auftritt, was zu erhöhten Energieverlusten und möglichen bauphysikalischen Problemen führen kann.
- 8. Energieeffizienz:** Der effiziente Einsatz von Energie, um den Energieverbrauch zu minimieren, während die gewünschte Leistung oder der Komfort aufrechterhalten wird.
- 9. Energieausweis:** Ein Dokument, das die Energieeffizienz eines Gebäudes bewertet und Informationen über den Energieverbrauch und die energetische Qualität bereitstellt.
- 10. Dampfdiffusion:** Der Prozess, durch den Wasserdampf durch Materialien hindurch wandert, was für die Bauphysik von Bedeutung ist, um Feuchtigkeitsschäden zu vermeiden.
- 11. Ökologische Bewertung:** Eine Analyse der Umweltauswirkungen eines Gebäudes über seinen gesamten Lebenszyklus, einschließlich der Ressourcenverwendung, der Energieeffizienz und der Abfallproduktion.
- 12. CAD (Computer-Aided Design):** Software, die zur Erstellung präziser Zeichnungen und technischen Illustrationen verwendet wird, insbesondere in der Architektur und im Ingenieurwesen.
- 13. BIM (Building Information Modeling):** Eine digitale Darstellung der physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Gebäudes, die als gemeinsame Wissensbasis für Informationen über das Gebäude dient.

- 14. APS-Modell** „ArchiPHYSIK Schnittstelle“ Das 3D-Modell wurde unter Zuhilfenahme einer der ArchiPHYSIK-Schnittstellen in SketchUp oder ArchiCAD erstellt.
- 15. Wärmedämmung:** Materialien oder Maßnahmen, die den Wärmeverlust eines Gebäudes reduzieren, um die Energieeffizienz zu verbessern.
- 16. Lüftungswärmeverluste:** Wärmeverluste, die durch den Austausch von warmer Innenluft mit kalter Außenluft entstehen, typischerweise durch undichte Stellen oder Lüftungssysteme.
- 17. Normative Grundlagen:** Vorschriften oder Standards, die die Anforderungen an die Planung, den Bau und die Nutzung von Gebäuden festlegen, um sicherzustellen, dass sie sicher, nachhaltig und energieeffizient sind.
- 18. Leitwertberechnung:** Der Prozess zur Bestimmung des Leitwerts eines Bauteils, der angibt, wie viel Wärme durch das Bauteil bei einer bestimmten Temperaturdifferenz verloren geht.

10 ANHANG

10.1 Monatsbilanz HWB SK

Anhang 1 stellt die im Kapitel 2.3.2 erwähnte Monatsbilanz HWB SK aus dem Musterprojekt dar.

10.2 Leitwerte Zone DG-Ausbau

Anhang 2 stellt den im Kapitel 2.3.2 erwähnten Ausdruck der Leitwerte, der Zone DG-Ausbau dar.

10.3 Bauteilmonitor Ausdrücke

10.3.1 Zusammengefasst nach Bauteilbezeichnung

Anhang 3 stellt den Ausdruck des Bauteilmonitors, zusammengefasst nach Bauteilbezeichnung dar.

10.3.2 Zusammengefasst nach Bauteiltyp

Anhang 4 stellt den Ausdruck des Bauteilmonitors, zusammengefasst nach Bauteiltyp dar.

10.3.3 Zusammengefasst nach opak/transparent

Anhang 5 stellt den Ausdruck des Bauteilmonitors, zusammengefasst nach opak und transparent dar.

Monatsbilanz Heizwärmebedarf, Standort

Diplomarbeitsprojekt - DG Ausbau

Volumen beheizt, BRI: 750,12 m³

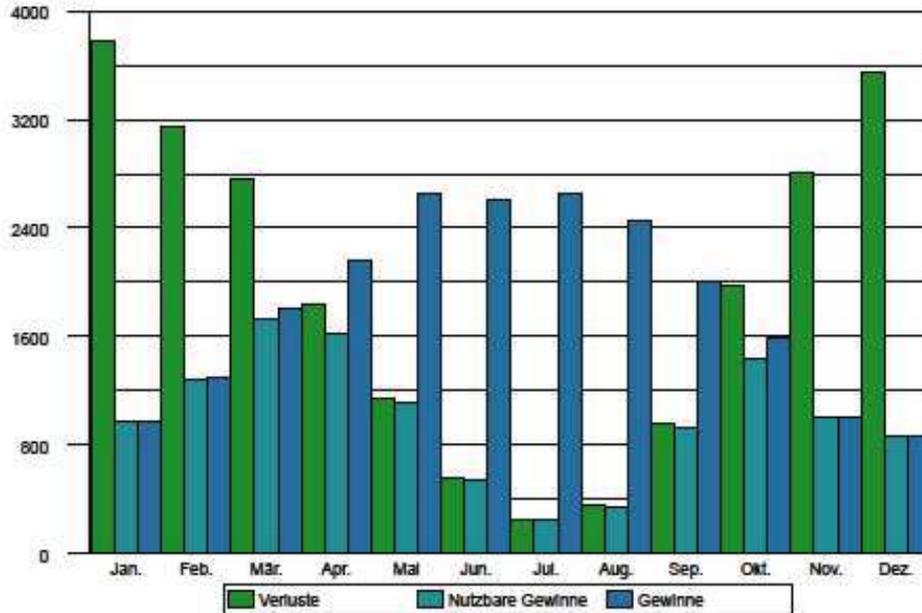
mittelschwere Bauweise

Geschoßfläche, BGF: 290,00 m²

Wien-Innere Stadt, 171 m

Heizgradtage HGT (22/14): 3 842 Kd

	Außen °C	HT d	QT kWh	QV kWh	eta -	eta Qs kWh	eta Qi kWh	Q h kWh
Jan.	-0,37	31,00	2 826	956	0,999	518	512	2 751
Feb.	1,40	28,00	2 351	795	0,993	868	460	1 818
Mär.	5,63	31,00	2 068	699	0,953	1 286	489	992
Apr.	10,75	14,55	1 375	465	0,751	1 290	373	86
Mai	15,19		860	291	0,422	926	216	-
Jun.	18,59		417	141	0,210	454	104	-
Jul.	20,49		191	65	0,095	207	49	-
Aug.	19,90		265	90	0,142	282	73	-
Sep.	16,09		722	244	0,466	724	231	-
Okt.	10,32	24,29	1 475	499	0,905	1 014	464	388
Nov.	4,82	30,00	2 101	710	0,996	560	494	1 757
Dez.	1,04	31,00	2 648	896	0,999	407	512	2 624
		189,84	17 299	5 850		8 537	3 976	10 417 kWh



Leitwerte

Diplomarbeitenprojekt - DG Ausbau

DG Ausbau

... gegen Außen	Le	154,36	
... über Unbeheizt	Lu	0,00	
... über das Erdreich	Lg	0,00	
... Leitwertzuschlag für linienförmige und punktförmige Wärmebrücken		15,43	
Transmissionsleitwert der Gebäudehülle	LT	169,80	W/K
Lüftungsleitwert	LV	57,42	W/K
Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient	Um	0,341	W/m ² K

... gegen Außen, über Unbeheizt und das Erdreich

Bauteile gegen Außenluft

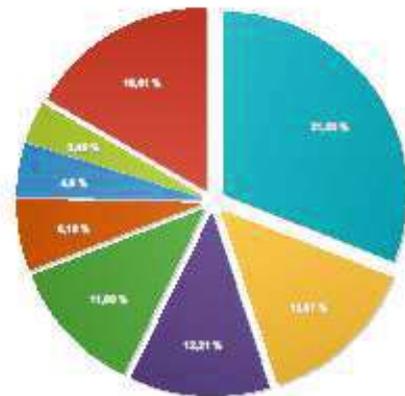
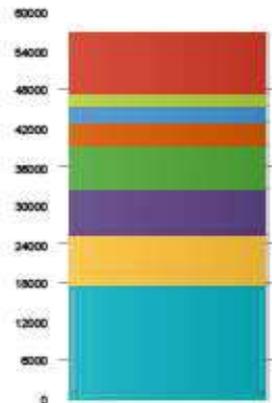
		m ²	W/m ² K	f	f FH	W/K
Nord						
AF03	Neubau Fenster	24,20	0,730	1,0		17,67
AWh	Außenwand hinterlüftet	36,00	0,208	1,0		7,49
AWh	Außenwand hinterlüftet	0,00	0,208	1,0		0,00
		60,20				25,16
Nord, 45° geneigt						
0001	Außendach hinterlüftet	29,38	0,173	1,0		5,08
		29,38				5,08
Ost						
AF03	Neubau Fenster	12,10	0,730	1,0		8,83
AF03	Neubau Fenster	12,10	0,730	1,0		8,83
0012	Wand gg unbeh Dachraum	15,75	0,180	1,0		2,84
AWh	Außenwand hinterlüftet	30,75	0,208	1,0		6,40
AWh	Außenwand hinterlüftet	0,00	0,208	1,0		0,00
		70,70				26,90
Ost, 45° geneigt						
0001	Außendach hinterlüftet	32,50	0,173	1,0		5,62
		32,50				5,62
Süd						
AF03	Neubau Fenster	12,10	0,730	1,0		8,83
AF03	Neubau Fenster	12,10	0,730	1,0		8,83
0012	Wand gg unbeh Dachraum	0,38	0,180	1,0		0,07
AWh	Außenwand hinterlüftet	47,25	0,208	1,0		9,83
AWh	Außenwand hinterlüftet	0,00	0,208	1,0		0,00
		71,83				27,56
Süd, 45° geneigt						
0001	Außendach hinterlüftet	10,00	0,173	1,0		1,73
		10,00				1,73
West						
AF03	Neubau Fenster	36,30	0,730	1,0		26,50
0012	Wand gg unbeh Dachraum	11,63	0,180	1,0		2,09
AWh	Außenwand hinterlüftet	30,00	0,208	1,0		6,24
AWh	Außenwand hinterlüftet	0,00	0,208	1,0		0,00
		77,93				34,83

Anhang 3: Bauteilmonitor Ausdruck – Bauteilbezeichnung (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

1

Bauteilmonitor Auswertung - Zusammengefasst nach Bauteilbezeichnung

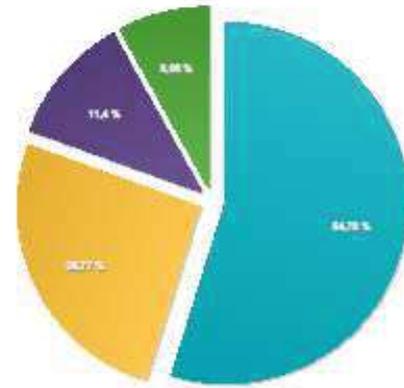
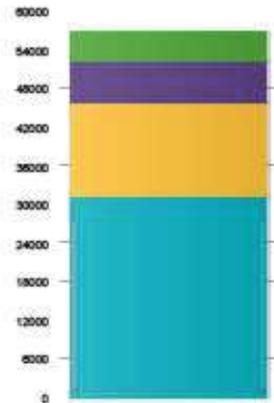
Diplomarbeitprojekt



Typ	Bt.Nr.	Bezeichnung	U-Wert Win/K	Anzahl	Fläche	Korrekturfaktor	Leitwert kWh/a	Leitwert WK
	AW	AWB	Außenwand Bestand	1,500	134,70	1,00	17 660,79	202,05
	AW	AWhB	Außenwand hinterlüftet Bestan	0,373	243,90	1,00	7 952,38	90,98
	AF	AF03	Neubau Fenster	0,730	9	108,90	6 948,06	79,49
	AF	AF01	Fenster Bestand	2,500	17	30,94	6 761,01	77,35
	EBu	0006	Decke gg Keller	1,200	48,00	0,70	3 524,29	40,32
	AW	AWh	Außenwand hinterlüftet	0,208	144,00	1,00	2 618,74	29,96
	AD	0001	Außendach hinterlüftet	0,173	131,51	1,00	1 988,53	22,75
	EBu	0005	Bodenplatte bis 1,5m	0,265	114,00	0,70	1 848,68	21,15
	AW	0010	Erdb. Wand bis 1,5m	0,341	51,00	1,00	1 520,03	17,39
	AD	0007	Decke gg unbeh Dachraum	0,202	85,00	1,00	1 500,80	17,17
	AD	0001	Außendach hinterlüftet Zubau	0,208	60,00	1,00	1 090,85	12,48
	AW	0009	Erdb. Wand ab 1,5m (2)	0,341	33,00	1,00	983,34	11,25
	AF	AF02	Fenster Anbau	2,000	3	5,46	954,50	10,92
	EBu	0004	Bodenplatte ab 1,5m	0,265	48,00	0,70	777,93	8,90
	AW	0012	Wand gg unbeh Dachraum	0,180	27,76	1,00	437,04	5,00
	EBu	0008	Decke ü Durchfahrt	0,173	32,00	0,70	339,14	3,88

Bauteilmonitor Auswertung - Zusammengefasst nach Bauteil-Typ

Diplomarbeitsprojekt



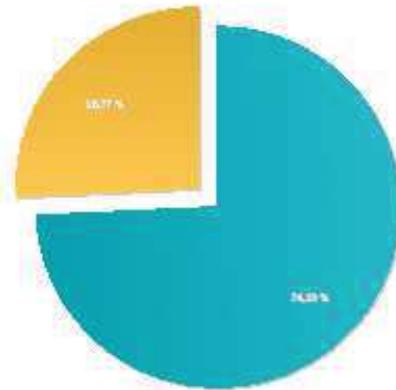
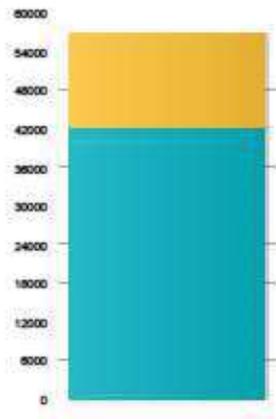
Typ	Bd.Nr.	Bezeichnung	U-Wert Wim²K	Anzahl	Fläche	Korrekturfaktor	Leitwert kWh/a	Leitwert WK
AW	0012, AWB,	Außenwand	0,570		634,36	1,00	31 171,44	356,62
AF	01, AF02, AF	Außenfenster	1,140	29	145,30	1,00	14 664,44	167,77
EBu	0005, 0006,	Erdanliegende Bodenplatte bis	0,430		242,00	0,70	6 490,04	74,25
AD	0001, 0007	Außendecke	0,200		276,51	1,00	4 580,18	52,40

Anhang 5: Bauteilmonitor Ausdruck – Opak/Transparent (Erstellt von Autorin im Rahmen dieser Arbeit, 2024)

3

Bauteilmonitor Auswertung - Zusammengefasst Opak und Transparent

Diplomarbeitprojekt



Typ	Bil.Nr.	Bezeichnung	U-Wert Wim ² /K	Anzahl	Fläche	Korrekturfaktor	Leitwert kWh/a	Leitwert WIK
Opak	0008, 0009,	opake Bauteile	0,450		1 152,87		42 240,79	483,26
Trans	01, AF02, Af	Fenster	1,150	29	145,30		14 664,44	167,77