

Anwendungswerkstatt UIW

WS 2015/2016

Bericht zur Erstellung eines Energiebedarfsaus-
weis eines Bestandsgebäudes

—

Organisches Chemiegebäude RWTH Aachen

2030 | 2031

Lehrstuhl Energieeffizientes Bauen E3D

vorgelegt von:

Michael Kamphans, 313834

Stefan Kruff, 314430

Christophe Armbrorst, 308637

Patrick Henkel, 311763

Aachen, 20.01.2016

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorgelegte Schriftliche Hausarbeit selbständig verfasst und - einschließlich eventuell beigefügter Abbildungen und Skizzen keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen, Darstellungen und Hilfsmittel benutzt habe. Dies gilt in gleicher Weise für gedruckte Quellen wie für Quellen aus dem Internet.

Ich habe alle Passagen und Sätze der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinne nach anderen Werken entnommen sind, in jedem einzelnen Fall unter genauer Angabe der Stelle ihrer Herkunft deutlich als Entlehnung gekennzeichnet.

Außerdem erkläre ich, dass die vorgelegte Arbeit zuvor weder von mir noch - soweit mir bekannt ist - von einer anderen Person an dieser oder einer anderen Universität eingereicht wurde.

Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandlungen gegen diese Erklärung eine Benotung der Arbeit mit der Note "nicht ausreichend" zur Folge haben.

Aachen, 20.01.2016

Stefan Kruff

Michael Kamphans

Christophe Armborst

Patrick Henkel

Inhaltsverzeichnis

EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	II
INHALTSVERZEICHNIS	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IV
TABELLENVERZEICHNIS	V
1 EINLEITUNG	1
2 STAND DER TECHNIK	4
2.1 Energieausweis – Einführung	4
2.2 SolarComputer	4
3 DATENERFASSUNG/-VERARBEITUNG	5
3.1 Gebäudebegehung	5
3.2 Übertragung der Daten in SolarComputer	9
4 ERGEBNISSE	14
5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	17
6 LITERATURVERZEICHNIS	18
7 ANHANG	19

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: INSTITUTSGEBÄUDE ORGANISCHE CHEMIE	1
ABBILDUNG 2: STANDORT IN OPENSTREETMAP	2
ABBILDUNG 3: CHARAKTERISTISCHER GRUNDRISS DES HAUPTGEBÄUDES	3
ABBILDUNG 4: CHARAKTERISTISCHER GRUNDRISS DES TURMS	3
ABBILDUNG 5: WÄRMEVERSORGUNG (L.: VORLAUF; R.: RÜCKLAUF)	5
ABBILDUNG 6: ABLUFTANLAGE	6
ABBILDUNG 7: FLUR	7
ABBILDUNG 8: ERSTELLUNG EINES MEHRSCHICHTIGEN BAUTEILS MITTELS SOLARCOMPUTER - SCHRITT 1	10
ABBILDUNG 9: ERSTELLUNG EINES MEHRSCHICHTIGEN BAUTEILS MITTELS SOLARCOMPUTER - SCHRITT 2	10
ABBILDUNG 10: ERSTELLUNG EINES MEHRSCHICHTIGEN BAUTEILS MITTELS SOLARCOMPUTER - SCHRITT 3	11
ABBILDUNG 11: BEISPIELRAUM	12
ABBILDUNG 12: ÜBERSICHT EINGABEMASKE SOLARCOMPUTER FÜR DIE ANLAGENTECHNIK	13
ABBILDUNG 13: ÜBERSICHT ANLAGENSCHEMA	13
ABBILDUNG 14: ENERGIEAUSWEIS – KURZÜBERSICHT	14
ABBILDUNG 15: PRIMÄRENERGIE – ZONEN	15
ABBILDUNG 16: WÄRMEQUELLEN	15
ABBILDUNG 17: BAUTEILTRANSMISSION	16
ABBILDUNG 18: GRUNDRISS 2030 1.UG	19
ABBILDUNG 19: GRUNDRISS 2030 EG	19
ABBILDUNG 20: GRUNDRISS 2030 1.OG	19
ABBILDUNG 21: GRUNDRISS 2030 2.OG	20
ABBILDUNG 22: GRUNDRISS 2030 3.OG	20
ABBILDUNG 23: GRUNDRISS 2031 1.UG	21
ABBILDUNG 24: GRUNDRISS 2031 EG	21
ABBILDUNG 25: GRUNDRISS 2031 1.OG	22
ABBILDUNG 26: GRUNDRISS 2031 2.OG	22
ABBILDUNG 27: GRUNDRISS 2031 3.OG	23
ABBILDUNG 28: GRUNDRISS 2031 4.OG	23
ABBILDUNG 29: GRUNDRISS 2031 5.OG	24
ABBILDUNG 30: GRUNDRISS 2031 6.OG	24
ABBILDUNG 31: GRUNDRISS 2031 7.OG	25
ABBILDUNG 32: SCHRITT 1: EINGABE DER ALLGEMEINEN DATEN - GEBÄUDE	26
ABBILDUNG 33: SCHRITT 1: EINGABE DER ALLGEMEINEN DATEN - BODENPLATTE	27
ABBILDUNG 34: SCHRITT 1: EINGABE DER ALLGEMEINEN DATEN - WÄRMEBRÜCKEN	28
ABBILDUNG 35: SCHRITT 1: EINGABE DER ALLGEMEINEN DATEN - BAUSCHWERE / LUFTWECHSEL	29
ABBILDUNG 36: ERGEBNIS DER BERECHNUNG MITTELS SOLARCOMPUTER - MITTLERE WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN	30
ABBILDUNG 37: BEREICH DES TREPPENAUFGANGES MIT BESONDEREM MERKMAL DER HOHEN DECKEN.	30
ABBILDUNG 38: INSTALLIERTE BELEUCHTUNG	31
ABBILDUNG 39: ÄUßERE KLINKERSCHICHT DER AUßENWAND OW	31

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: AUFBAU UND DICKE DER GEBÄUDEBAUTEILE	7
TABELLE 2: ZONENEINTEILUNG	12

1 Einleitung

Die Energieeinsparverordnung EnEV stellt im Rahmen der deutschen Klimaschutzpolitik ein wichtiges Instrument zur Einsparung von Energie in Gebäuden dar. Insbesondere die Modernisierung von Gebäuden sowie die Nutzung von erneuerbaren Energien in Gebäuden sind zentrale Bestandteile der Energiepolitik. Die Dokumentation der Energiebilanz von Gebäuden erfolgt in Form eines Energieausweises, welcher bei Errichtung, Änderung sowie bei der Erweiterung von Gebäuden auszustellen ist. Die rechtlichen Grundlagen für Erstellung, Verwendung und Grundsätze des Energieausweises sind in der Energieverordnung EnEV festgeschrieben.

Um sich mit der Thematik *Energieausweis* intensiver auseinanderzusetzen, ist es das Ziel dieser Arbeit einen Energieausweis für ein vorgegebenes Gebäude zu erstellen. Dabei handelt es sich um ein Gebäude der RWTH Aachen im Landoltweg, in welchem das Institut für Organische Chemie untergebracht ist.



Abbildung 1: Institutsgebäude Organische Chemie

Die vorliegende Arbeit stellt eine Dokumentation der Arbeitsschritte bei der Erstellung eines Bedarfsausweises für ein Bestandsgebäude dar. Dabei wird zunächst die Datenerfassung in Form einer Ortsbegehung beschrieben und in diesem Zusammenhang aufgetretene Probleme erläutert. Während der Ortsbegehung werden **Informationen über Geometrie des Gebäudes und Gebäudetechnik** gesammelt, die später bei der Erstellung des Energieausweises relevant sind bzw. der Begründung von Annahmen

dienen. Im Anschluss werden die erhobenen Daten digitalisiert und aufbereitet. Dazu dient die Software *SolarComputer* um das Bestandsgebäude nachzubilden und Energiebilanzen darzustellen sowie auswerten zu können. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Gebäudegeometrie und seinen Eigenschaften, während die Anlagentechnik vereinfacht und durch Annahmen ergänzt behandelt wird. Das Ergebnis der Projektarbeit stellt der Energieausweis für das o.g. Gebäude dar.

In Abbildung 1 sind die Gebäude 2030 und 2031 des Instituts für Organische Chemie der RWTH Aachen untergebracht. Diese Arbeit beschränkt sich bei der Erstellung des Energieausweises auf den in Abbildung 2 rot gekennzeichneten Bereich des Gebäudes. Dieser lässt sich wiederum in zwei verschiedene Gebäudetrakte unterteilen; einen vier-geschossigen und einen acht-geschossigen Trakt (vgl. Abbildung 1).

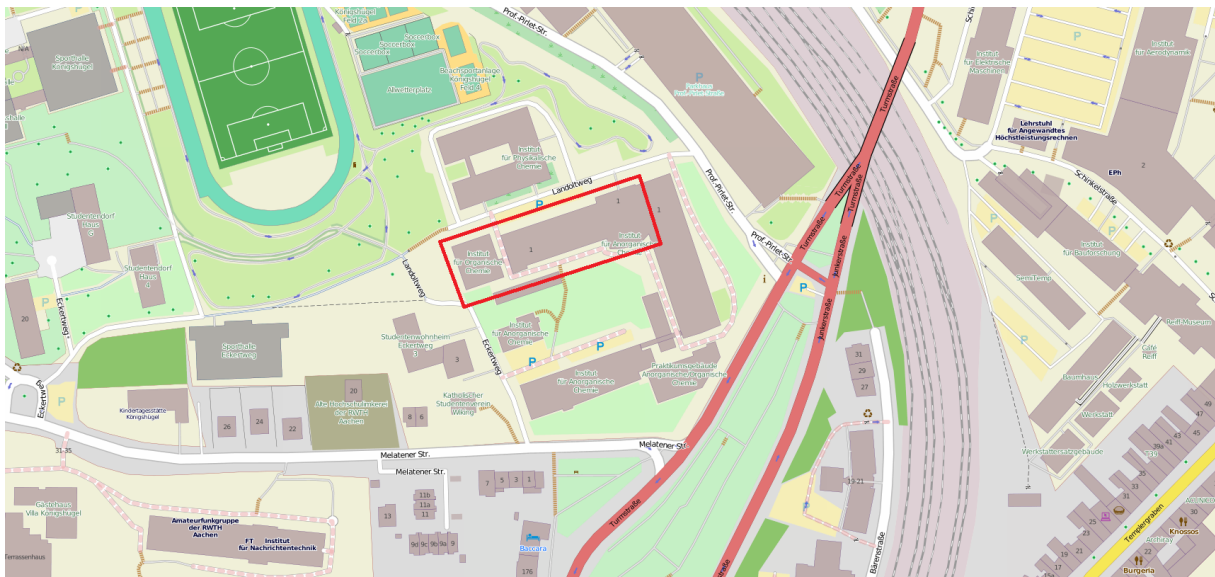


Abbildung 2: Standort in Openstreetmap

Im Folgenden wird der acht-geschossige Gebäudetrakt als *Turm* bezeichnet. Diesem sind außerdem die Grundrisse mit der Gebäudenummer 2031 im Anhang zugeordnet. Der vier-geschossige Gebäudetrakt hat die Gebäudenummer 2030 und wird als *Hauptgebäude* benannt. Das Hauptgebäude wurde im Jahr 1954 erbaut, während der Turm 1969 errichtet wurde.

Das Hauptgebäude beherbergt neben Büro- und Laborräumen zusätzliche Hörsäle, während der Turm hauptsächlich Büro- und Laborräume beinhaltet. Im siebten Obergeschoss des Turms befindet sich außerdem die Lüftungszentrale sowie im Keller des Turms die Technik- und Versorgungszentrale. Darüber hinaus verfügen beide Gebäudeteile über Sanitäreinrichtungen. Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen jeweils einen charakteristischen Grundriss für beide Trakte.

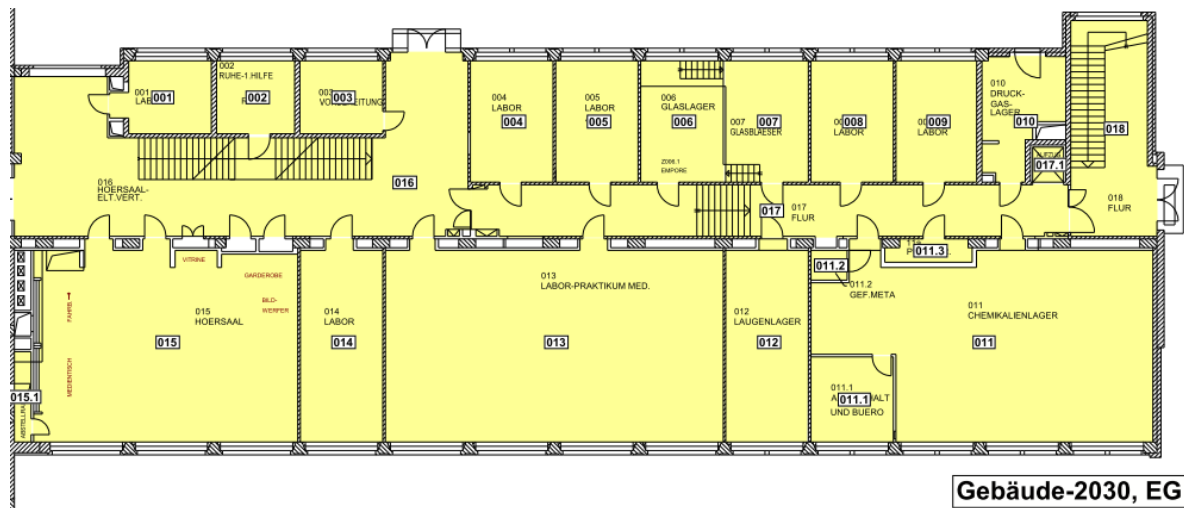


Abbildung 3: Charakteristischer Grundriss des Hauptgebäudes

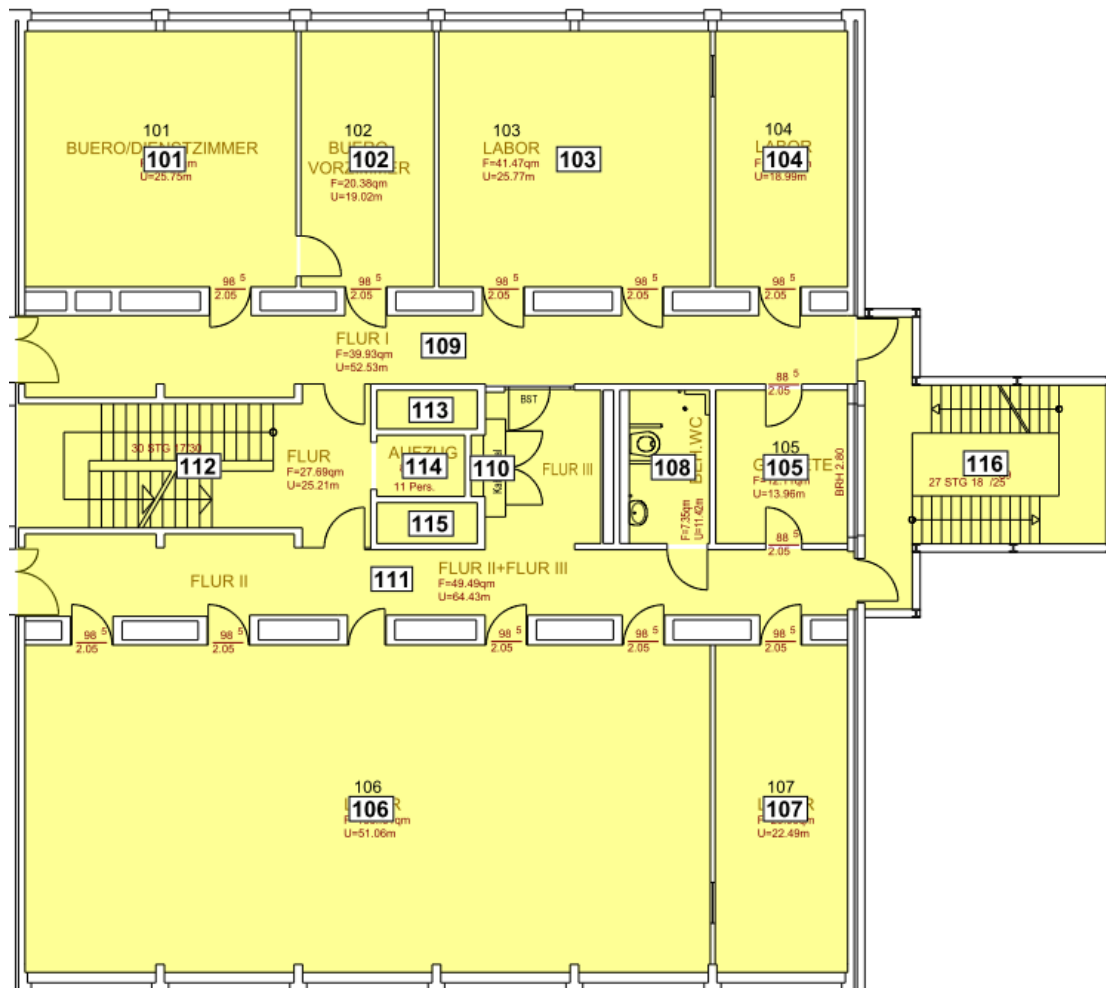


Abbildung 4: Charakteristischer Grundriss des Turms

2 Stand der Technik

2.1 Energieausweis – Einführung

Mit der Einführung der Energieausweise im Bausektor im Jahre 2007 wurden seitens der Politik vielfältige Ziele verfolgt. Zunächst einmal wurde damit die EU-Richtlinie zur EPBD (Energy Performance Building Directive) umgesetzt. Darüber hinaus sollten die Treibhausgasemissionen bis 2020 gegenüber 1990 verringert werden und eine Markttransparenz im Gebäudesektor zur bundesweiten Vergleichbarkeit sollte geschaffen werden. Zuletzt sollten auch Gütesiegeln anhand von Energiekennzahlen eingeführt werden, die im Zusammenspiel mit den energetischen Empfehlungen für Gebäudekonzepte zu einem Konjunkturaufschwung im Baugewerbe führen sollten.¹

Die normativen sowie rechtlich verbindlichen Anforderungen zum Energieausweis werden in Deutschland in der Energieeinsparverordnung (EnEV) geregelt. Mit der Neufassung der EnEV im Jahre 2007 wurden erstmals auch Regelungen für bestehende Gebäude erfasst. Grundsätzlich wird nach § 17 EnEV zwischen einem Energiebedarfs- und -verbrauchsausweis unterschieden. Die einzelnen Regelungen für die Unterscheidung sowie die jeweilige Anwendung werden in der EnEV in den Paragraphen 18 und 19 getroffen. Unabhängig von der Art des Ausweises verliert dieser nach zehn Jahren seine Gültigkeit. Da im Rahmen dieser Projektarbeit ein Energiebedarfsausweis in seinen Grundzügen für ein Bestandsgebäude erstellt werden soll, wird sich im Folgenden auf diesen Anwendungsbereichs beschränkt. Daher gelten die Berechnungen des § 9 Abs. 2 der EnEV, sowie die Angabevorschriften für die Energiebedarfswerte der Anlagen 6 bis 8 entsprechend.

Diese, sowie weitere Berechnungsvorschriften sind in dem verwendeten Programm der Firma SolarComputer bereits enthalten. Daher soll im Folgenden durch die Beschreibung der Vorgehensweise im Programm die Erstellung des Ausweises Schritt für Schritt erläutert werden.

2.2 SolarComputer

Die Software der Firma SolarComputer gilt als anerkanntes Standard- und Referenzprogramm für deutsche Behörden zur Erstellung und Überprüfung von Energieausweisen. Angeboten werden Softwarepakete für die Bereiche Energie, Bauphysik, Heizung, Sanitär, Klima, Lüftung, sowie zur Gebäude- und Anlagensimulation. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Programme für die Bauphysik (*Bauteile Hochbau*) sowie für den Energiebereich (*Energieeffizienz EnEV 2014*) angewendet.

So umfasst das Paket *Bauteile Hochbau* das Programm zum Berechnen und Verwalten von Baustoffen und Bauteilen. So können bspw. U-Werte direkt aus dem Schichtaufbau berechnet werden. Auch eine detaillierte Fenster-Berechnung sowie eine Schichtdicken-Optimierung sind hier u.A. integriert.

¹ Wesselak, V., Schabbach, T.: Energie, Springer, Heidelberg 2012.

Das Programm *Energieeffizienz EnEV 2014* dient zur Erstellung von bedarfs- und verbrauchsorientierten Energieausweisen gemäß EnEV / DIN V 18599 sowie des EEWärmeG. Bearbeitet werden können sowohl Wohn- als auch Nichtwohngebäude als Ein- oder Mehrzonenmodell. Ebenfalls erfolgt die Eingabe der TGA im Zusammenhang mit der Gebäudeversorgung.²

3 Datenerfassung/-verarbeitung

3.1 Gebäudebegehung

Um Informationen über die Geometrie des Gebäudes und die installierte Haustechnik sammeln zu können, fand eine **Ortsbegehung** in Begleitung des **zuständigen Facility Managers** statt. Aus den gesammelten Daten kann im Anschluss mit Hilfe von Grundrissen des Gebäudes die Situation in Solar-Computer nachgebildet werden und die Versorgungsstruktur beschrieben werden.

Zunächst wurde die Technikzentrale, insbesondere die Wärmeversorgung, im Keller des Hauptgebäudes begutachtet. Das vorliegende Gebäude wird über das zentrale Fernwärmenetz der RWTH Aachen versorgt. Die Technikzentrale des Turms beherbergt darüber hinaus auch die Verteilung der Versorgungsströme für die benachbarten Gebäude, sodass als erstes die für das vorliegende Gebäude relevanten Versorgungsströme der Wärmeversorgung (Abbildung 5) identifiziert werden mussten und Informationen über Volumenströme, Druck und Temperatur gesammelt wurden.



Abbildung 5: Wärmeversorgung (l.: Vorlauf; r.: Rücklauf)

Der interne Wärmeversorgungsstrom ist über Wärmetauscher von dem zentralen Fernwärmenetz der RWTH abgekoppelt. Von dort ergibt sich die Verteilung der Versorgungsströme durch Pumpen auf die einzelnen Teile des Gebäudes.

² www.solar-computer.de/

Im Anschluss wurde die Luftversorgungszentrale im siebten Obergeschoss des Turms besichtigt. Diese beinhaltet die Versorgungseinrichtungen unterteilt nach der Nord- und Südseite des Gebäudekomplexes. Dort sind jeweils Zu- und Abluftanlagen, Heizung, Kühlregister und Wärmerückgewinnung untergebracht. Abbildung 6 zeigt exemplarisch einen Teil einer der beiden Abluftanlagen. Anschließend wurden noch Informationen über die Gebäudeausstattung erhoben.



Abbildung 6: Abluftanlage

Die Ermittlung der Aufmaße erfolgte vor Ort mit Hilfe eines Laserentfernungsmessegerätes von Hilti und nach Maßgabe der EnEV 2009. Dort heißt es in § 9 Abs. 2 Nr. 1: „Soweit Angaben zu geometrischen Abmessungen von Gebäuden fehlen, können diese durch vereinfachtes Aufmaß ermittelt werden“. Diese Situation war hier gegeben, da zu dem begutachteten Gebäude nur Grundrisse ohne Bemaßung vorlagen. So musste ein Maßstab bestimmt werden mit dessen Hilfe im Anschluss die tatsächlichen Maße aus den Grundrissen errechnet werden konnten. Um Ungenauigkeiten zu minimieren, wurde die Länge einer möglichst langen Strecke ermittelt. Mit zunehmender Länge einer Strecke verlieren die Ungenauigkeiten bei der Längenermittlung an Gewicht, sodass der daraus errechnete Maßstab an Genauigkeit gewinnt. Aus diesem Grund wurden die Längen von jeweils einem Flur für jeden Gebäudetrakt ermittelt, da die Darstellung in den Grundrissen durch unterschiedliche Maßstäbe vorliegt. Aus den tatsächlich ermittelten Längen und den aus den Grundrissen bestimmten Längen konnten für die Grundrisse mit der Gebäudenummer 2030 ein Maßstab von 1:200 und für die Grundrisse mit der Gebäudenummer 2031 ein Maßstab von 1:120 errechnet werden.

Zusätzlich wurde die Art der Beleuchtung sowohl auf den Fluren als auch in den Räumen des Gebäudes bestimmt (vgl. Abbildung 7). Es handelt sich um eine manuelle Steuerung der Beleuchtung ohne Präsenzerfassung, welche durch die Installation von 36 Watt OSRAM Leuchtstoffröhren in abgehängten Decken umgesetzt wurde (vgl. Abbildung 38). Diese Situation war im gesamten Gebäude vorzufinden.

Die Flure waren durch Feuersicherheitstüren mit Einfachverglasung im Kunststoffrahmen voneinander abgetrennt.

Die Türen zu den Büro- und Laborräumen waren einfache furnierte Holztüren. Bei den Fenstern in den Fluren sowie den Räumen handelt es sich um Fenster mit Zweifachverglasung in einem Kunststoffrahmen.

Laborräume und Verkehrsflächen verfügen über eine kontinuierlich betriebene Be- und Entlüftungsanlage mit einer Nachtabsenkung ab 18:00 Uhr. Die Büros hingegen verfügen nicht über solche Anlagen. Durchschnittlich sind die Büro- und Laborräume mit zwei Arbeitsplätzen besetzt. Die Bruttogeschosshöhe beträgt 5,10 Meter; die lichte Raumhöhe beträgt im Durchschnitt wegen der abgehängten Decken 2,85 Meter.

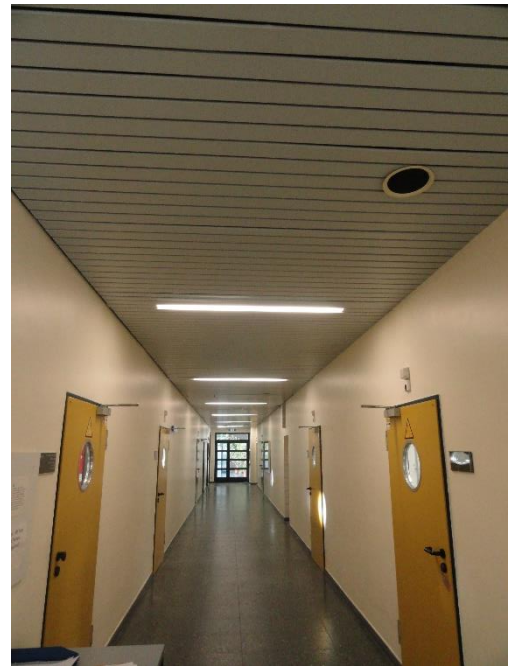


Abbildung 7: Flur

Als nächstes wurde der Aufbau von Innen- und Außenwänden bestimmt. Dabei musste nach Außenwänden auf der Nord- und Südseite sowie Ost- und Westseite des Gebäudes unterschieden werden, da sie einen unterschiedlichen Aufbau aufweisen. Auch bei den Innenwänden waren jeweils Unterschiede festzustellen. Da diese nur sehr gering waren, wurden zur Vereinfachung eine dicke Innenwand und eine dünne Innenwand angenommen. Der Aufbau von innen nach außen der einzelnen Wände, sowie der weiteren Bauteile kann Tabelle 1 entnommen werden. Eine detailliertere Erfassung der örtlichen Gegebenheiten war in diesem Fall nicht möglich, da kein Zugang zu allen Räumen des Gebäudes bestand. Daher wurden exemplarisch jeweils einige Labor- und Büroräume besichtigt. Da nur geringfügige Unterschiede zwischen den einzelnen Räumen festzustellen waren, wurden die vorgefundenen Gegebenheiten auch für die übrigen nicht besichtigten Räume einheitlich übernommen.

Tabelle 1: Aufbau und Dicke der Gebäudebauteile

Bauteilbezeichnung	Wandaufbau	Schichtdicke
Außenwand NS	Gipsputz	15 mm
	Normalbeton	360 mm
	Luftschicht	55 mm
	Klinker	230 mm
Außenwand OW	Gipsputz	15 mm
	Normalbeton	360 mm
	Luftschicht	55 mm
	Klinker	460 mm
Innenwand dick	Gipsputz	15 mm
	Normalbeton	720 mm
	Gipsputz	15 mm

Fortsetzung Tabelle 1: Aufbau und Dicke der Gebäudebauteile

Innenwand dünn	Gipsputz Normalbeton Gipsputz	15 mm 170 mm 15 mm
Dach	Normalbeton PP-Folie Bitumendachbahn	200 mm 0,5 mm 2 mm
Decke	Gipskartonplatten Luftschicht, ruhend Normalbeton Zement-Estrich Fliesen	12,5 mm 2000 mm 175 mm 10 mm 50 mm
Fußboden	Fliesen Zement-Estrich Normalbeton Luftschicht, ruhend Gipskartonplatten	50 mm 10 mm 175 mm 2000 mm 12,5 mm
Fußboden gegen Erdreich	Zementestrich Normalbeton Lose Schüttung aus Sand, Kies, Splitt (trocken)	30 mm 600 mm 50 mm

Die in Tabelle 1 vorgestellten **Aufbauten basieren größtenteils auf fundierten Annahmen**. So wurden beispielsweise die einzelnen Schichtdicken der Außenwände bestmöglich vermessen, ohne diese jedoch genauer hinsichtlich ihres Aufbaues untersuchen zu können. So wurde jedoch aus einer ermittelten äußeren Schichtdicke von 230 mm auf eine doppelte Standardklinkersteinbreite (115 mm) geschlossen. Auf der Innenseite wurde dann ein bauübliches Maß von 15 Gipsputz angenommen, woraufhin der innenliegende, und somit nicht sichtbare Aufbau abgeschätzt wurde. So ergab sich aus der bekannten Gesamtdicke der Wand, sowie einer üblichen Luftschicht zwischen Mauerwerk und Beton von 55 mm, eine Stärke von 360 mm für die Normalbetonschicht. Im Falle der dickeren Außenwand konnte auf Grundlage der Sichtprüfung von einem entsprechend dickeren Klinkermauerwerk ausgegangen werden (vgl. Abbildung 39). Auf ähnliche Art und Weise wurde auch für die Innenwände wiederfahren, sodass sich die entsprechenden Aufbauten nach Tabelle 1 ergeben. Die Decke und der Fußboden sind identisch im Aufbau, jedoch in der Reihenfolge der Schichten gespiegelt. Dieses hat mit der verwendeten Software zu tun (vgl. Kapitel 3.2). Auffällig für unsere Gruppe war hierbei jedoch die relativ hohe Gesamtdicke der Decken / Fußböden (vgl. Abbildung 37), welche im gesamten Gebäude vorzufinden war. Die oberste Fliesenschicht wurde in der Stärke 50 mm flächendeckend vorgefunden. Die darunter liegende Schicht wurde zum Verlegen der Fliesen mit Estrich (10 mm) angesetzt. Der tra-

gende Teil der Decke wurde teils aus Sichtprüfungen teils aus Annahmen als 175 mm starke Betonschicht angenommen. Die Unterseite konnte dann wiederum begutachtet werden (vgl. Abbildung 7). Da im Programm die passende Auswahl fehlte, wurden hier für die abgehängten Decken Gipskartonplatten der Stärke 12,5 mm angenommen. Aus der Differenz der bekannten Gesamtdicke ergab sich dann eine 2000 mm starke Luftschicht. Diese konnte durch eine Inspektion der Zwischenräume der abgehängten Decke (vgl. Abbildung 7), in Grundzügen so auch bestätigt werden. Vorzufinden waren dort teilweise noch (größere) Installationen für die Gebäudeversorgung. Abschließend wurde sich für die Schichtdicken der Bodenplatte an ermittelten „Standardwerten“ orientiert. Der entsprechende Aufbau ist ebenfalls in Tabelle 1 zu finden.

Abschließend wurden noch die **Fensterflächen** und Installationen für den Sonnenschutz ermittelt. Im gesamten Gebäude ist der gleiche Typ von Fenstern verbaut. Im Hauptgebäude weisen die Fenster einheitlich eine Größe von **2,9 x 2,6 m²** auf. Im Turm allerdings unterschieden sich die Fenster teilweise hinsichtlich der Größe, da in einigen Geschossen keine Ober- bzw. Unterlichter installiert wurden. Daher wurde diejenige Bauweise als *Standardfenster* angenommen, welche den größten Anteil an den Fensterflächen ausmacht, um die Dateneingabe in die Software zu vereinfachen und dennoch eine akzeptable Annahme zu gewährleisten. Als Einheitsmaß für die Fenster des Turms wurde daher ebenfalls 2,9 x 2,6 m² angenommen. Der ermittelte Rahmenanteil der Fensterflächen beträgt näherungsweise 15 %.

Auf der Gebäudeseite mit Südlage wurde außerdem ein manuell regulierbarer Sonnenschutz von außen an der Fassade angebracht.

3.2 Übertragung der Daten in SolarComputer

Zu Beginn wurden zunächst die mehrschichtigen Bauteile im *Schritt 1* des Programmpunktes *Bauteile Hochbau* erstellt. Das Vorgehen dabei soll im Folgenden exemplarisch an der Erstellung einer Außenwand erläutert werden. Dafür wird zunächst die gewünschte Bauteilart ausgewählt und über die Schaltfläche *Neu* eine Außenwand hinzugefügt (vgl. Abbildung 8).

In dem sich dann öffnenden Dialog (vgl. Abbildung 9) können die verschiedenen Parametrierungen des Bauteils vorgenommen werden. Zunächst wird eine fortlaufende Nummer vergeben um eine eindeutige Zuordnung zu gewährleisten. Außerdem werden die genormten Innen- und Außentemperaturen nach DIN 18599 eingestellt. Selbiges gilt für die inneren und äußeren Wärmeübergangswiderstände R_{Si} und R_{Se} welche für die **Berechnung des U-Wertes** benötigt werden.³

³ Vgl. DIN **EN ISO 6946**

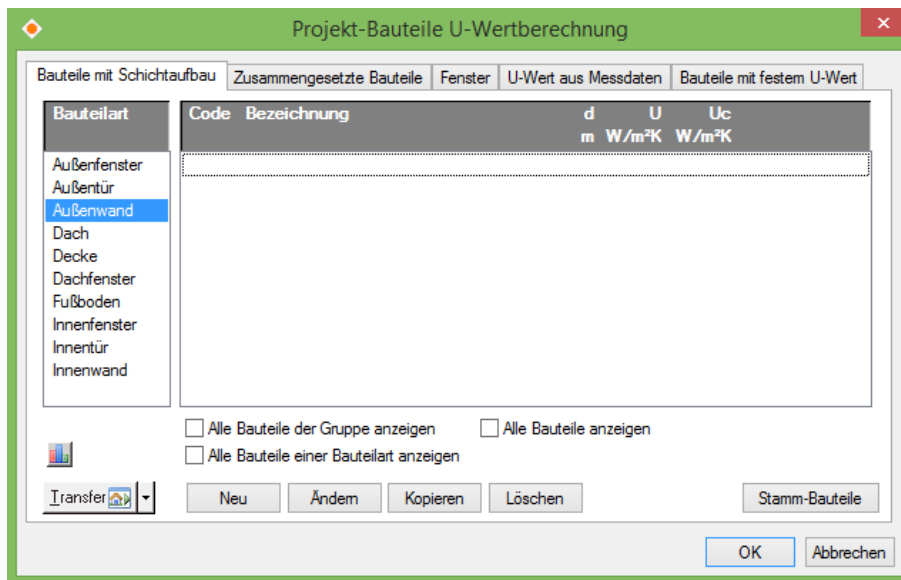


Abbildung 8: Erstellung eines mehrschichtigen Bauteils mittels SolarComputer - Schritt 1

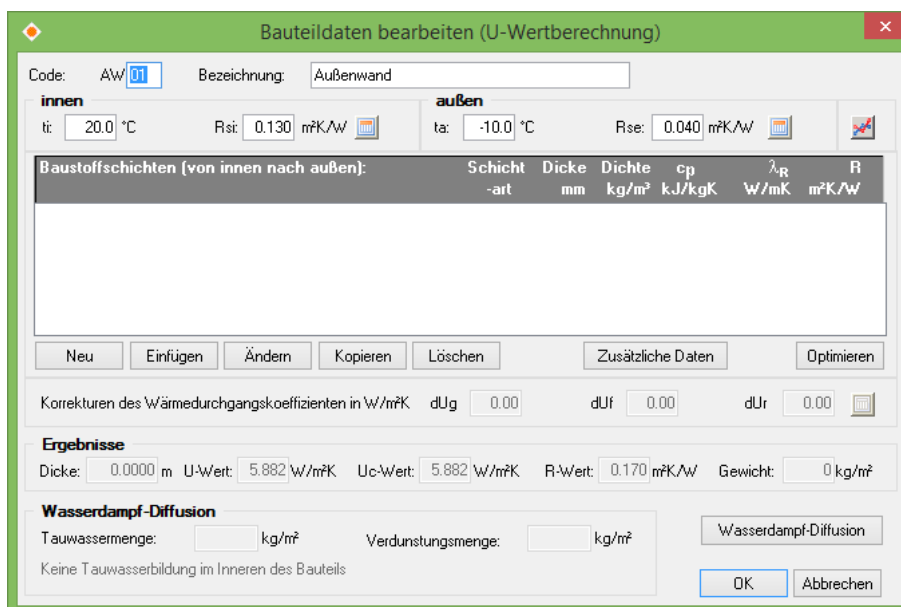


Abbildung 9: Erstellung eines mehrschichtigen Bauteils mittels SolarComputer - Schritt 2

Anschließend wird über die Schaltfläche *Neu* das Fenster zur Auswahl der Schichtmaterialien geöffnet (vgl. Abbildung 10). Durch die Wiederholung dieses Schrittes können dann mehrere Schichten zum Aufbau der Außenwand hinzugefügt werden. Nachdem auf diese Art und Weise die Schichten des Bauteiles erstellt wurden, wird der Aufbau über die Schaltfläche *OK* abgeschlossen. Die einzelnen Aufbauten und die dazugehörigen Parameter der verschiedenen Gebäudebauteile können in einer Übersicht Tabelle 1, sowie im Detail Kapitel 3.1 entnommen werden.

Nach dem Abschluss der Erstellung der Gebäudebauteile wurde in den Programmpunkt *Energieeffizienz EnEV 2014* gewechselt. Dort wurde im *1. Schritt* zunächst mit der Eingabe allgemeiner Daten bezüglich des *Gebäudes*, der *Bodenplatte*, der *Wärmebrücken*, sowie der *Bauschwere* und des *Luftwechsels* begonnen. Die Eingaben können der Abbildung 32 bis Abbildung 35 im Anhang dieser Arbeit entnommen werden.

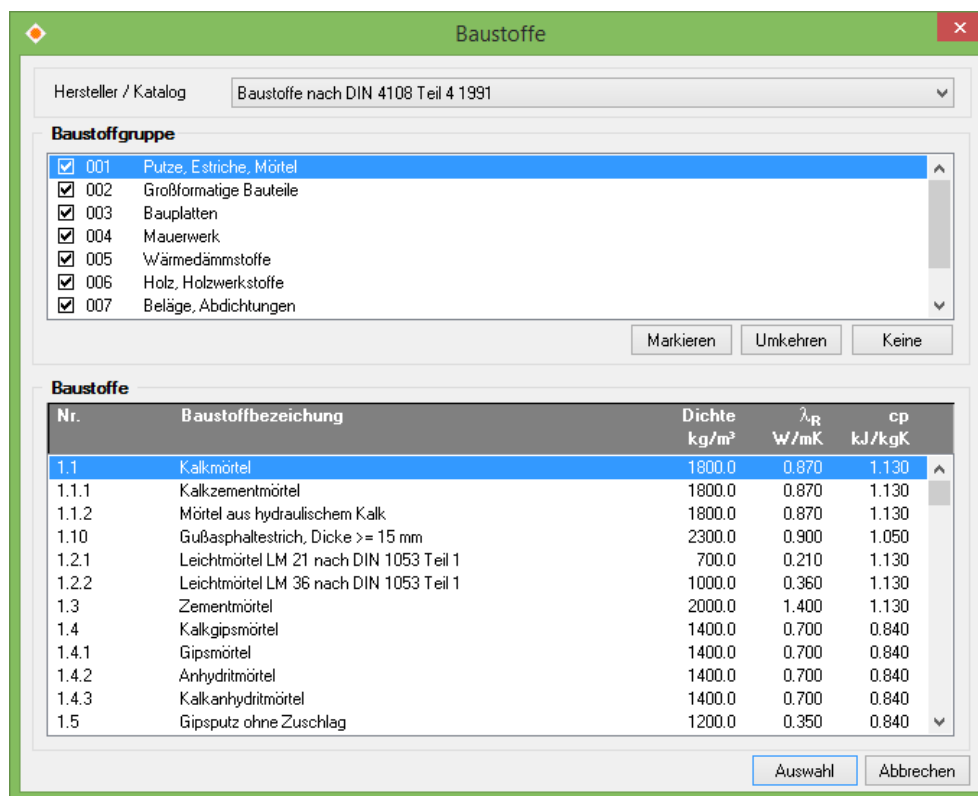



Abbildung 10: Erstellung eines mehrschichtigen Bauteils mittels SolarComputer - Schritt 3

Im darauffolgenden *Schritt 2* wurden die zuvor bereits erstellten (mehrschichtigen Bauteile) in das Programm überführt, sodass diese für den anschließenden *3. Schritt* zur Verfügung standen. Für die Gebäude 2030 sowie 2031 wurden dann im Unterpunkt *Gebäude* die jeweiligen Geschosse angelegt. Daraufgehend wurden die Räume mit ihrem charakteristischen Aufbau systematisch den jeweiligen Etagen zugeordnet. Dafür wurden Schrittweise die betreffenden Flächen und Bauteile unter Berücksichtigung ihrer charakteristischen Aufmaße, Neigung, sowie ihrer Anzahl eingegeben. Als Beispiel zeigt Abbildung 11 die Eingaben für einen Sanitärraum im Erdgeschoss des Gebäudes 2030:

Raumdaten bearbeiten

Hüllflächen

Raum
Raumnummer: 008 ☐ für den sommerlichen Wärmeschutz berücksichtigen
Bezeichnung: Sanitärraum  **Gebäude im Bestand**

Raumdaten
Raumlänge: 1.96 m Raumfläche: 6.53 m² Deckenstärke: 2.25 m
Raumbreite: 3.33 m Raumhöhe: 2.85 m Raumvolumen: 18.61 m³

Raumumschließungsfläche **Zusatzdaten der Raumumschließungsfläche**

Bauteil	Nachbarseite	Eigenschaft Nachbarseite	HR	Neig	Anz	b m	h/l m	A m²	-	H W/K
IW02	keine Zone	keine Transmission berechnen	O	90	1	3.33	5.10	16.98		
IT01	keine Zone	keine Transmission berechnen	N	90	1	0.98	2.05	2.01	-	
IW01	keine Zone	keine Transmission berechnen	N	90	1	1.96	5.10	10.00		
IW01	keine Zone	keine Transmission berechnen	W	90	1	3.33	5.10	16.98		
IW01	keine Zone	keine Transmission berechnen	S	90	1	1.96	5.10	10.00		
DE01	keine Zone	keine Transmission berechnen	H	0	1	3.33	1.96	6.53		
FB01	keine Zone	keine Transmission berechnen	H	0	1	3.33	1.96	6.53		

Bemerkung:

Neu Einfügen Ändern Kopieren Löschen Zusatzdaten

OK Abbrechen

Abbildung 11: Beispielraum

Nachdem sämtliche Räumlichkeiten implementiert waren, wurden diese dann abschließend noch den sogenannten Zonen zugeordnet. Insgesamt wurde eine Auswahl an **5 Zonen getroffen**, zu denen dann die Räumlichkeiten mit ähnlichen inneren und äußeren Lasten, sowie **einheitlicher Versorgungstechnik** (Heizung, Kühlung, RLT) und gleicher Nutzung zugeordnet wurden. Eine genaue Aufschlüsselung liefert Tabelle 2:

Tabelle 2: Zoneneinteilung

	Zonenbezeichnung in SolarComputer	Raumbezeichnung laut Grundriss
1	Verkehrsflächen	Flur/Durchgang, Treppenhaus, Lagerraum
2	WC Sanitär	WC Herren und Damen
3	Büro bis 4 Mitarbeiter	Büro, Dienstzimmer, Sekretariat
4	Seminar	Hörsaal, Seminarraum
5	Labor	Labor, Praktikum, Werkstatt

Abgeschlossen wurde die Dateneingabe mit der Implementierung der Anlagendaten in die Software. Hierfür wurden die Daten zum Heizungssystem, zum Kältesystem und zum RLT-System eingeben. (vgl. Abbildung 12). Beim **Heizungssystem** wird sowohl die **Wärmeerzeugung für die Bereitstellung der Raumwärme sowie die Trinkwarmwasserbereitstellung** berücksichtigt. Für jedes System können die jeweiligen Daten zur Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe eingegeben werden. In Abbildung 13 ist das Schaltbild der gesamten Anlagentechnik dargestellt. Zur Wärmeerzeugung ist das be-

trachtete Gebäude an das Fernwärmenetz der RWTH angeschlossen. Die Heizungsanlage versorgt sowohl den Heizkreislauf des Gebäudes als auch die Trinkwarmwasserbereitstellung. Außerdem wird das Heizregister der RLT-Anlage über die Fernwärme versorgt. Die **Kälteerzeugung** erfolgt über eine **Kompressionskältemaschine**. Die erzeugte Kälte dient der Kühlung der Labore und versorgt außerdem das **Kühlregister der RLT-Anlage**.

Abbildung 12: Übersicht Eingabemaske SolarComputer für die Anlagentechnik

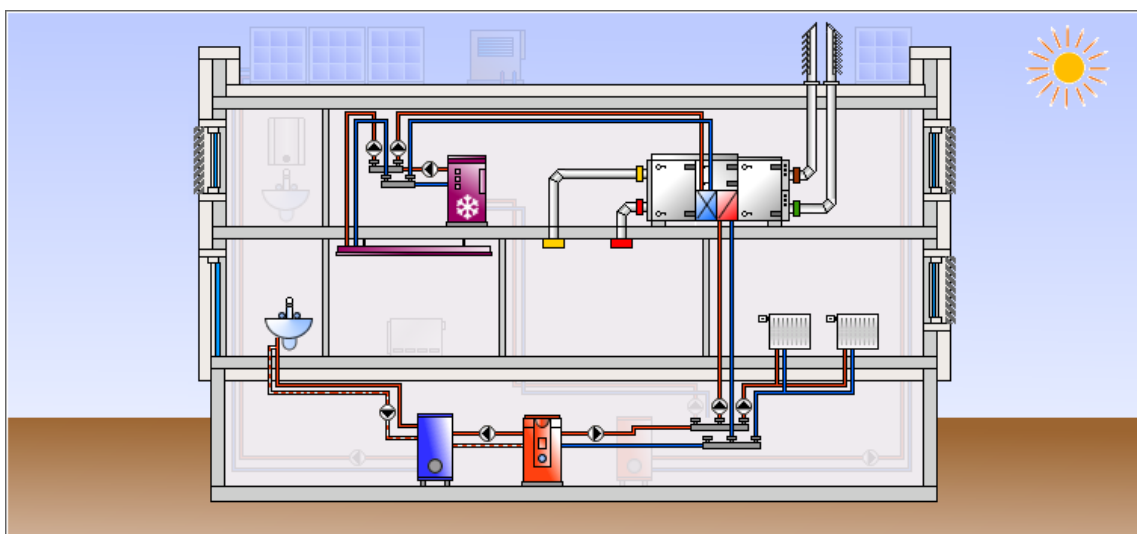


Abbildung 13: Übersicht Anlagenschema

4 Ergebnisse

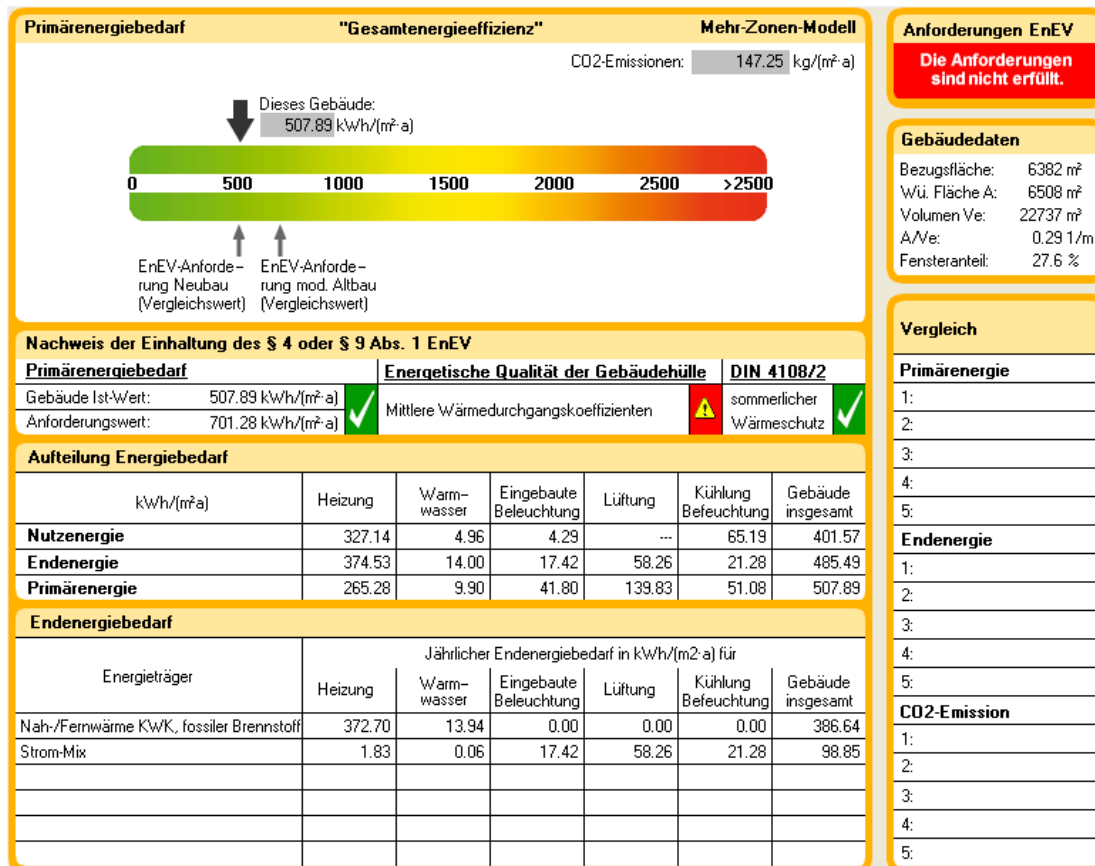


Abbildung 14: Energieausweis – Kurzübersicht

Abbildung 14 zeigt einen Teil des zum in Gebäude vorgesehen Teils des Energieausweises. Aus diesem wird ersichtlich, dass der ermittelte Primärenergiebedarf mit $507,89 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$ unter den geforderten $701,28 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$ liegt. Dieser setzt sich aus den Anteilen der Heizung, der Erzeugung von Warmwasser, der Beleuchtung, der Lüftung, sowie der Kühlung / Befeuchtung zusammen (vgl. Abbildung 15).

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes gilt laut Software als erfüllt, jedoch wurde dieser im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter behandelt. Als nicht eingehalten werden jedoch die mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten angezeigt (vgl. Abbildung 36).

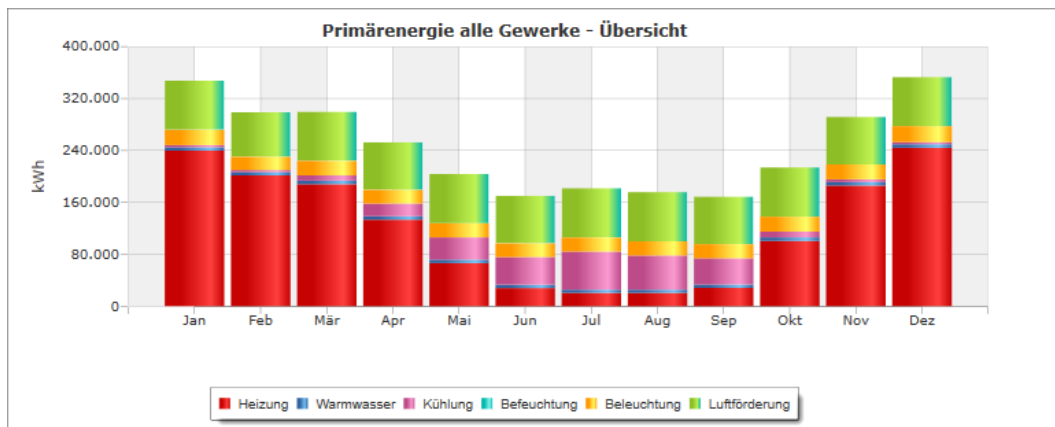


Abbildung 15: Primärenergie – Zonen

In Abbildung 15 ist die benötigte Primärenergie für die Gesamtheit aller Zonen in Abhängigkeit der Verbrauchsstelle aufgezeigt. Es ist deutlich zu erkennen, dass in den **heizintensiven Monaten (Oktober-April)** der Anteil der Heizung am Gesamtbedarf am größten ist. In den wärmeren Sommermonaten (Juni-September) gewinnt der **Kühlbedarf stark an Bedeutung**. Auffällig ist dabei, dass **auch in den Sommermonaten Heizenergie** benötigt wird. Dieses könnte mit den **benötigten konstanten Temperaturen von Labor- bzw. Lagerräumen** erklärt werden, da zur Reproduzierbarkeit von Laborergebnissen ganzjährig konstante Bedingungen herrschen müssen. Insgesamt **decken** sich diese **Ergebnisse jedoch mit den Erwartungen aus dem jahreszeitlichen Verlauf**.

Die Anteile der Befeuchtung, Beleuchtung und Luftförderung hingegen sind über das Jahr gesehen nahezu konstant. Im Bereich der Beleuchtung könnten diese Ergebnisse mit den konstanten Arbeitszeiträumen über das Jahr erklärt werden. Da es sich bei dem Gebäude um vorwiegende Labor- und Büronutzung handelt, wird das Licht angeschaltet, sobald das Arbeitspersonal am Platz ist. Ähnliches gilt für die Belüftung und **Befeuchtung**. Denn diese ist lediglich in den Laborbereichen und angrenzenden Verkehrsflächen installiert, und wird aus Gründen der Luftqualität bei der Verwendung von Chemikalien kontinuierlich über das gesamte Jahr betrieben. Der hohe Anteil am Energieverbrauch ergibt sich dabei aus dem hohen Bedarf an frischer Zuluft der Laborräume, da diese dauerhaft im **Unterdruckbereich** betrieben werden, um eine Kontamination der angrenzenden Gebäudebereiche zu verhindern.

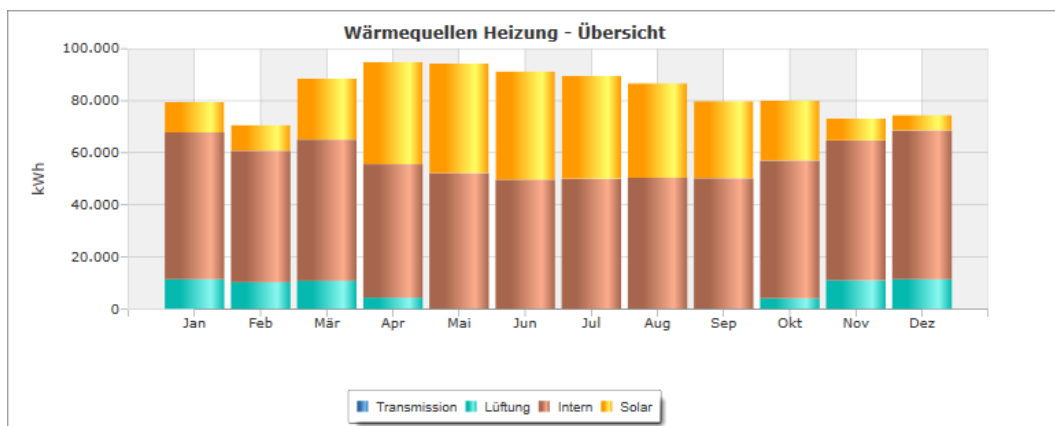


Abbildung 16: Wärmequellen

Aus Abbildung 16 werden die Anteile und Verteilungen Wärmequellen über den Jahresverlauf ersichtlich. Der Anteil **Lüftung** besteht aus der **zurückgewonnenen Wärmeenergie aus der Wärmerückgewinnung der RLT-Anlage**. Diese Energie kann nur dann genutzt werden, wenn die **Außentemperatur geringer ist als die Ablufttemperatur**, und somit lediglich in den heizintensiven Monaten Oktober bis April. Die **internen Wärmequellen** machen **ganzjährigen den größten Anteil** aus. Sie bestehen aus der Wärmeabgabe von Menschen, Beleuchtung, Maschinen/Anlagen, sowie der Anlagentechnik. Die Aufreihung spiegelt gleichzeitig die Einflussgröße der vier Bestandteile auf die internen Wärmequellen wieder. So lassen sich auch die geringen Veränderungen über das Jahr erklären. Während die Personenanzahl wie auch die Beleuchtung als ganzjährig konstant angenommen werden können, ergeben sich bezüglich der Nutzung der Maschinen/Anlagen sowie der Anlagentechnik jahreszeitliche Schwankungen. Diese spielen aber vergleichsweise eine untergeordnete Rolle. Die **solaren** Wärmegewinne korrelieren mit der Sonneneinstrahlung und sind daher in den Sommermonaten hoch und in den Wintermonaten gering.

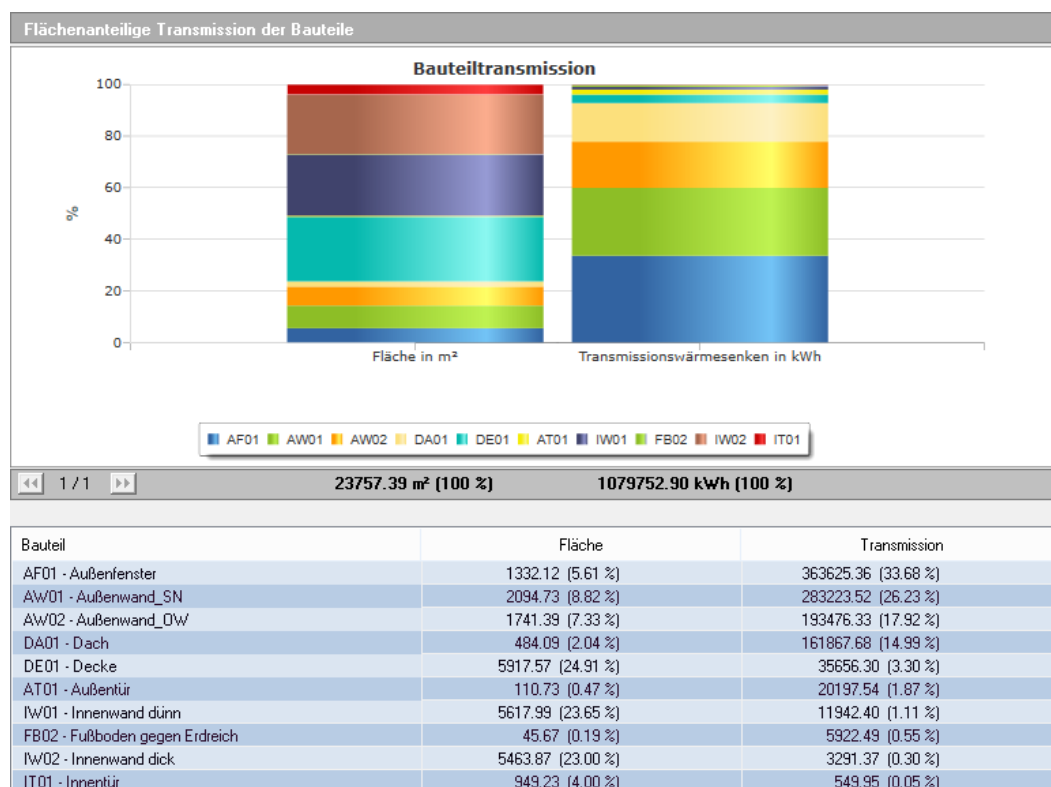


Abbildung 17: Bauteiltransmission

In Abbildung 17 ist die **flächenanteilige Transmission der einzelnen Bauteile** abgebildet. Aus der Grafik auf der linken Seite können die Flächenanteile gestaffelt nach Bauteilgruppe abgelesen werden, während auf der rechten Seite die Anteile der Bauteile an den Transmissionswärmeverlusten in kWh abgebildet sind. Erwartungsgemäß haben die **Innenwände mit insgesamt rund 47 % den größten Anteil an der Oberfläche aller Gebäudebauteile**. Die **Außenwände** machen lediglich einen Anteil von rund **16 %** aus, während die **Außenfenster mit 5,6 %** einen noch geringeren Anteil haben.

Die Situation bei den Transmissionswärmeverlusten ist ebenfalls wie erwartet, da hier die **Außenwände knapp die Hälfte (~ 44 %) aller Verluste** ausmachen. Mit den Außenfenstern, sowie dem Dach folgen weitere Bauteile mit Kontakt zur Außenluft. Da in den Zonen untereinander keine Transmission berücksichtigt wurde, sind diese Ergebnisse plausibel. Auch der erhöhte Anteil der Süd-Nord-Außenwand im Vergleich zur Ost-West-Wand lässt sich aufgrund geringeren Dicke sowie der größeren Fläche nachvollziehbar erklären.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde am Beispiel zweier Gebäudeteile des Instituts für organische Chemie der RWTH Aachen das exemplarische Vorgehen bei der Erstellung eines Energieausweises für Bestandsgebäude aufgezeigt. Der Fokus lag dabei vor allem auf der systematischen Beschreibung des Vorgehens bei der Erstellung des Ausweises. So mussten bei der **Datenerfassung häufig** lediglich **Annahmen** getroffen werden, oder es wurden Vereinfachungen vorgenommen. Eine abschließende Aussage über die Belastbarkeit der erzielten Ergebnisse ist so sicherlich nicht möglich. Dennoch wurde eine Auswertung vorgenommen um das Verständnis für den Sachverhalt zu vertiefen.

Das Vorgehen gliederte sich insgesamt in mehrere Schritte. So wurde zunächst mit einer Schulung für die Software der Firma SolarComputer begonnen. Ziel war es hierbei erste eigene Erfahrungen mit dem Umgang der Software zu sammeln. Darüber hinaus konnte eine Übersicht über die zu ermittelnden Daten erschaffen werden, sodass erste Anhaltspunkte für die spätere Datenerfassung gegeben war. Für diese gab es zunächst eine erste **Ortsbegehung der Gebäude unter der Führung des Facility Managers**. Auch hierbei galt es zunächst einen Überblick über die Gebäudeteile, die Anlagentechnik sowie das Zusammenspiel dieser mit der Gebäudephysik und –nutzung zu erlangen. Auch wurden hierbei erste Aufmaße und Gebäudeteilaufbauten erfasst, sodass im Folgenden mit der beschriebene Erstellung der Gebäudebauteile begonnen werden konnte (vgl. Kapitel 3.2). Insgesamt kann dieser Prozess sicherlich als „Learning-by-doing“ beschrieben werden, da stets neue Daten benötigt wurden, die in weiteren Begehungen des Gebäudes oder auf Auskunft des Facility Managers gesammelt wurden. Nachdem auf diese Art und Weise die Implementierung der Gebäudephysik in die Software abgeschlossen wurde, konnte mit dem zweiten großen Bestandteil, der Anlagentechnik, begonnen werden. Gerade in diesem Bereich ist der erstellte Energieausweis mit Bestimmtheit lückenhaft und verbesserungswürdig. So fehlten im Rahmen dieses Projektes vor allem zeitliche Ressourcen für das Verständnis der komplexen Gesamtheit der verbauten Anlagentechnik, und vor allem auch die Verschaltung und das Zusammenspiel der einzelnen Anlagenkomponenten.

Um daher eine belastbare Aussage über den energetischen Ist-Zustandes der untersuchten Gebäude zukünftig treffen zu können, liegt der Ansatz vor allem in dem genauen Prozessverständnis der verbauten Anlagentechnik für den Bereich der Gebäudeversorgung.

6 Literaturverzeichnis

DIN EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren.

DIN V 18599, Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, 2011.

Energieeinsparverordnung, EnEV 2009.

Wesselak, V., Schabbach, T.: Energie, Springer, Heidelberg 2012.

www.solar-computer.de/

7 Anhang

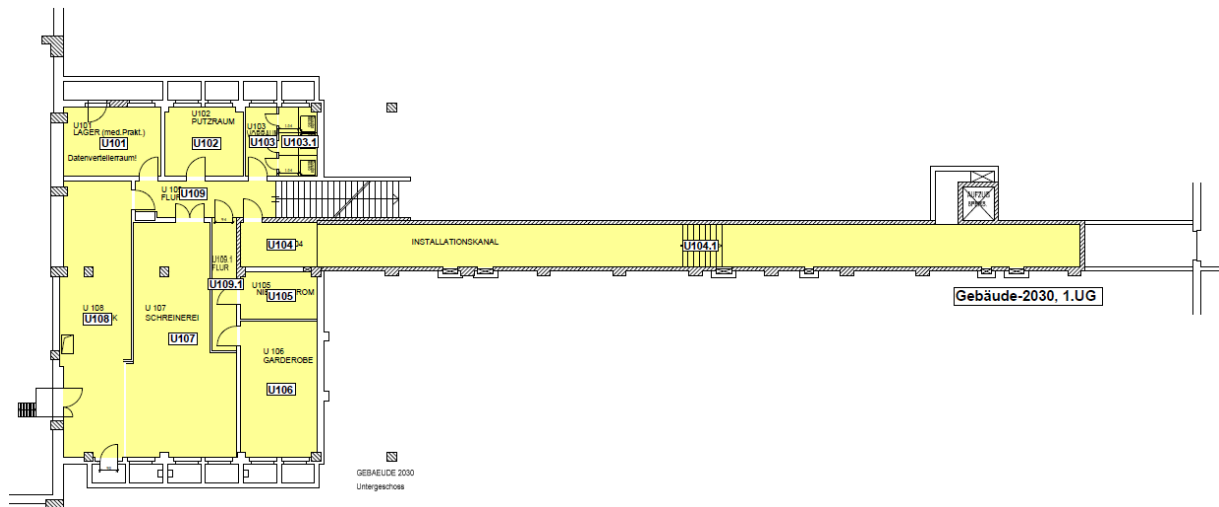


Abbildung 18: Grundriss 2030 1.UG

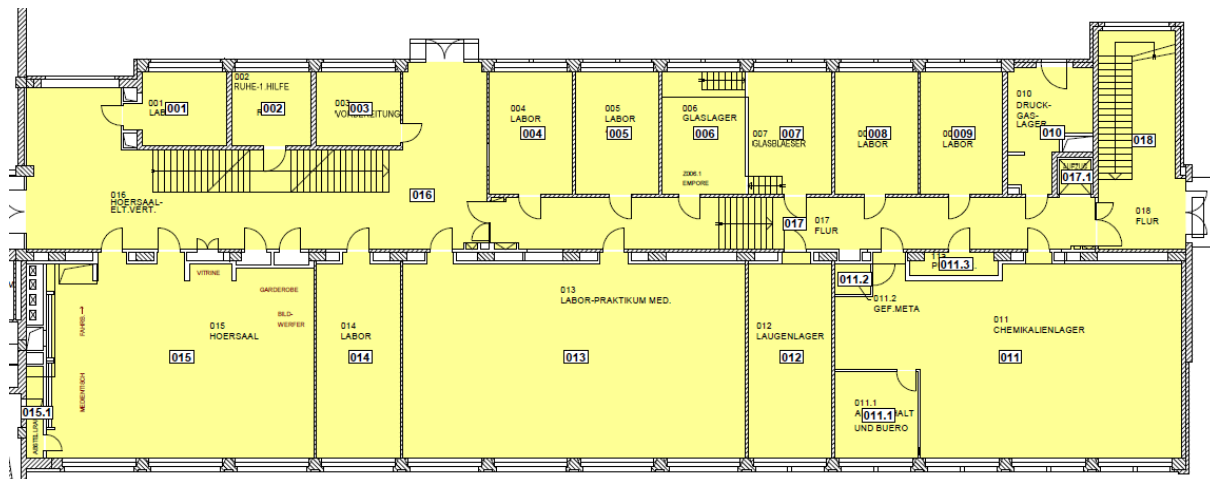
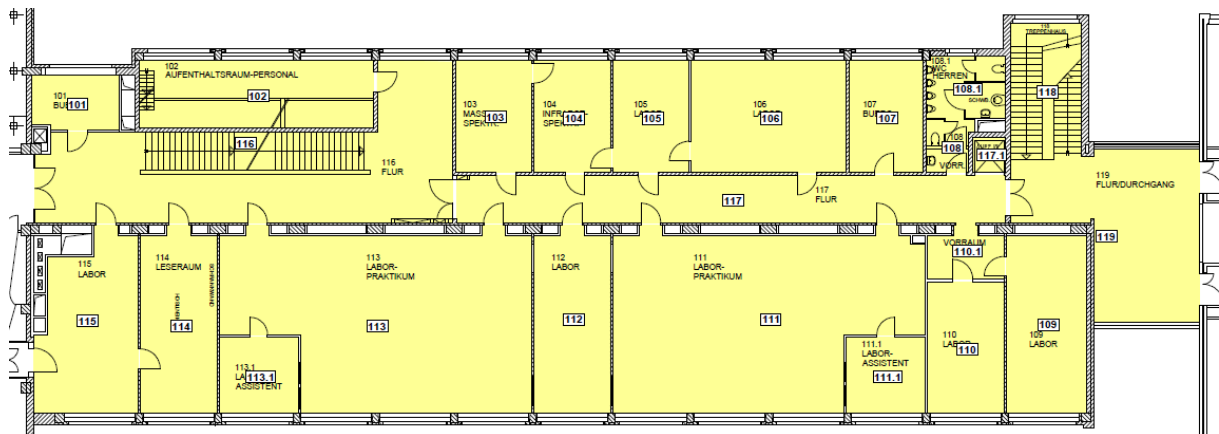


Abbildung 19: Grundriss 2030 EG





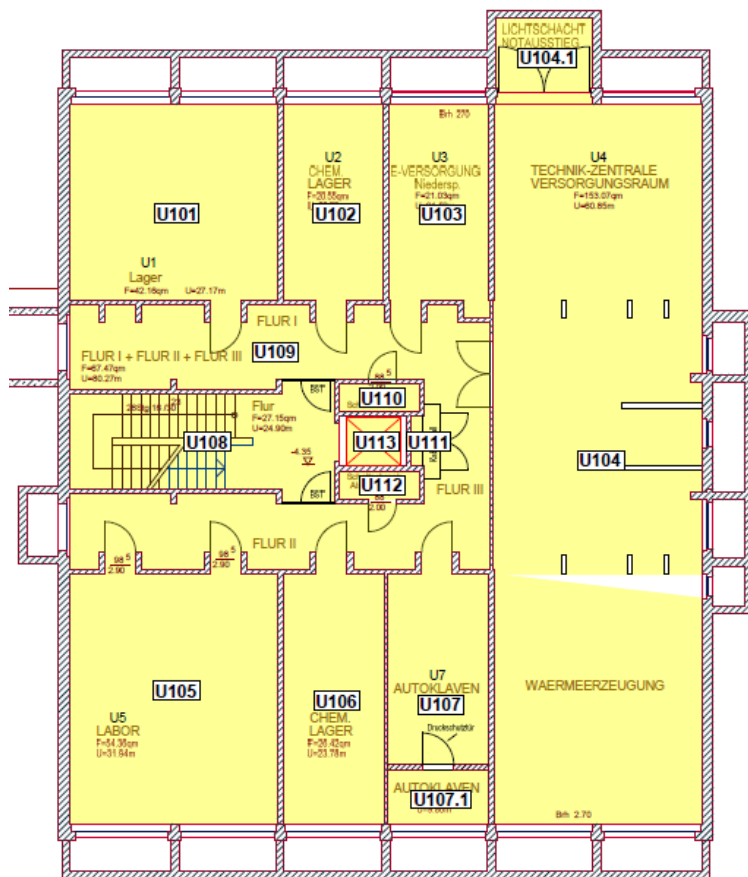


Abbildung 23: Grundriss 2031 1.UG

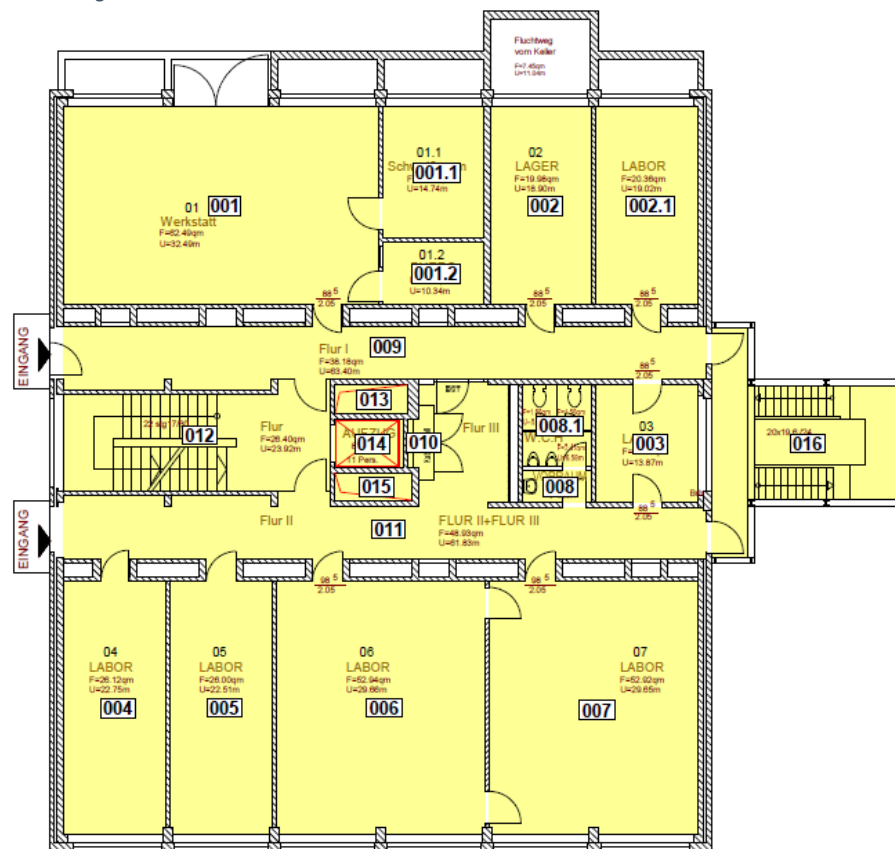


Abbildung 24: Grundriss 2031 EG

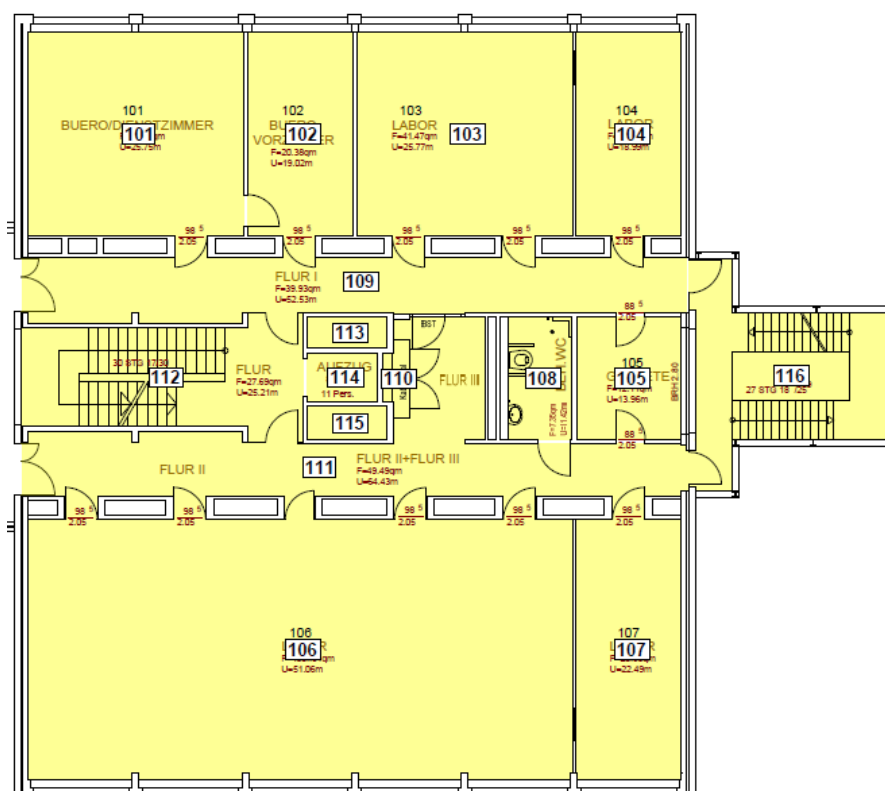


Abbildung 25: Grundriss 2031 1.OG

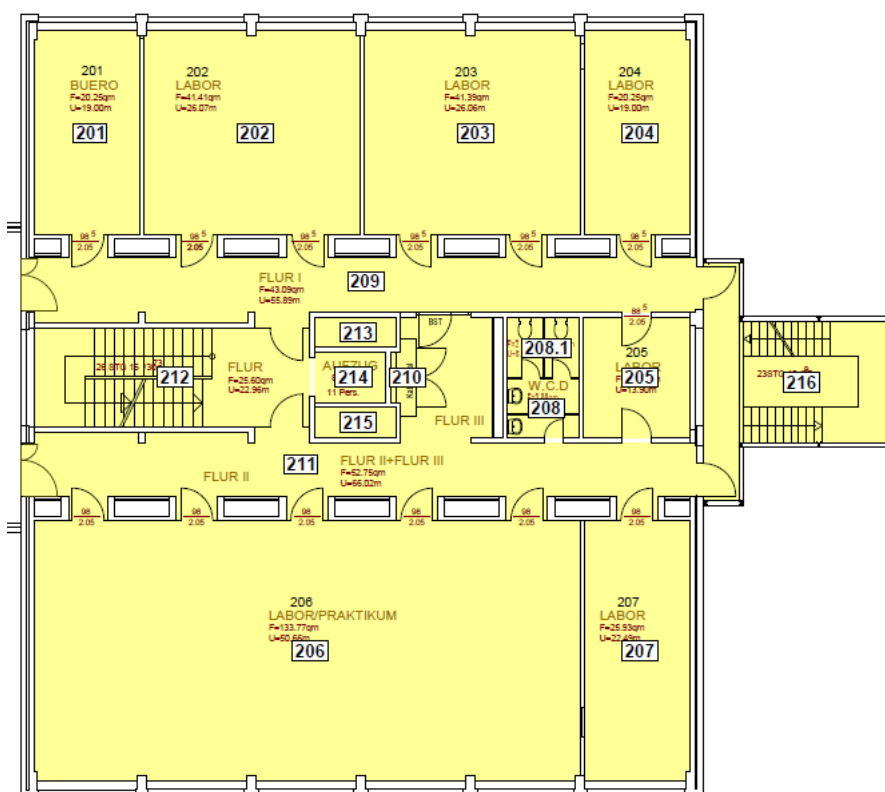


Abbildung 26: Grundriss 2031 2.OG



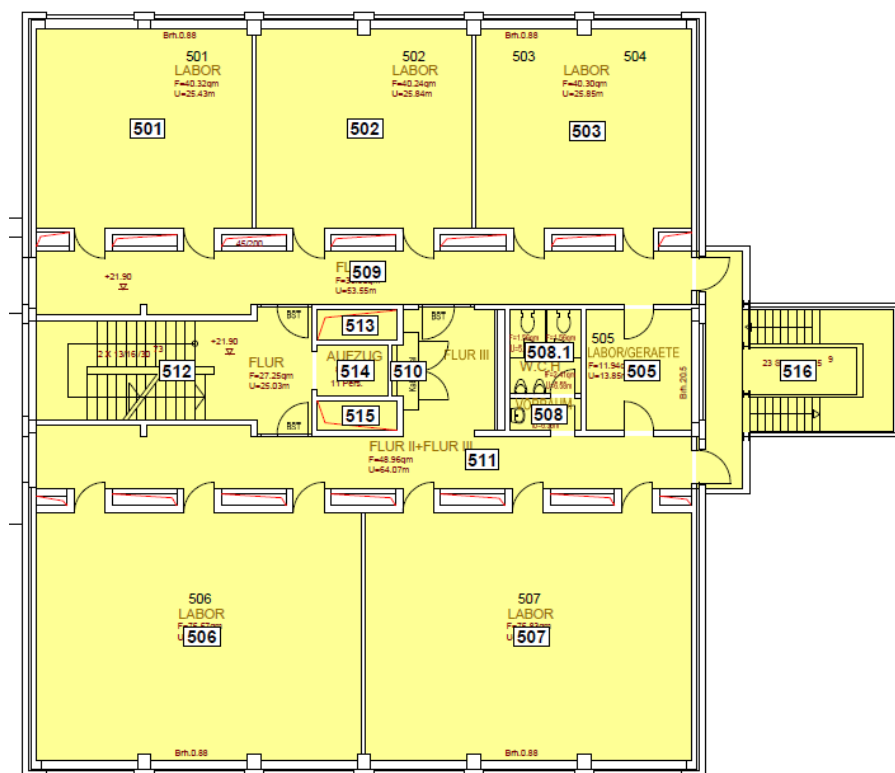


Abbildung 29: Grundriss 2031 5.OG

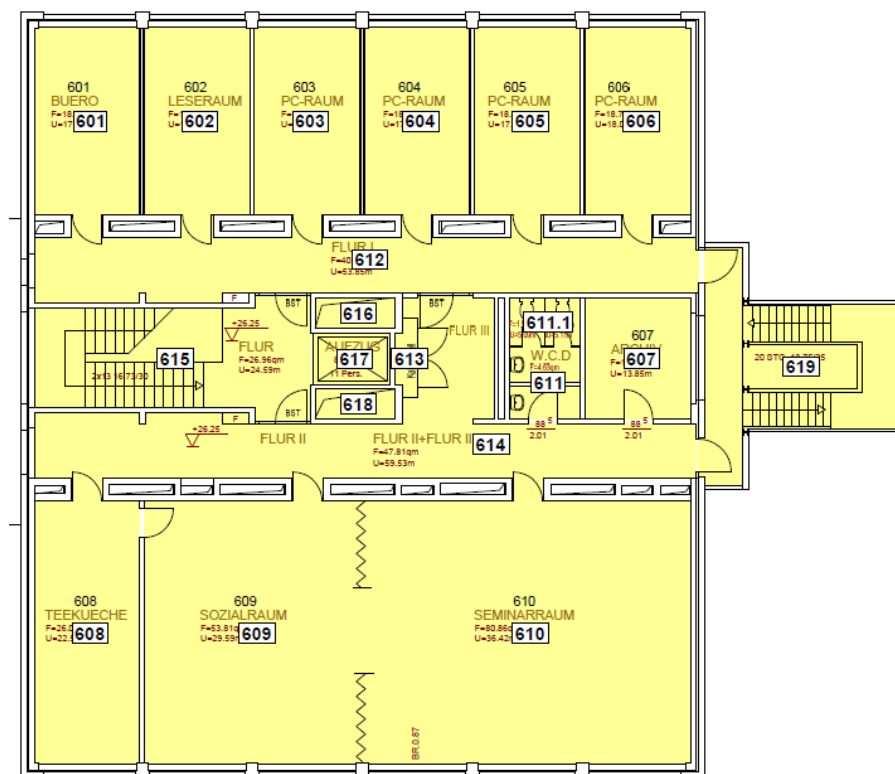


Abbildung 30: Grundriss 2031 6.OG

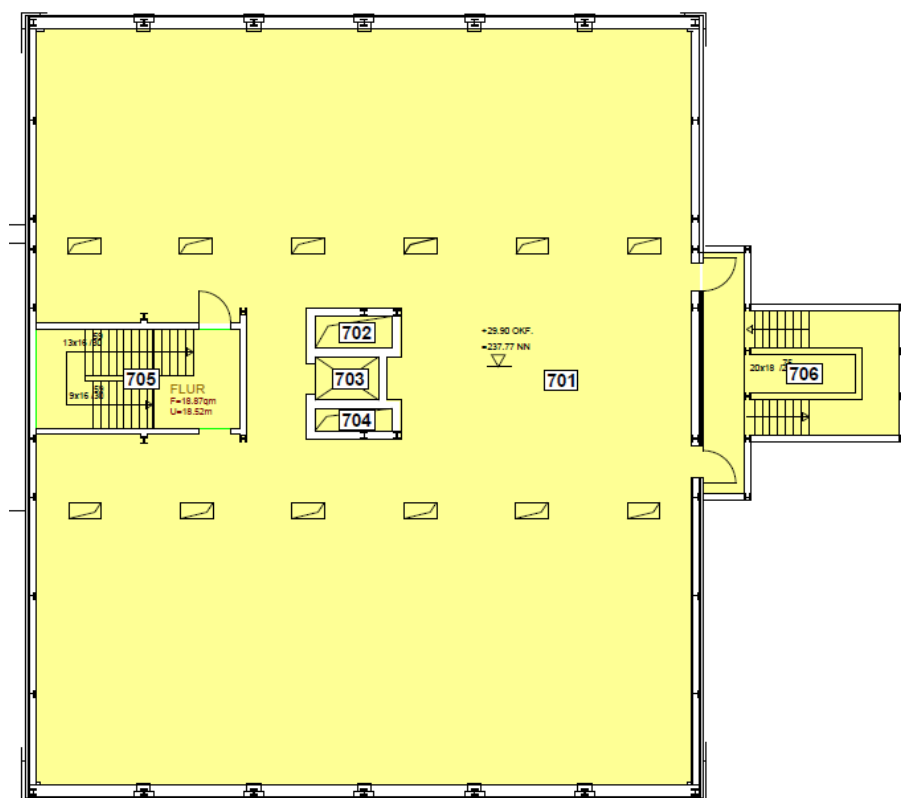


Abbildung 31: Grundriss 2031 7.OG

Allgemeine Daten

Gebäude
Bodenplatte
Wärmebrücken
Bauschwere / Luftwechsel
Sonstiges

Variante
 Nummer / Bezeichnung: 1 Standard-Variante
 Art des Nachweises: Nachweis für ein Gebäude im Bestand
 Randbedingungen: Randbedingungen EnEV bis 31.12.2015
 Anforderung: EnEV

Gebäudedaten
 Gebäudeart: Nicht-Wohngebäude
 Gebäudeteil:
 Klimaregion: Klimaregion 4 - Potsdam
 Berechnungsverfahren: ausführliche Berechnung (Mehr-Zonen-Modell)
 Gebäudetyp:

Gebäudeabmessungen
 charakteristische Länge: 75.00 m mittlere Geschosshöhe: 5.10 m
 charakteristische Breite: 18.00 m Anzahl der Geschosse: 7

Transmission (Vorgabe)
☐ ausführliche Berechnung der Bauteil-Transmission
☒ vereinfachte Berechnung der Bauteil-Transmission mit Fx-Werten

Fensterflächenanteil
☐ horizontale Dachflächen bei der Berechnung des Fensterflächenanteils berücksichtigen

sommerlicher Wärmeschutz
 Sommerklimaregion: Klimaregion A
 Simulationsprogramm:
☐ Der sommerliche Wärmeschutz wurde extern geprüft. Die Anforderungen sind erfüllt.

öffentliches Nichtwohngebäude
☐ Bei dem Gebäude handelt es sich um ein öffentliches Gebäude im Sinne des EEWärmeG.

OK
Abbrechen

Abbildung 32: Schritt 1: Eingabe der Allgemeinen Daten - Gebäude


Allgemeine Daten

Gebäude | **Bodenplatte** | Wärmebrücken | Bauschwere / Luftwechsel | Sonstiges

Bestand | **Modernisierung 1** | Modernisierung 2 | Modernisierung 3 | Moder | ☒ gleich

mittlere Länge der Bodenplatte: 75.00 m

mittlere Breite der Bodenplatte: 18.00 m

Bodenplattenfläche: 1350.00 m² 

exponierter (berührter) Umfang der Bodenplatte: 186.00 m

Parameter B' der Bodenplatte: 14.52 m

Tiefe der Bodenplatte unter Erdreichoberkante (Vorgabe): 5.70 m

Erdreich

Wärmeleitfähigkeit des Bodens (Erdreich): 2.00 W/mK

☐ fließendes Grundwasser vorhanden

OK Abbrechen

Abbildung 33: Schritt 1: Eingabe der Allgemeinen Daten - Bodenplatte

Allgemeine Daten

Gebäude | Bodenplatte | **Wärmebrücken** | Bauschwere / Luftwechsel | Sonstiges

Bestand | Modernisierung 1 | Modernisierung 2 | Modernisierung 3 | Mode ◀ ▶ ☒ gleich

- ☒ ohne bauseitiger Berücksichtigung von Wärmebrücken
(Die U-Werte der Außenbauteile werden durch einen Zuschlag von 0,1 W/(m²K) korrigiert - die Eingabe der Wärmebrücken ist nicht erforderlich.)
- ☐ mit bauseitiger Ausführung der Bauteilanschlüsse gemäß DIN 4108, Beiblatt 2
(Die U-Werte der Außenbauteile werden durch einen Zuschlag von 0,05 W/(m²K) korrigiert - die Eingabe der Wärmebrücken ist nicht erforderlich.)
- ☐ bei Ausführung (Sanierung) mit innenliegender Dämmschicht
(Die U-Werte der Außenbauteile werden durch einen Zuschlag von 0,15 W/(m²K) korrigiert - die Eingabe der Wärmebrücken ist nicht erforderlich.)
- ☐ detaillierter Nachweis der Wärmebrückenzuschläge für alle Bauteile (Die U-Werte der Bauteile werden nicht korrigiert - die Eingabe der Wärmebrücken ist erforderlich.)
- ☐ manuelle Eingabe des Wärmebrückenzuschlages (Der detaillierte Nachweis des Wärmebrückenzuschlages ist außerhalb des Programms erfolgt. Gegebenenfalls muss der Nachweis der Berechnung vorgelegt werden.)

Wärmebrückenzuschlag: W/(m²K)

OK Abbrechen

Abbildung 34: Schritt 1: Eingabe der Allgemeinen Daten - Wärmebrücken

Allgemeine Daten

Gebäude | Bodenplatte | Wärmebrücken | **Bauschwere / Luftwechsel** | Sonstiges

Bestand | Modernisierung 1 | Modernisierung 2 | Modernisierung 3 | Mode ◀ ▶ ☒ gleich

Bauschwere (Vorgabe)

Bauart des Gebäudes: schwere Bauart

Luftwechsel (Vorgabe)

Dichtheit: bestehende Gebäude ohne offensichtliche Undichtheiter

Luftwechsel bei 50 Pa: 3.22 1/h

Luftdurchlässigkeit: 9.00 m³/(h·m²)

Windschutzkoeffizienten

☐ Eine Fassade dem Wind ausgesetzt

☒ Mehr als eine Fassade dem Wind ausgesetzt

Lage: halbfreie Lage

Windschutzkoeffizient e: 0.07 Windschutzkoeffizient f: 15

OK Abbrechen

Abbildung 35: Schritt 1: Eingabe der Allgemeinen Daten - Bauschwere / Luftwechsel

Wärmedurchgangskoeffizienten, bezogen auf den Mittelwert der jeweiligen Bauteile						
Zeile	Bauteil	Zonen mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall				Nachweis
		>= 19 °C		von 12 °C bis < 19 °C		
		Ist-Wert	Höchstwert	Ist-Wert	Höchstwert	
1	Opake Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeilen 3 und 4 enthalten	1.426 W/(m²K)	0.490 W/(m²K)	—	0.700 W/(m²K)	Nachweis nicht erfüllt *
2	Transparente Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeilen 3 und 4 enthalten	2.900 W/(m²K)	2.660 W/(m²K)	—	3.920 W/(m²K)	Nachweis nicht erfüllt *
3	Vorhangfassade	—	2.660 W/(m²K)	—	4.200 W/(m²K)	
4	Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	—	4.340 W/(m²K)	—	4.340 W/(m²K)	

Abbildung 36: Ergebnis der Berechnung mittels SolarComputer - mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten



Abbildung 37: Bereich des Treppenaufganges mit besonderem Merkmal der hohen Decken.



Abbildung 38: Installierte Beleuchtung



Abbildung 39: Äußere Klinkerschicht der Außenwand OW