

Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Standort Getreidemarkt der TU Wien

H. Schöberl
R. Hofer
M. Leeb
T. Bednar
G. Kratochwil

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

47/2014

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Standort Getreidemarkt der TU Wien

Schöberl & Pöll GmbH

BIG Bundesimmobiliengesellschaft m.b.H.

TU Wien, Rektorat

ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer

Juni 2014, Wien

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	9
Abstract.....	11
1 Einleitung.....	13
2 Grundlagen.....	14
2.1 Der Standort, das Areal Getreidemarkt der TU Wien.....	14
2.2 Der Bauteil BA, das Bestandsgebäude.....	15
2.3 Konzept und Nutzung nach Sanierung	17
2.4 Methodik	20
2.5 Aufgabenstellung und Planungsziele.....	21
2.6 Definition Plus-Energie-Gebäude	21
2.7 Primärenergiebilanz	24
2.7.1 Definition und berücksichtigte Komponenten.....	24
2.7.2 Grundlagen der Berechnung	27
2.8 Identifikation des Einsparpotenzials	27
2.8.1 Energieverbrauch vor und nach der Sanierung	27
2.8.2 Festlegung der relevanten Gebäudebereiche.....	28
2.8.3 Grundlage für die Berechnung des wirtschaftlichen Einsparpotenzials.....	29
3 Simulationsergebnisse der Variantenstudie	30
3.1 Allgemein	30
3.2 Eingangsdaten	30
3.3 Heizfall	31
3.4 Kühlfall	36
4 Ausgeführtes Gebäude.....	42
4.1 Gebäudehülle.....	42
4.2 Sommerliche Überwärmung Kernlüftung	53
4.3 Technische Gebäudeausstattung	59
4.3.1 Heizung / Kühlung.....	59
4.3.2 Warmwasser	66
4.3.3 Drucksteigerungsanlagen.....	66
4.3.4 Lüftungsanlage.....	67
4.3.4.1 Grundkonzept.....	67
4.3.4.2 Anlagengröße und Situierung	68

4.3.4.3	Luftvolumenstromoptimierung.....	69
4.3.4.4	Ventilatoren	72
4.3.4.5	Luftfeuchte.....	73
4.3.4.6	Regelungsstrategien.....	75
4.3.4.7	Serielle Anordnung von Rotoren (Doppelrotoren)	77
4.3.4.8	Brandschutzklappen	78
4.3.4.9	Optimierung der WC-Lüftungsanlage.....	79
4.3.4.10	Luftdichtheit Luftleitungen.....	80
4.3.5	Beleuchtung	86
4.3.5.1	Beleuchtungsenergiebedarf, Lichtausbeute und Sicherheitsbeleuchtung.....	86
4.3.5.2	Tageslichtnutzung und Tageslichtquotient	87
4.3.6	Aufzug.....	94
4.3.7	MSR.....	99
4.3.7.1	Planungsprozess und Parameterfestlegung.....	99
4.3.7.2	Optimierung der Steuerungsgeräte.....	99
4.3.7.3	24 V Netz.....	100
4.3.7.4	Bewegungsmelder	101
4.4	Nutzung.....	105
4.4.1	Server und USV	105
4.4.2	EDV-Konzept, Bürogeräte und Teeküchengeräte.....	106
4.5	Fotovoltaik.....	107
4.5.1	Anlagengröße.....	107
4.5.2	Dach	108
4.5.3	Fassade	109
4.5.4	CFD-Simulation Fassade	111
4.5.5	Brandschutz Fotovoltaik Fassade.....	113
4.5.6	Leistungsoptimierung und Monitoring.....	114
4.6	Abwärmenutzung Serverraum.....	115
4.7	Energierückgewinnung Aufzug.....	120
5	Bauwerkskosten und Mehrkosten.....	121
5.1.1	Bauwerkskosten.....	121
5.1.2	Mehrkosten	121
6	Ergebnis Primärenergiebilanz.....	123

6.1	Primärenergiebilanz - Planungsphase	123
6.2	Primärenergiebilanz - Ausführungsphase.....	125
7	Ergebnis Gebäudezertifikat TQB	128
8	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	129
9	Ausblick und Empfehlungen	130
10	Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis	131
10.1	Literaturverzeichnis	131
10.2	Abbildungsverzeichnis.....	134
10.3	Tabellenverzeichnis.....	140
11	Anhang Messergebnisse und Monitoring	142
11.1	Kernlüftung Messungen	142
11.1.1	Aufgabenstellung und Grundlagen	142
11.1.2	Situationsbeschreibung und Messanlage	142
11.1.3	Anzahl der durchgeführten Messungen.....	146
11.1.4	Auswertung der Messungen.....	146
11.1.5	Auswertung der Abschlussmessungen vom 16.03.2012	148
11.1.6	Schlussfolgerungen.....	152
11.2	Beleuchtung Messungen.....	153
11.2.1	Aufgabenstellung und Grundlagen	153
11.2.2	Auswertung eines Tages – Stehleuchte 300 lux	153
11.2.3	Auswertung Tag – Deckenleuchten.....	154
11.2.4	Beurteilung und Ausblick.....	155
11.3	Luftdichtheit der Fassade Messung.....	156
11.4	Monitoringkonzept.....	157

Kurzfassung

Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Getreidemarkt befindet sich derzeit in Fertigstellung und wird im August 2014 bezogen. Das Gebäude wird rund 700 arbeitenden Personen Platz bieten. Das gesamte Gebäude hat eine Nettogrundfläche von 13.500 m² und 11 Stockwerke.

Ziel des Projekts war die Erreichung des Plus-Energie-Standards primärenergetisch am Standort inkl. aller Bürogeräte und Server. Die Abdeckung des Primärenergiebedarfs erfolgt über die Fotovoltaikanlage, die Serverabwärmenutzung und die Energierückgewinnung der Aufzugsanlage.

Kernpunkt für die Erreichung des Plus-Energie-Bürogebäudes war die extreme Reduktion des Energieverbrauchs aller Bereiche und Komponenten im Gebäude, von Wärme über Kälte bis hin zu EDV-Arbeitsplatzgeräten und elektrischen Kleinkomponenten. Im Projekt wurden über 9.300 Komponenten aus 280 Kategorien aufgelistet, optimiert und vom Forschungsteam freigegeben.

In der folgenden Grafik wird zwischen universitärer Nutzung und Standard-Büronutzung des gesamten Gebäudes unterschieden. Bei der universitären Nutzung werden im Gegensatz zur Standard-Büronutzung hochleistungsfähige Simulationsrechner verwendet.

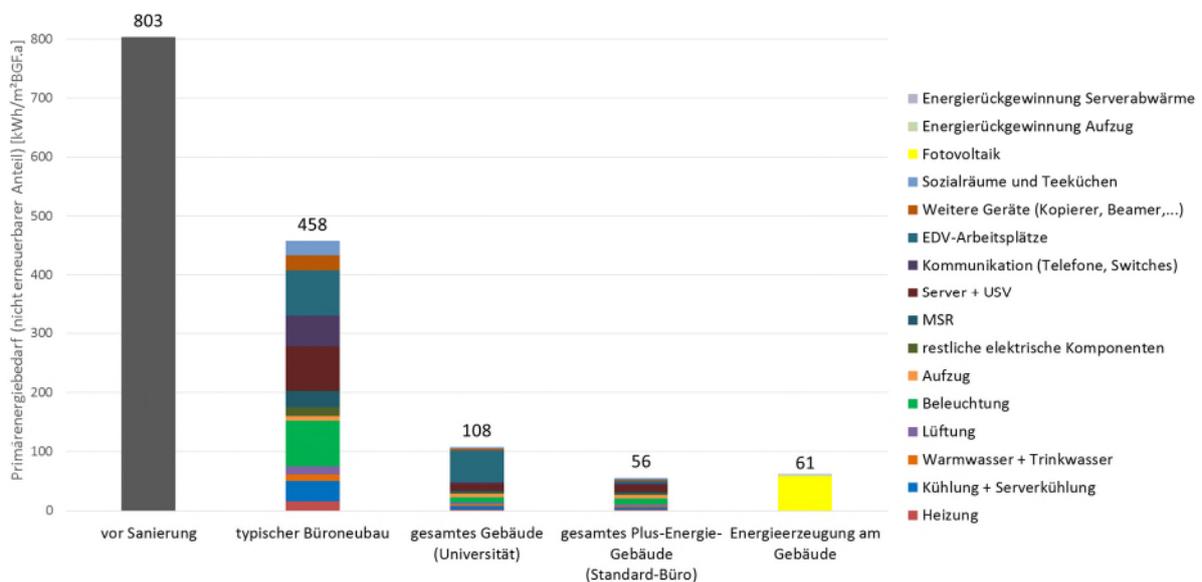


Abbildung 1: Primärenergiebilanz des TU Wien Chemiehochhauses am Getreidemarkt vor Sanierung, für universitäre Nutzung mit Simulationsrechner und Standard-Büronutzung

Zur Erreichung des Plus-Energie-Bürogebäudes wurden folgende Punkte im Projekt umgesetzt:

- verbesserte Passivhaushülle als Basis
- Kernlüftung zur automatisierten Nachtlüftung und Kühlenergieeinsparung
- Hochenergieeffiziente Haustechnik

- Doppelrotoren in Serie zur effizienteren Feuchterückgewinnung zwecks Vermeidung von Be- und Entfeuchtung
- hohe Dämmung aller Verteilleitungen (Heizung 6/3, Kühlung 3/3)
- Bauteilaktivierung (aktivierter Estrich zum Heizen und Kühlen)
- Kältemaschine mit SEER > 9
- Lüftungsanlage und Kanalnetz mit minimalen Druckverlusten, ohne Heiz- und Kühlregister
- Lüftung bedarfsgerecht
- LED-Deckenleuchten mit 110 lm/W
- 24 V Netz zur Energieeffizienzsteigerung und Netzteilzentralisierung
- Energieeffiziente Bürogeräte, Teeküchengeräte und Serverlösung
 - stufenweises Austauschkonzept für bestehende Geräte der einziehenden Institute
 - Verlagerung der Simulationsleistung vom Arbeitsplatz in den Serverraum zur zentralen effizienten Kühlung
- Energieerzeugung: Fotovoltaik auf dem Dach und in der Fassade
 - Gesamtleistung: 328,4 kWp
 - Dach: 97,8 kWp
 - Fassade: 230,6 kWp, größte gebäudeintegrierte Fotovoltaik Anlage Österreichs
- Energieerzeugung: Abwärmenutzung aus Serverraum und Nutzung in Bauteilaktivierung des Gebäudes, Abdeckung eines Großteils des Heizenergiebedarfs
- Energieerzeugung: Aufzug besser als Energiebedarfsbestklasse A mit Energierückgewinnung und Gegengewichtsreduktion

Das Gebäude erreicht 983 Punkte im Gebäudezertifikat TQB.

Die TU Wien setzt Ergebnisse aus diesem Projekt schon für alle 5.500 MitarbeiterInnen um: effiziente 10-W-Computer, Nachtabschaltung für alle bestehenden Telefone usw. Auf kommende Projekte der TU Wien werden technische Aspekte aus diesem Projekt, wie die LED-Beleuchtung, Sanierungsstandard usw., übertragen.

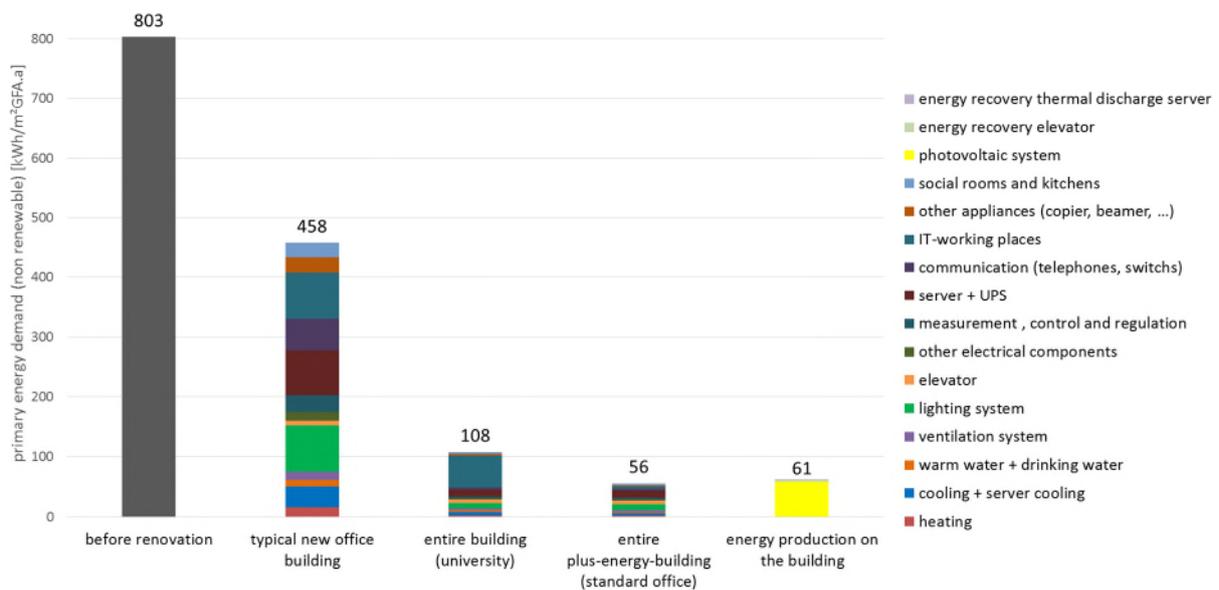
Abstract

Austria's largest plus-energy-office building situated on Getreidemarkt is now in completion and the relocation of the staff is going to take place in August 2014. The building offers 700 working spaces. The entire building has a net floor area of 13.500 m² and 11 storages.

Goal of the project was to accomplish the plus-energy-standard on a primary energy level on the site of the building including office computers and servers. The coverage of the primary energy demand is accomplished with the photovoltaic system, the usage of thermal discharge from the servers and the energy recovery from the elevators.

The central point for reaching the plus-energy-standard of the office building was the extreme reduction of the energy demand for all sections and components in the building, from heating to cooling and also for the office computers and smaller electric components. 9.300 components out of 280 categories in the project were registered, optimized and approved by the science team.

The following graphic differentiates between university usage and standard office usage of the entire building. In the university usage in opposition to the standard office usage high-performance simulation computers are being used.



Picture 2: primary energy balance of the TU Vienna „Chemiehochhaus“ on the Getreidemarkt before renovation, for university usage with simulation computers and for standard office usage

To accomplish the plus-energy-standard for the office building the following points were realised in the project.

- optimized passive house envelope
- core ventilation for automatized night ventilation and lower cooling demand
- highly energy efficient building services
 - double rotary heat exchangers for more efficient recovery of moisture and to prevent humidification and dehumidification

- high insulated distribution pipes (heating 6/3, cooling 3/3)
- thermal activation of building structures (activated screed for heating and cooling)
- cooling machine with SEER > 9
- ventilation system and air ducts with minimal pressure drops, no heating and cooling coils
- demand-actuated ventilation system
- LED-lighting with 110 lm/W
- 24 V grid for higher energy efficiency and centralization of power adapters
- energy efficient office computers, kitchen appliances and servers
 - stepwise exchange concept for existing computers of the institutes
 - transfer of the simulation computers from the working space to the server room for centralized and efficient cooling
- energy production: photovoltaic system on the roof and in the facade
 - total power: 328,4 kWp
 - roof: 97,8 kWp
 - facade: 230,6 kWp, largest building integrated photovoltaic system in Austria
- energy production: usage of thermal discharge from the servers and usage in the thermal activation system, coverage of the greater part of the building's heating energy demand
- energy production: elevator better than energy demand class A with energy recovery and weight reduction

The building achieves 983 points with the building certification TQB.

Results from this project are already realised by TU Vienna for all 5.500 employees: efficient 10 W computers, powering off of all existing phones at night etc. Technical aspects from this project are going to be transferred on upcoming projects from the TU Vienna, like LED lighting, the renovation standard etc.

1 Einleitung

Für in der Vergangenheit geplante und gebaute Bürogebäude war es noch nicht üblich, sich in jedem Gebäudebereich intensiv mit der Energieeffizienz auseinanderzusetzen. Das Vorurteil, energieeffiziente Lösungen sind teurer, hält sich hartnäckig. Um jedoch unabhängiger von steigenden Energiepreisen zu sein, mit Ressourcen nachhaltig umzugehen, zur Klimaentlastung beizutragen und somit auch die Betriebskosten zu senken, wird es immer relevanter, das Thema Plus-Energie-Büro voranzutreiben.

Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Standort Getreidemarkt (Subprojekt 3 „TU Plus Energie“) ist zum Zeitpunkt der Berichtslegung kurz vor der Fertigstellung und wird im August 2014 bezogen. Im Rahmen des Generalsanierungspaketes der österreichischen Bundesregierung für die Erneuerung von Universitäten wurde der bisher als Büro- und teilweise als Laborgebäude genutzte Bauteil als Gebäude mit ausschließlicher büro- und büroähnlicher Nutzung saniert und wird rund 350 angestellten Personen und ca. 350 StudentInnen hochwertige Arbeitsplätze bieten. Das gesamte Gebäude hat eine Nettogrundfläche von 13.500 m² und 11 Stockwerke.

Das Plus-Energie-Bürogebäude wird durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG), die Kommunalkredit Public Consulting (KPC), die Stadt Wien (Abteilung Energieplanung MA 20) und die TU Wien unterstützt und gefördert.

2 Grundlagen

2.1 Der Standort, das Areal Getreidemarkt der TU Wien

Auf dem heutigen Areal Getreidemarkt, begrenzt von der Lehargasse, der Gumpendorferstraße und dem Getreidemarkt, im 6. Wiener Gemeindebezirk, waren im 19. und 20. Jahrhundert bis 1918 zwei voneinander unabhängige Gebäude- und Funktionsgruppen in offener Bauweise situiert: am Getreidemarkt das technische Militärkomitee und in der Lehargasse die Kriegsschule.

Die Gebäude wurden nach dem 1. Weltkrieg der, damals Technischen Hochschule, gewidmet und bilden seitdem einen Standort der Chemie- und Maschinenbau fakultäten.

Professor Kupsky, als Raumbeauftragter der Technischen Hochschule, erstellte in den 1960er Jahren die ersten Erneuerungskonzepte zur Abdeckung der massiven Erneuerungsansprüche von Chemie und Maschinenbau. Das Konzept zeigte ein Wechselspiel von hohen und sehr niedrigen, langgestreckten Baumassen. Die Umsetzung des vorgesehenen Bebauungskonzeptes für die Chemie und den Maschinenbau wurde ab 1965 mit den ersten Hälften der vorgesehenen Hochhäuser begonnen.

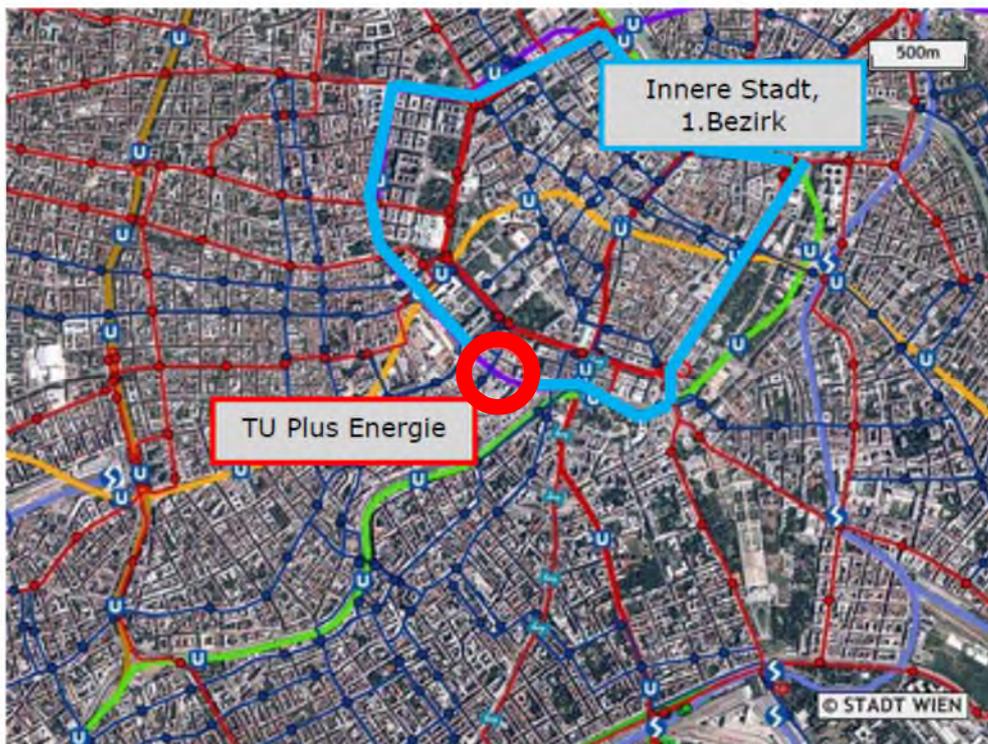


Abbildung 3: Areal Getreidemarkt - Lage in der Stadt Wien (Quelle: Stadt Wien - ViennaGIS, überarbeitet von Schöberl & Pöll GmbH)

Anfang der 1970er Jahre wurde der Bauteil BA, auch genannt „Chemiehochhaus“, fertiggestellt und der Nutzung durch die Fakultät Chemie übergeben.

Der Bauteil BA bildet mit der Gebäudehöhe von ca. 50 m das Kopfbauwerk am Areal Getreidemarkt. Zusammen mit dem 1995 fertiggestellten Bauteil BI bilden diese einen langgestreckten, parallel zum Getreidemarkt situierten Baukörper. Der Bauteil BB (Winkelbau) schließt mit der L-förmigen Grundrisstruktur die Gebäudezeile zur Gumpendorferstraße hin ab.

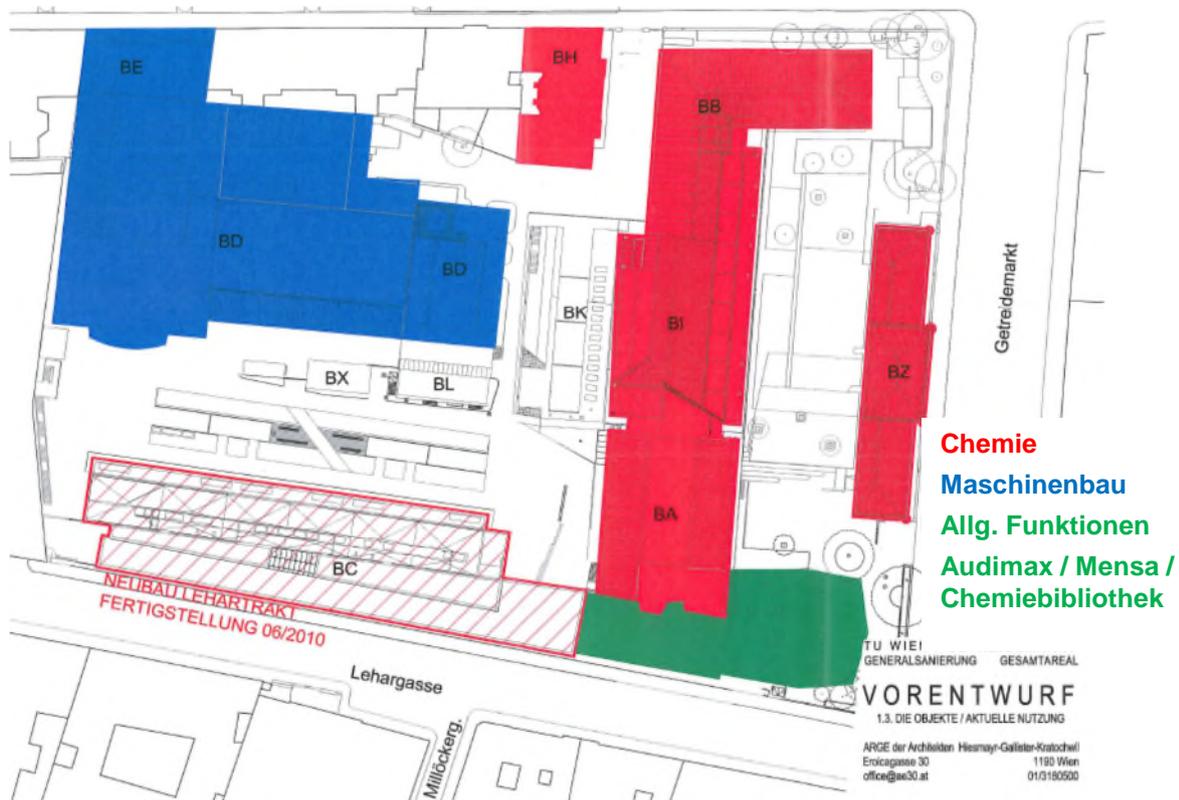


Abbildung 4: Areal Getreidemarkt - Nutzung vor Sanierung (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeintzer, bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH)

2.2 Der Bauteil BA, das Bestandsgebäude

Der Gebäudekomplex BA besteht grundsätzlich aus zwei sich klar unterscheidenden Baukörpern, dem eigentlichen Hochhaus und dem zweiten, dem Hochhaus vorgelagerten Hörsaal- und Bibliotheksgebäude.

Das Hochhaus besteht aus einem Tiefkeller, zwei Untergeschoßen, dem Erdgeschoß, zehn Obergeschoßen und einem zurückgestaffelten Dachgeschoß, das ursprünglich als Haus-technikzentrale genutzt wurde.

Der vorgelagerte Bauteil beinhaltete das alte Audimax mit 603 Personen Fassungsvermögen sowie die Chemiebibliothek.



Abbildung 5: Areal Getreidemarkt - Chemiehochhaus und Audimax vor der Sanierung (Quelle: Technische Universität Wien, bearbeitet von Schöberl & Pöll GmbH)

Die Lastabtragung vom Hochhaus erfolgt über zwei innenliegende und den äußeren Stützenachsen. Die fassadenseitig gelegenen Stützen, mit dazwischenliegenden massiven Parapeten führen nur bis zur frei auskragenden, massiven Decke über dem EG. Über eine mächtige, vorgespannte (bis 1,30m dicke) Betonplatte werden die fassadenseitigen Lasten auf die inneren Stützen abgeleitet.

Die Stiegenhäuser mit den Aufzugsgruppen bilden Aussteifungskerne und führen bis in die Fundamentebene.

Das an der südostseitigen Fassade gelegene Hauptstiegenhaus erschließt mit drei zugeordneten Einzelaufzügen alle Geschoße. An der gegenüberliegenden Gebäudeseite im Anschlussbereich zum nächsten Gebäude ist ein zweites Fluchtstiegenhaus angeordnet.

Die Raumerschließung im Regelgeschoß erfolgte über eine Innengangerschließung und davon abzweigenden Stichgängen. Die Regelgeschoßhöhe beträgt 4,00 m.

Primärenergiebedarf wird am Standort durch diese gebäudeintegrierte und am Dach montierte Fotovoltaikanlage abgedeckt. Die optimierte Gebäudehülle entspricht dem Passivhausstandard. Die Temperierung der Räume erfolgt über den aktivierten Fußboden (Estrich). Im restlichen Gebäude, außerhalb des Bürobereichs (3. bis 10. OG), sind Radiatoren, Konvektoren und Heizregister zur Wärmeerbringung vorgesehen. Eine Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärme- und Feuchterückgewinnung sowie optimierter Antriebsleistung wird eingesetzt. Durch Kernlüftung und thermische Kopplung der einzelnen Räume wird eine freie Kühlung in der Nacht ermöglicht. Hocheffiziente Bürogeräte, höchste Beleuchtungsoptimierung und die extreme Optimierung von Kleinkomponenten und deren (Standby-) Stromverbräuchen ermöglichen die Abdeckung des Primärenergiebedarfs durch die Fotovoltaik am Standort.

Der Bürobereich liegt im 3. bis 10. Obergeschoß, unterhalb des 3. Obergeschoßes sind hauptsächlich Bibliotheks- und StudentInnenbereiche angeordnet. Im Erdgeschoß ist der Eingangsbereich und in den Untergeschoßen sind die Technikräume und Zugangsbereiche zum Audimax angesiedelt. Diese Einteilung des Gebäudes erfolgt, da der Fokus dieses Projekts auf dem Bürobau, auf Bürobau spezifische Lösungen und deren Multiplizierbarkeit liegt. Es wurden aber in allen Bereichen des Gebäudes extreme Verbesserungen des Energiebedarfs durchgeführt.

Die bisherigen NutzerInnen des Gebäudes der Fakultät für Technische Chemie benötigten für den Betrieb folgende Nutzeinheiten: Laborräume, Seminarräume und Büroräume. Bei der Sanierung kam es zum Wechsel von NutzerInnen, chemische Laborräume sind nun im Lehartrakt (Bauteil BC) untergebracht. Das Plus-Energie-Bürogebäude wird nach Sanierung von der Fakultät Maschinenbau als Bürogebäude mit studentischen Bereichen genutzt.



Abbildung 7: Plus-Energie-Bürogebäude - Regelgeschoß nach der Sanierung (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer)

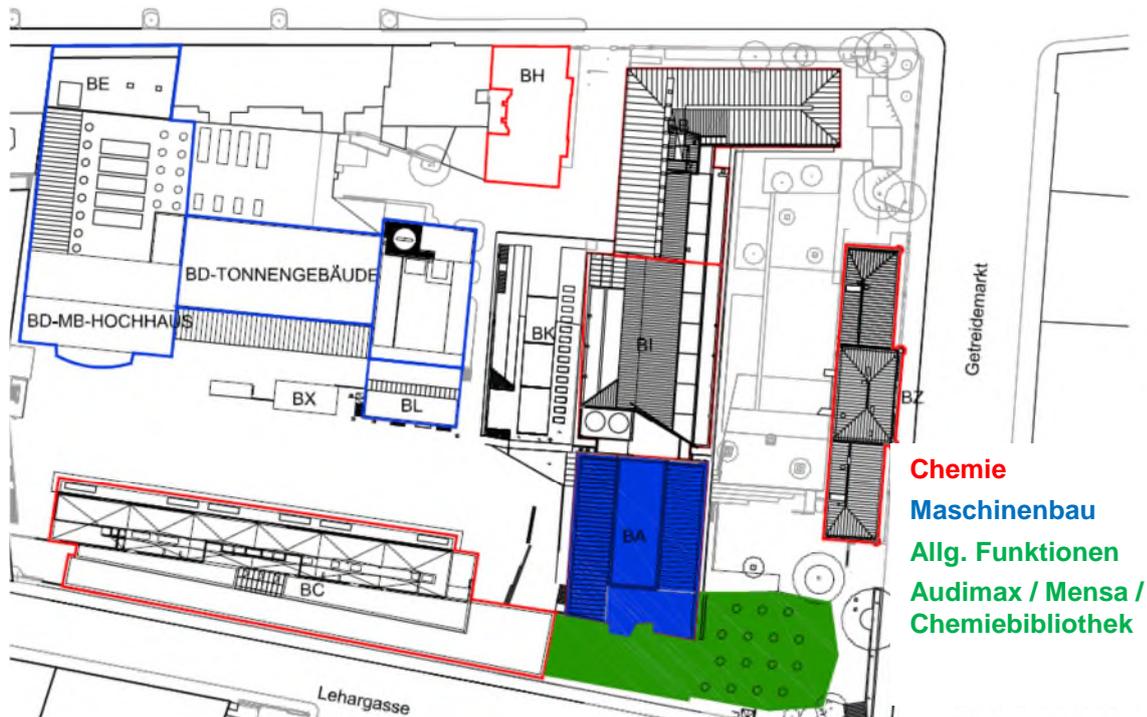


Abbildung 8: Areal Getreidemarkt – Nutzung nach der Sanierung (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer, bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH)

Das Bestandsgebäude wurde einer Generalsanierung unterzogen. Die Fassade wurde komplett erneuert, abgehängte Decken, Böden und die Einrichtung wurden entfernt.

Die Haustechnik wurde komplett erneuert. Die massiv ausgeführten Laboreinrichtungen (aus Mauerwerk) wurden entfernt. Übrig blieb das Tragwerk (Stahlbetonskelett) mit Schächten, aussteifenden Wänden und dem Hauptstiegenhauskern auf der Ostseite (ein zweites, kleineres Stiegenhaus befindet sich auf der Westseite). Durch die Schließung der in dieser Form nicht mehr benötigten Haustechnikschächte wurde die horizontale Aussteifung des Gebäudes verbessert. Im Zuge der statischen Planung wurde darauf geachtet, dass die Umbauten an maßgeblichen tragenden Bauteilen und die Lasterhöhungen in einem Rahmen bleiben, der dem aktuellen Sicherheitskonzept für die Erdbebensicherheit entspricht.

Für eine größtmögliche Nutzung der massiven Bauteile als wärmespeicherwirksame Masse wurden alle Bürobereiche ohne vollflächige abgehängte Decken ausgeführt. Akustikelemente wurden primär als frei abgehängte Holz-Segelkonstruktionen ausgeführt.

Die in der vorhandenen Größe nicht mehr benötigte zweigeschoßige Haustechnikzentrale im Dachgeschoß wurde zu einem Veranstaltungsraum um- und ausgebaut. Der Entfall der Haustechnikzentrale im Dachgeschoß bewirkte eine Entlastung der darunterliegenden tragenden Bauteile. Die erforderlichen Lüftungszentralen sind im 6. und 7. Obergeschoß untergebracht. Je eine Zentrale versorgt die darüber liegenden bzw. darunterliegenden Geschoße. Für den Veranstaltungsraum am Dach und für die Sanitärbereiche wurde je eine eigene Lüftungsanlage ausgeführt. Das Stiegenhaus und die Aufzugsgruppe wurden entsprechend angepasst.

Oberhalb des Veranstaltungsraums ist über dem Dach die um 15° geneigte Fotovoltaik auf einer Stahlunterkonstruktion angebracht. Durch diese Neigung wird die Ableitung von

Schnee und Regenwasser gewährleistet und ein gewisser Selbstreinigungseffekt ist vorhanden.

Sämtliche fassadenseitig gelegenen Räume sind mit offenbaren Fensterelementen ausgestattet. Die Elemente sind hinsichtlich ihrer Dimensionen auf die Funktionen und Einbaulage abgestimmt und in das Fassadensystem integriert.

Im Erdgeschoß stellt die Hauptaula mit StudentInnenaufenthaltsbereichen den Eingangsbereich dar. Im 1. und 2. Obergeschoß stellen eine neue Bibliothek und Seminarräume den StudentInnen weitere Arbeitsplätze zur Verfügung. In den Untergeschoßen befinden sich die Zugänge zum sanierten Audimax, Technikräume, Lagerräume, Werkstätten und Sanitärräume. Im Audimaxbereich sind nach der Sanierung zwei Hörsäle untergebracht. Im Zuge des Umbaus des Audimax wurde auch die gesamte Fluchtwegsituation stark verbessert.

Das gesamte Gebäude hat eine Nettogrundfläche von 13.500 m².

2.4 Methodik

Die gesamte Konzeption des Projektes wurde nach maximaler Energieeffizienz, technischer Machbarkeit und Praktikabilität unter marktfähigen Bedingungen ausgerichtet. Die ProjektpartnerInnen aus den Planungs- und Forscherteams wurden durch FachplanerInnen und durch das Forschungsprojekt beauftragte SpezialkonsulentInnen bei der Planung und Ausführung unterstützt, insbesondere bei der ganzheitlichen interdisziplinären Umsetzung der einzelnen Innovationen. In regelmäßigen Planungsbesprechungen und Workshops wurde an den technischen Möglichkeiten gearbeitet und gemeinsam Abstimmungen und Entscheidungen getroffen.

Während des gesamten Projektzeitraums kamen folgende Methoden zum Einsatz:

- In regelmäßigen Abständen stattfindende Planungsbesprechungen mit allen FachplanerInnen, um den Anforderungen des integralen Planungsprozesses zu entsprechen
- Workshops mit allen FachplanerInnen, um an projektrelevanten Fragestellungen gemeinsame und abgestimmte Entscheidungen zu treffen
- inhaltliches und klassisches Projektmanagement
- Regelmäßige Treffen des Kernteams
- Regelmäßige Rückkoppelungen zu den Zielwerten
- Einsatz von dynamischen Computersimulationen an virtuellen Gesamtgebäude-Modellen zur Funktionsüberprüfung und Optimierung
- Einbindung von wissenschaftlichen Ansätzen
- Herstellung von Synergie zwischen bereits geförderten Projekten durch ProjektpartnerInnenbeteiligung in den einzelnen Projekten.

2.5 Aufgabenstellung und Planungsziele

Ziel des Projekts ist es den Plus-Energie-Standard primärenergetisch und am Standort zu erreichen. Dies inkludiert auch die Abdeckung des Primärenergiebedarfs der gesamten technischen Gebäudeausstattung, aller Bürogeräte, Server, Küchen, Beleuchtung und Standby-Verbräuche durch die Fotovoltaikanlage, der Serverabwärme und der Bremsenergierückgewinnung der Aufzugsanlage. Grundlage für das Plus-Energie-Bürogebäude ist eine optimierte Gebäudehülle im Passivhausstandard, um den Einsatz der hocheffizienten Gebäudetechnik zu ermöglichen.

Inhalt des Projektes war der Bau eines Plus-Energie-Bürogebäudes. Die Sanierung des gewählten Gebäudes der Technischen Universität Wien soll ein Signalpunkt bezüglich Energieeffizienz und Nachhaltigkeit und ein Signalpunkt der fortschrittlichen Bildung in Österreich sein. Ziel war es, die Grundlage für die Verbreitung von Plus-Energie-Bürobauten zu schaffen. Es wurde auf eine hohe Multiplizierbarkeit für zukünftige Plus-Energie-Bürogebäude und für jede Art von Bürogebäude geachtet. Die technischen, wirtschaftlichen und Komfort-Grundlagen wurden dazu in diesem Projekt geschaffen. Mit dem Bau des Plus-Energie-Bürogebäudes demonstrieren die Projektpartner ihre Vorreiterstellung in ihrem Forschungsschwerpunkt „Energie und Umwelt“. Die StudentInnen werden durch ihre Energieeffizienz orientierte Bildungseinrichtung im Sinn der energieeffizienten Bauweise geschärft.

2.6 Definition Plus-Energie-Gebäude

Ein Plus-Energie-Gebäude ist ein Gebäude, bei dem der totale Primärenergiebedarf (Gebäudebetrieb+Nutzung+Eigendeckung) sehr gering ist. Für das Gebäude wird folgende Plus-Energie-Definition herangezogen [PLUS13]:

- **Primärenergie**
Der nicht-erneuerbare Primärenergiebedarf (Gebäudebetrieb+Nutzung+Eigendeckung) ist kleiner als der durch den Export von Energie ins Netz reduzierte nicht erneuerbare Primärenergiebedarf bei anderen Energienutzungen (andere Gebäude, Mobilität, etc.)
- **Standort**
Erneuerbare Energie wird Vorort produziert (innerhalb der Grenzen des Gebäudes)
- **Betrachtungszeitraum**
1 Jahr
- **Bilanzgrenze**
Die oben stehende Definition beinhaltet neben Heizung, Kühlung und Lüftung auch Bürogeräte, Server, Küchengeräte, die technische Gebäudeausstattung und die Beleuchtung.

Der Primärenergiebedarf (Gebäudebetrieb+Nutzung+Eigendeckung) wird an der Grenze E_t mit den nicht erneuerbaren Konversionsfaktoren gerechnet. Diese Definition ist in Abbildung 9 dargestellt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass der nicht erneuerbare Primärenergiebe-

darf kleiner als der durch den Export von Energie ins Netz reduzierte nicht erneuerbare Primärenergiebedarf ist.

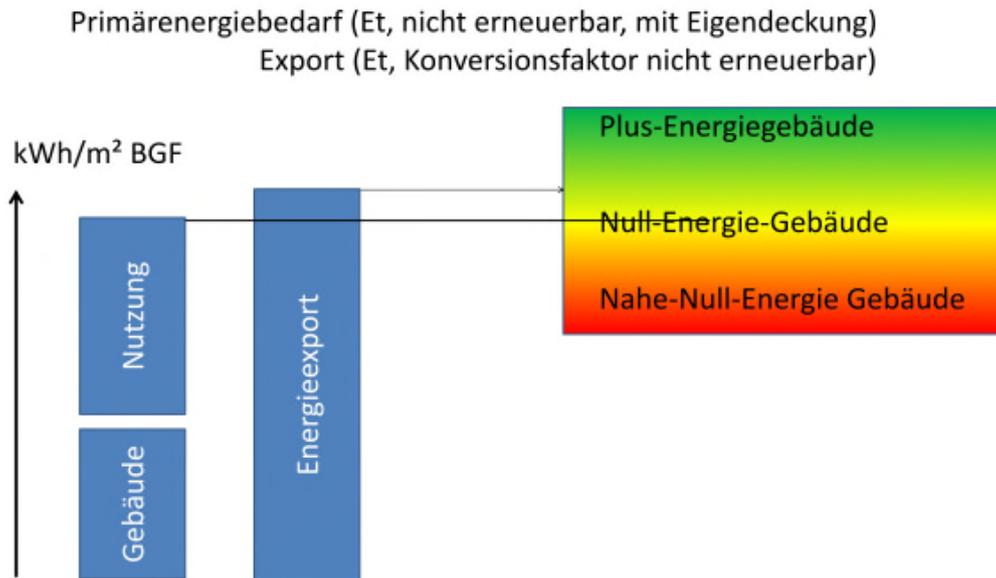


Abbildung 9: Kenngrößen für Plus-Energie: Netto-Primärenergiebedarf inkl. Nutzung [PLUS13]

Dabei bedeutet der Begriff „Eigendeckung“, dass die lokale Bereitstellung von Strom und Wärme vorrangig zur Abdeckung des eigenen Strom- und Wärmbedarfs dient. Im gegenständlichen Projekt wird der nicht lokal verbrauchte Strom in den Starkstromring am Areal Getreidemarkt gespeist und zur Gänze durch die Nachbargebäude der TU Wien verbraucht und nicht ins öffentliche Netz exportiert. Damit die Eigendeckung in die Berechnung des Primärenergiebedarfs an der Bilanzgrenze E_t berücksichtigt werden darf, müssen die dazu notwendigen technischen Einrichtungen vorhanden sein. Vorrangig wird der Energiebedarf für den Gebäudebetrieb gedeckt und nachrangig die Nutzung.

Die Abbildung 4 verdeutlicht die Bilanzgrenzen:

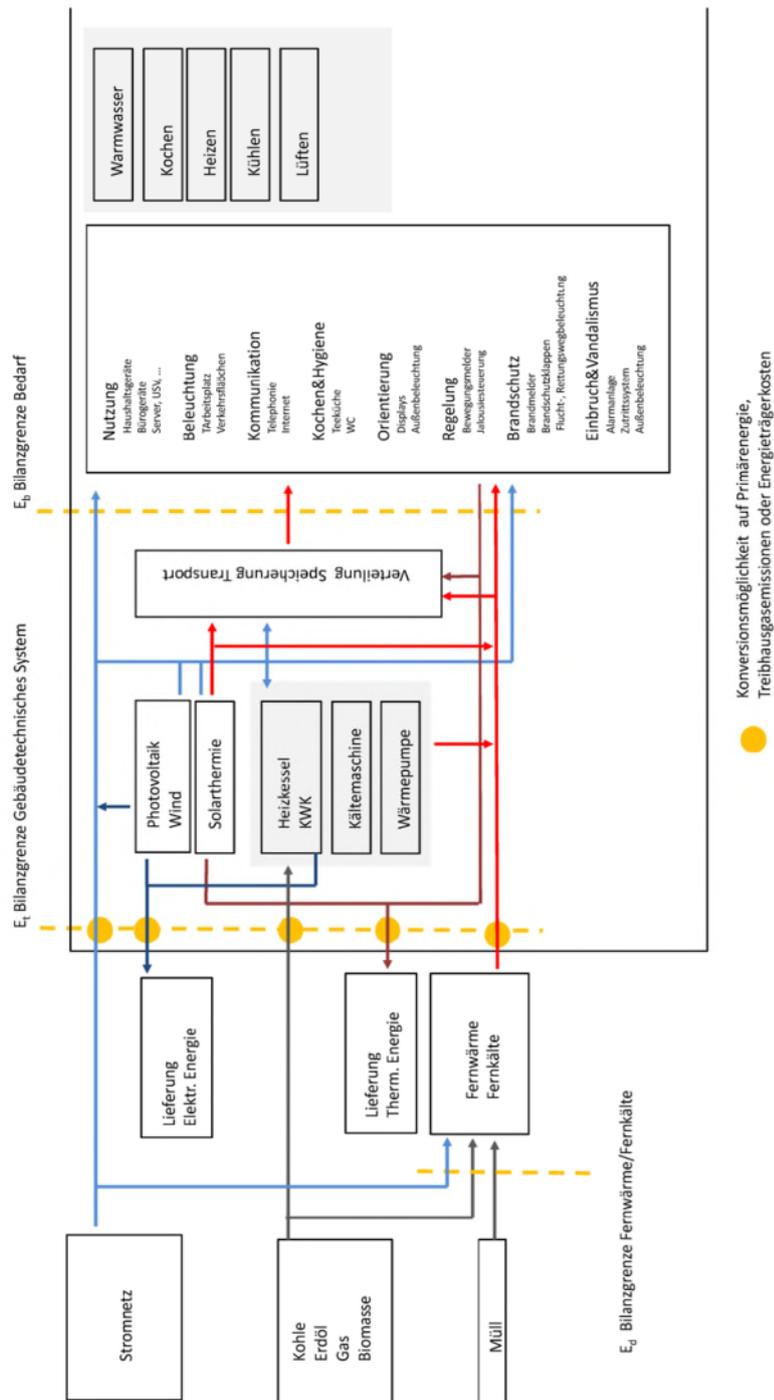


Abbildung 10: Darstellung Bilanzgrenzen für Plus-Energie-Gebäude [BED10]

2.7 Primärenergiebilanz

2.7.1 Definition und berücksichtigte Komponenten

Der Primärenergiebedarf für die Energiebereitstellung enthält sämtliche Faktoren der Primärenergieerzeugung mit den Vorketten (einschließlich der Materialvorleistungen und Hilfsenergien) für die Förderung, Aufbereitung, Umwandlung, den Transport und die Verteilung der betrachteten Energieträger.

Die Berechnungen des Primärenergiebedarfs schließen den gesamten Energieverbrauch des Gebäudes ein. Er setzt sich aus 280 Komponentenarten, die in folgende Gruppen gegliedert wurden, zusammen:

- Heizung
 - o Heizen
 - o Verteilverluste
 - o Pumpenstrom Wärmeverteilung
- Kühlung
 - o Raumkühlung
 - o Kühlung der Serverräume
 - o Verteilverluste
 - o Pumpenstrom Kälteverteilung
 - o Kühlturm
- Warmwasser und Trinkwasser
 - o Durchlauferhitzer Teeküchen
 - o Drucksteigerungsanlage für Kalt-Trinkwasser (Hochhaus)
- Lüftung
 - o Ventilatorenstrom
 - o Antrieb Rotationswärmetauscher
 - o Volumenstromregler und Regelklappen
- Beleuchtung
- Aufzug
- restliche elektrische Komponenten
 - o div. Motoren (Sonnenschutz, Kernlüftungsöffnungen, usw.)
 - o Einrichtungen für Sicherheit und Brandschutz
 - o Sicherheitsbeleuchtung und Batterie
 - o Wechselrichter
 - o Klein- und Fäkalhebeanlagen
 - o Steuerung Pissoir
- MSR
 - o Schalt- und Meldemodule
 - o Switches für MSR
 - o Aktoren
 - o Luft- und Qualitätsfühler für Regelung
 - o Einzelraumsteuerung-Bedieneinheit
 - o Regelventile
 - o Bewegungsmelder
 - o Schnittstellen
- Server und USV

- Kommunikation
 - o Switches für Telefonie
 - o Switches für EDV-Netzwerk
- EDV-Arbeitsplatzgeräte
 - o Computer
 - o Monitor
 - o Telefon
 - o Gadgets
- Weitere Geräte
 - o Stockwerksdrucker / Kopierer
 - o Beamer
 - o Flatscreens
- Sozialräume und (Stockwerks-)Teeküchen
 - o Kühlschrank
 - o Kochplatten
 - o Mikrowelle
 - o Kaffeemaschinen

Die Bilanzgrenzen für die unterschiedlichen Bereiche sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

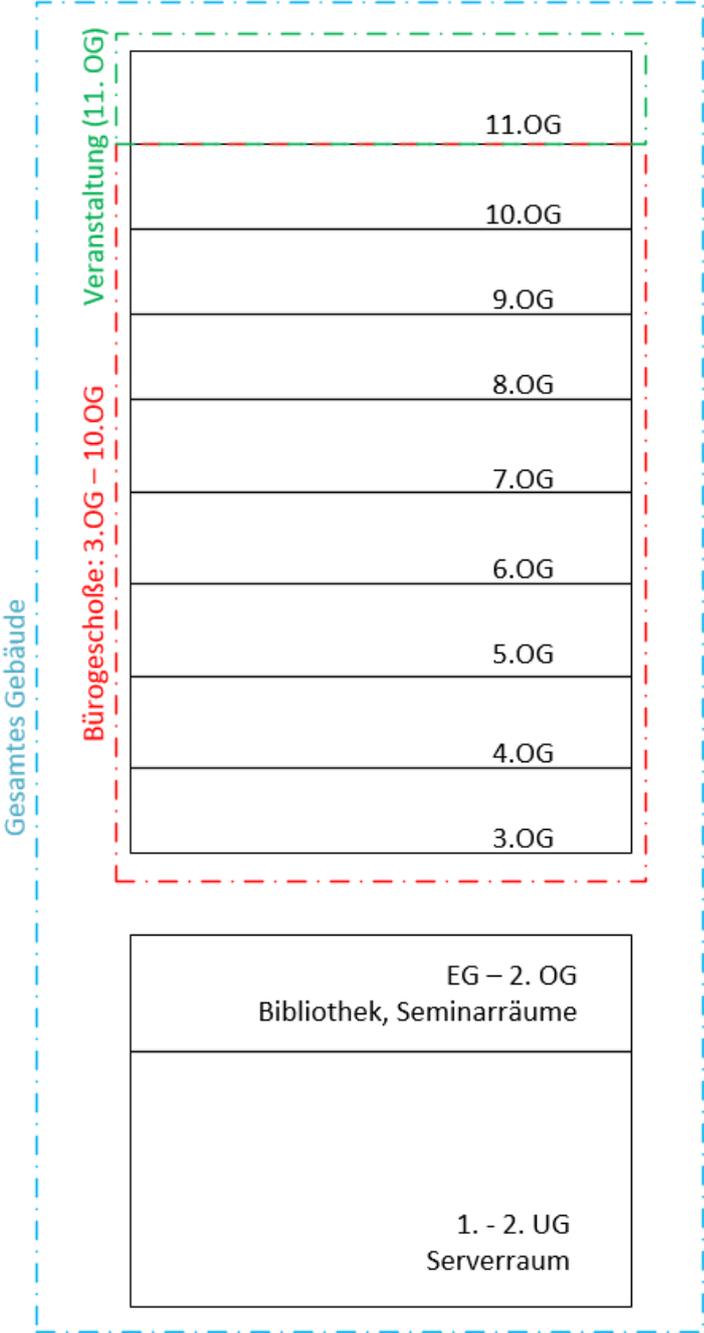


Abbildung 11: Darstellung der Bilanzgrenzen

2.7.2 Grundlagen der Berechnung

Die Grundlage der Berechnungen bilden alle einschlägigen ÖNORMen zur Erstellung des Energieausweises. Der Heizwärmebedarf, der Kühlbedarf und die Lüftungsanlage wurden mittels Simulation berechnet, wobei die inneren Lasten aller Geräte, Personen, Aktivierung des Sonnenschutzes, Raumlufteinrichtung, Beleuchtung usw. berücksichtigt wurden.

Die Berechnung des Primärenergiebedarfs bezieht sich auf das gesamte Gebäude. Der Anteil der acht Bürogeschoße wird gesondert dargestellt, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Bürogebäuden zu ermöglichen.

Die gesetzlich verpflichtenden Konversionsfaktoren (nicht erneuerbar und gesamt) werden aus der aktuellen OIB-Richtlinie 6 [OIB11] verwendet, für die Fernwärme werden gemäß OIB-Richtlinie 6 die Konversionsfaktoren der Fernwärme Wien [WIE14] angesetzt:

- Strom - gesamt $f_{PE} = 2,62 \text{ kWh/kWh}$
- Strom - nicht erneuerbar $f_{PE,n.ern.} = 2,15 \text{ kWh/kWh}$
- Fernwärme - gesamt $f_{PE} = 0,33 \text{ kWh/kWh (Fernwärme Wien)}$
- Fernwärme - nicht erneuerbar $f_{PE,n.ern.} = 0,06 \text{ kWh/kWh (Fernwärme Wien)}$

Die Eingangsdaten der Berechnung stammen aus den Plänen und Angaben der verschiedenen Projektpartner.

2.8 Identifikation des Einsparpotenzials

2.8.1 Energieverbrauch vor und nach der Sanierung

Für das Chemiehochhaus im Bestand liegen für die Jahre 2008 bis 2010 die monatlichen Fernwärme- und Stromverbräuche für das gesamte Gebäude (inkl. Keller und aller Geschoße) vor. Für diese Verbräuche ist anzumerken, dass im Gebäude vor der Sanierung Büros und Labors betrieben wurden und keine durchgängige Büronutzung, wie nach der Sanierung, vorzufinden war. Für den Wärmeverbrauch wurden innerhalb der letzten Jahre schon energiesparende Maßnahmen getroffen, wie Abschaltung der Heizung am Wochenende und in ungenutzten Bereichen. Aus diesem Grund liegt der Verbrauch unterhalb des erwarteten Werts.

Die Verbräuche für das Plus-Energie-Gebäude wurden aufgrund der Nutzung und der eingesetzten hocheffizienten Geräte, Beleuchtung und Haustechnik und der thermischen Sanierung berechnet.

Für die Endenergie des Stroms ergeben sich folgende Werte:

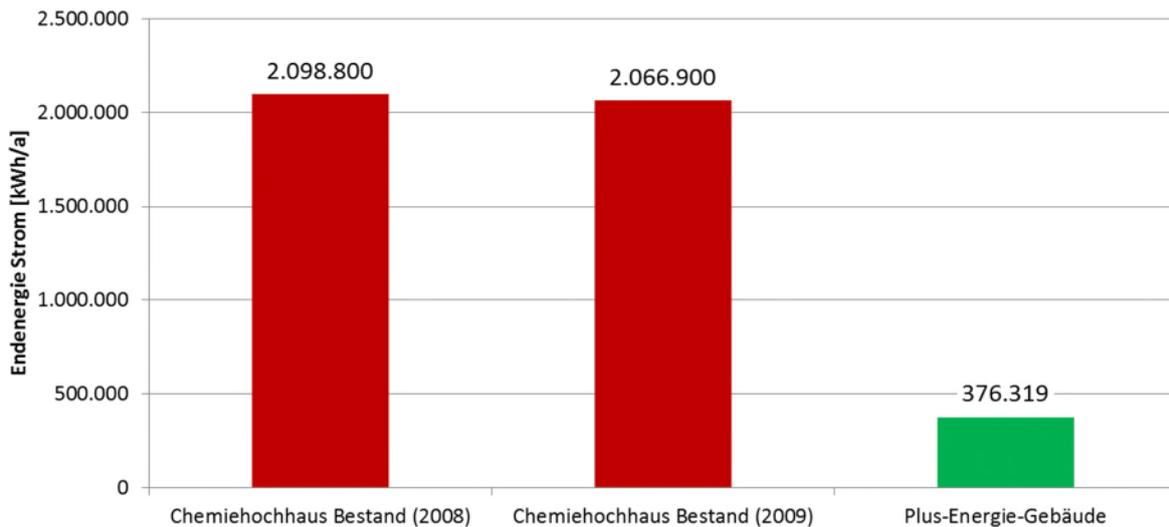


Abbildung 12: Gegenüberstellung der Endenergie des Stroms für das Chemiehochhaus Bestand und das Plus-Energie-Gebäude in kWh/a (Daten 2008, 2009: TU Wien Gebäude und Technik)

Für die Endenergie der Heizung ergeben sich folgende Werte:

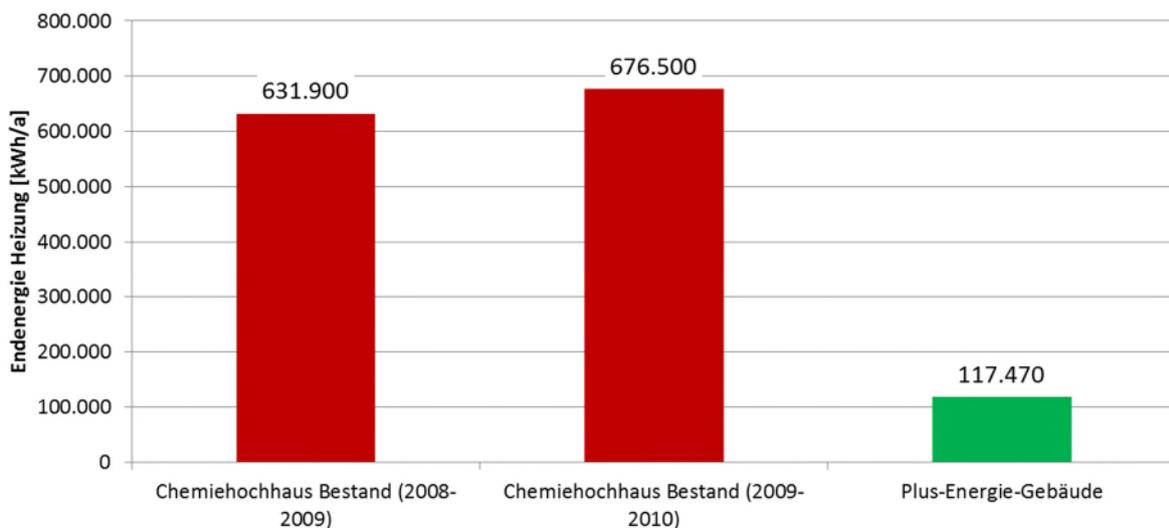


Abbildung 13: Gegenüberstellung der Endenergie der Heizung für das Chemiehochhaus Bestand und das Plus-Energie-Gebäude in kWh/a (Daten 2008, 2009, 2010: TU Wien Gebäude und Technik)

2.8.2 Festlegung der relevanten Gebäudebereiche

Grundlage für die Berechnung der Energieverbräuche des Gebäudes ist eine Primärenergiebilanz, welche in den fortschreitenden Planungsstadien immer weiter verfeinert wurde (siehe Kapitel 6). Anhand der Bilanz und deren Aufteilung ist ersichtlich, welche Bereiche die größten Energieverbraucher darstellen, es werden folgende Schwerpunkte und deren Einsparpotenzial dokumentiert:

- Gebäudehülle / Fassade
 - Fenstervarianten
 - Vakuumdämmung der untersten Geschoßdecke

- Haustechnik
 - Nachtlüftung vs. Kühlung
 - Serverabwärmenutzung (Integration der Energiebereitstellung)
 - hocheffiziente Kühlung
 - bedarfsgesteuerte Lüftungsanlage
- Elektrotechnik
 - hocheffiziente Bewegungsmelder
 - LED Beleuchtung
 - Aufzug mit Bremsenergierückgewinnung

Diese Festlegung stellt die Grundlage für die Analyse des realisierbaren Einsparpotenzials am Gesamtsystem dar. Zu jedem dieser Gebäudebereiche wurden die energierelevanten Kernparameter festgelegt, umfassende Untersuchungen, Hochrechnungen und Variantenstudien in der Planungsphase durchgeführt, deren Einsparpotenzial ermittelt und relative Unterschiede zwischen den Varianten errechnet. Diese sind in den jeweiligen Bereichen zugehörigen Kapiteln dokumentiert.

2.8.3 Grundlage für die Berechnung des wirtschaftlichen Einsparpotenzials

Für die durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen (Annuitätenmethode) wurden folgende Parameter angesetzt. Die angesetzte Lebensdauer variiert je nach untersuchtem Bereich.

Tabelle 1: Parameter für Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Kalkulationszinssatz ¹	5,0 %/a
Fremdfinanzierung	100 %
Inflation ¹	2,5 %/a
Preissteigerung Fernwärme ¹	5,5 %/a
Preissteigerung Strom ¹	5,5 %/a
Energiekosten Strom ²	0,11 Euro/kWh
Energiekosten Fernwärme ²	0,059 Euro/kWh
berücksichtigter Fördersatz	25 %
¹ Quelle: klima:aktiv, Kriterienkatalog Bürogebäude Sanierung 2012 [KL12] ² Quelle: TU Wien, Gebäude und Technik (inkl. USt)	

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung (Annuitätenmethode) erfolgte mittels econ calc (Version 1-2-20).

3 Simulationsergebnisse der Variantenstudie

3.1 Allgemein

Das geplante Plus-Energie-Bürogebäude am Getreidemarkt wird als hocheffizientes Gebäude ausgeführt. Dazu zählen auch die gebäudetechnischen Anlagen wie z. B. die Bauteilaktivierung im Fußboden. Diese effiziente Fußbodentemperierung im Winter sowie im Sommer ist nur dann möglich, wenn die Fassade ausreichend luftdicht und einen sehr niedrigen Transmissionswärmeverlust aufweist. Ein außen liegender Sonnenschutz ist zur Verringerung der solaren Lasten unabdingbar.

In diesem Kapitel werden die Einflüsse verschiedener Maßnahmen anhand der sich einstellenden operativen Temperaturen und den notwendigen Heiz- und Kühlleistungen dargestellt. Die Abfolge der verschiedenen Maßnahmen soll ihr Zusammenwirken nachvollziehbar machen. Das erstellte Gebäudemodell dient als Grundlage zur Bewertung des Einsparpotenzials und zur Optimierung, Analyse der Performance und zur Durchführung der Risikobeurteilung einzelner Maßnahmen.

Die Berechnungen wurden mit einem Simulationstool gemacht, welches an der TU Wien Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz programmiert wurde. Der Algorithmus des Tools wurde im Zuge der Überarbeitung der ÖNORM B 8110-3 [ONO12] entwickelt und validiert.

In diesem Kapitel wird ausschließlich das thermische Verhalten der Räume unter den anzunehmenden inneren Lasten der NutzerInnen behandelt. Dabei wird das Szenario Standardbürogeräte und hocheffiziente Bürogeräte verwendet.

Die Berechnungen basieren auf folgenden Input-Dokumenten:

- Entwurfsplan 12.12.2011: Grundrisse und Schnitte der untersuchten Räume (ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer)
- Energieausweis Februar 2012: Bauteilaufbauten (Schöberl & Pöll GmbH)
- Adaptionen der Eingangsgrößen aufgrund der laufenden Planungsbesprechungen insbesondere: fenstertechnische Eigenschaften

In diesem Kapitel werden nur ein Auszug der Simulationsergebnisse und die Schlussfolgerungen präsentiert.

3.2 Eingangsdaten

Für die Berechnung der Heiz- und Kühllasten wurden zwei verschiedene Räume verwendet. Auf der Südwestseite ein Zweipersonenbüro mit einer Fläche von 15,34 m² und auf der Nordostseite ein Dreipersonenbüro mit einer Fläche von 22,66 m². Es handelt sich um die Räume BA 05 A13 bzw. BA 05 G20 im 5. Obergeschoß.

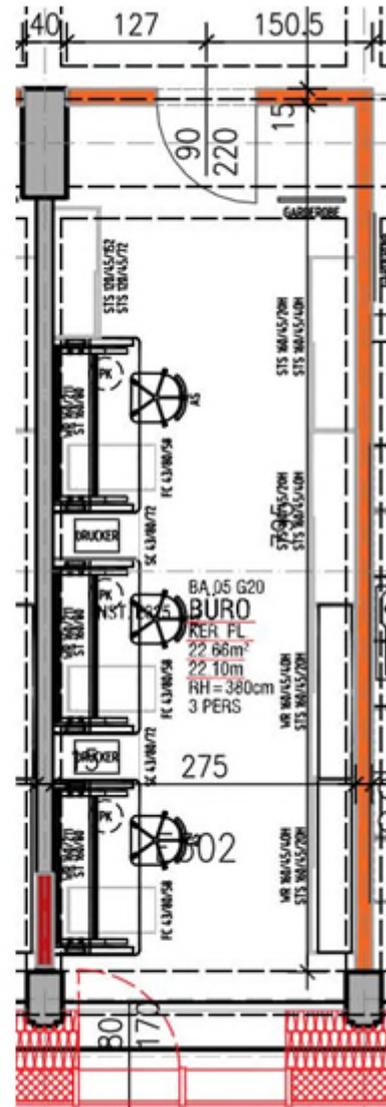
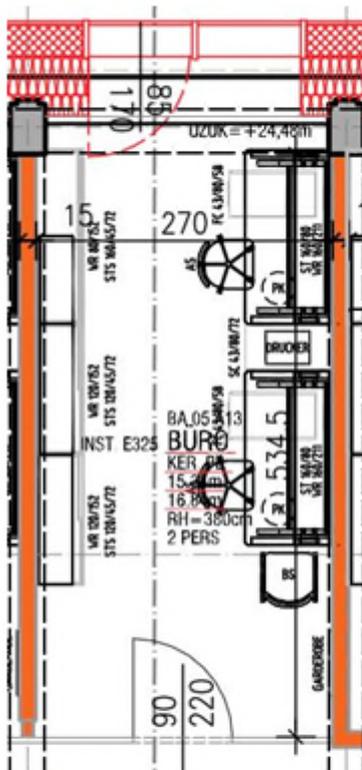


Abbildung 14: Grundrisse der zwei untersuchten Räume. Links: Zweipersonenbüro Orientierung Südwest. Rechts: Dreipersonenbüro Orientierung Nordost; (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeitzner (Entwurfspläne vom 12.12.2011), bearbeitet durch TU Wien, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz)

Die Fassade entspricht einer Lochfassade mit einem starren und einem öffenbaren Fensterflügel.

Für die Lüftungsanlage wurden die verwendeten Werte aus den Festlegungen in den Planungsbesprechungen verwendet. (Volumenstrom $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{AP})$; Wärmerückgewinnung 0,902; SFP gesamt für Zu- und Abluft $0,4 \text{ Wh/m}^3$)

3.3 Heizfall

Beim Heizfall wurde auch der Worst-Case hinsichtlich Heizlastberechnung angenommen. Eine Person ist immer anwesend, die Beleuchtung ist während der Nutzungszeit deaktiviert und effiziente Geräte laufen.

Die angenommenen internen Lasten stellen sich bei effizienten Geräten und deaktivierter Beleuchtung wie folgt dar:

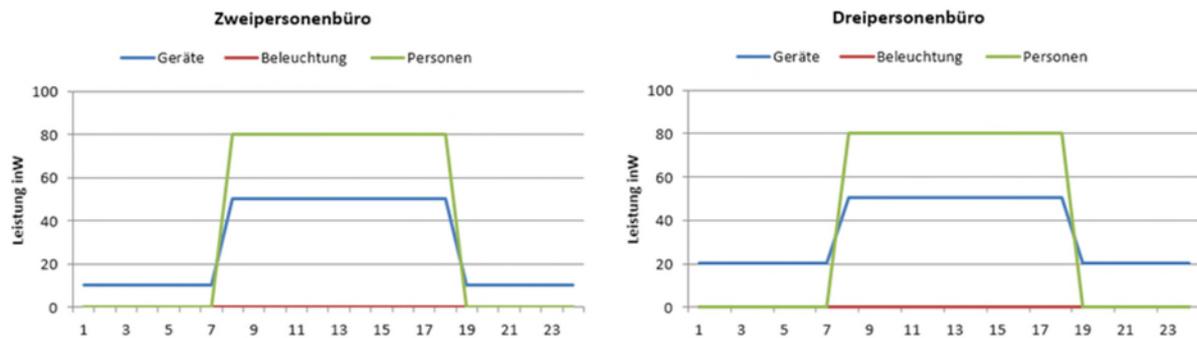


Abbildung 15: Innere Lasten der verschiedenen Büros für den Heizfall (Worst Case: 1 Person anwesend)

Pro Person wurden 80 W innere Lasten und 50,6 W/Person für die Geräte angenommen. Dies entspricht im Mittel, bei nur einer anwesenden Person, einer spezifischen Leistung von 2,6 W/m² für die Geräte. Die Person macht im Mittel spezifisch rund 4,2 W/m² aus.

Beispiele Zwei- und Dreipersonenbüro

Anhand von zwei der insgesamt acht simulierten Fälle wird hier gezeigt, wie sich die verschiedenen Maßnahmen auf die Temperaturen in den Büros auswirken. Beginnend mit dem Referenzgebäude nach Bauordnung werden alle Fälle bis zum geplanten Plus-Energie-Bürogebäude durchgespielt. Die Randbedingungen werden im folgenden Text tabellenartig dargestellt und bei jedem neuen Fall wird die Veränderung gegenüber dem Referenzfall grün gefärbt.

Die Ergebnisdiagramme sind immer gleich aufgebaut. Links oben ist der Temperaturverlauf der operativen Raumtemperatur, der Zulufttemperatur und der Außentemperatur am Auslegungstag ohne solare Gewinne und rechts daneben dasselbe für eine Kälteperiode mit solaren Gewinnen abgebildet. Links darunter sind solare und innere Gewinne sowie die Heizlast für den Auslegungstag dargestellt. Rechts unten werden die solaren und inneren Gewinne für den letzten Tag der Kälteperiode angezeigt.

Fall 1 Referenzgebäude – Zweipersonenbüro

Tabelle 2: Eingangswerte Fall 1

2 Personenbüro Südwest Fall 1 - Standardsanierung		
Lüftungsanlage	Nein	
Innere Lasten	Effiziente Geräte	Nur eine Person anwesend
Beleuchtung	Deaktiviert	
Heizung	Radiatoren	
Orientierung	Südwest	
Fensterstellung nachts	Geschlossen	
Sonnenschutz	Außen	
Fenster	$U = 1,10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$g = 0,6$
Außenwand	$U = 0,35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	
Gebäudehülle Luftdichtheit	$n_{50} = 1,5$	
Temperaturen	Berechneter Raum $22 \text{ }^\circ\text{C}$	Nachbarräume $18 \text{ }^\circ\text{C}$

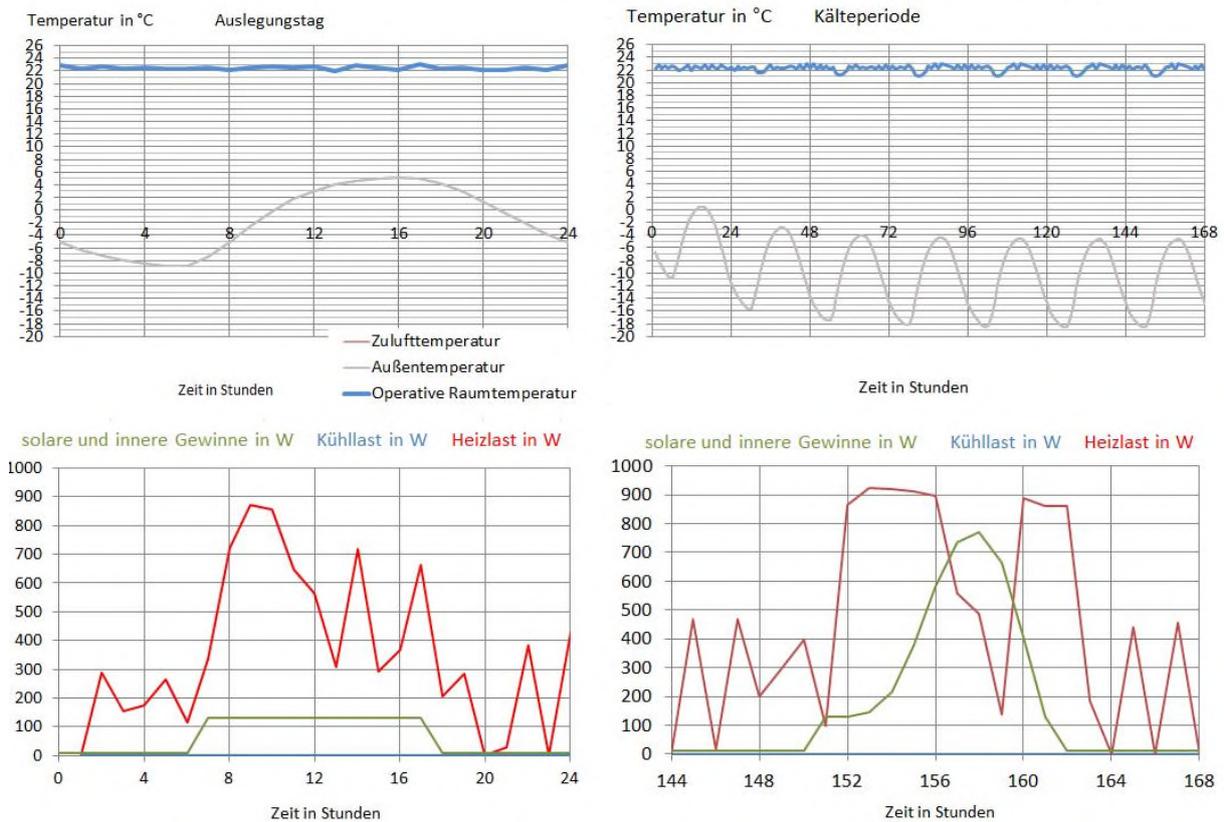


Abbildung 16: Verlauf der Temperatur, der solaren und inneren Gewinne für den Fall 1

Maximaltemperatur am Auslegungstag: $23,0 \text{ }^\circ\text{C}$

Minimaltemperatur am Auslegungstag: $22,1 \text{ }^\circ\text{C}$

Fall 4 Geplante Variante Plus-Energie-Büro– Zweipersonenbüro

Tabelle 3: Eingangswerte Fall 4

2 Personenbüro Südwest Fall 4 - Geplante Variante Plus Energie Büro		
Lüftungsanlage	Ja	WRG 0,902
Innere Lasten	Effiziente Geräte	Nur eine Person anwesend
Beleuchtung	Deaktiviert	
Heizung	Bauteilaktivierung	Maximal 15 W/m ²
Orientierung	Südwest	
Fensterstellung nachts	Geschlossen	
Sonnenschutz	Außen	
Fenster	U = 0,85 W/m ² .K	g = 0,57
Außenwand	U = 0,11 W/m ² .K (1)	
Gebäudehülle Luftdichtheit	n ₅₀ = 0,3	
Temperaturen	Berechneter Raum 22 °C	Nachbarräume 18 °C
(1) U-Wert ausgeführt: 0,088 W/m ² .K		

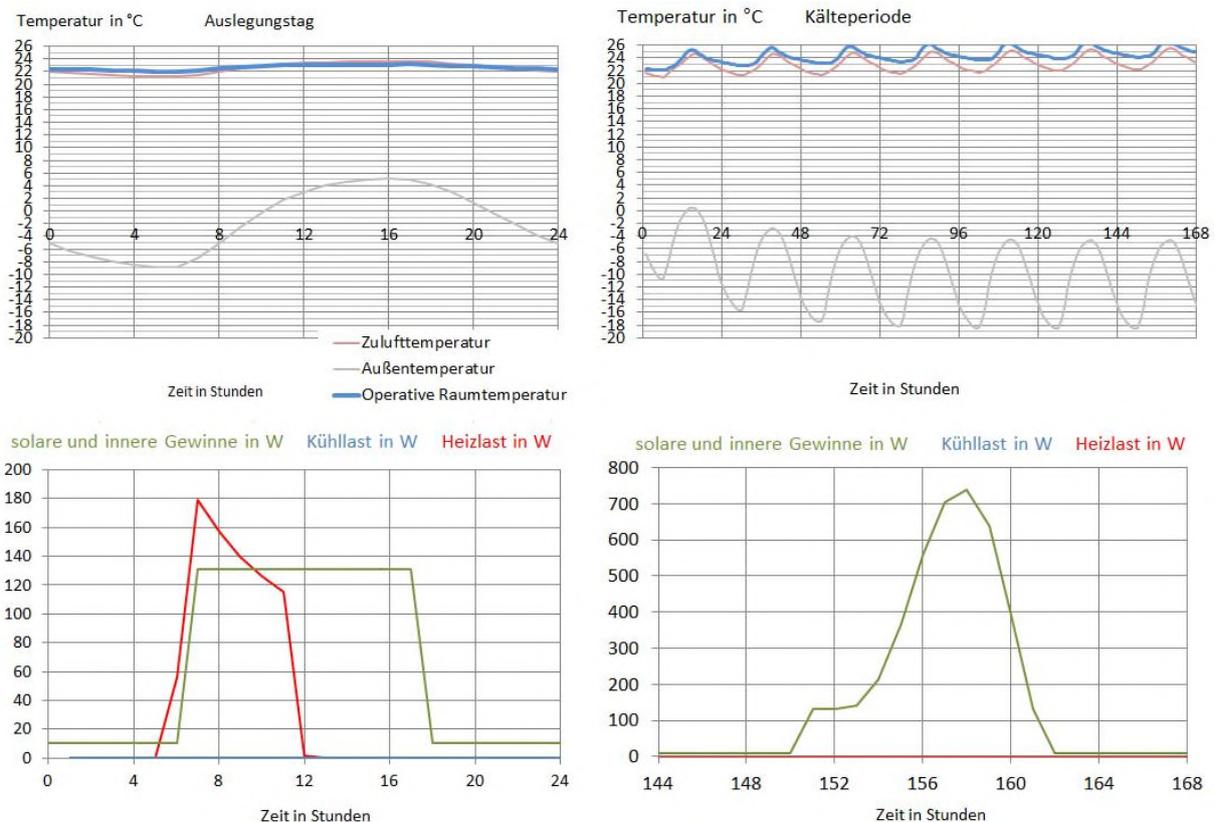


Abbildung 17: Verlauf der Temperatur, der solaren und inneren Gewinne für den Fall 4

Maximaltemperatur am Auslegungstag: 23,2 °C

Minimaltemperatur am Auslegungstag: 22,0 °C

Resümee Heizfall

Im Heizfall ergeben sich für die verschiedenen Varianten folgende maximale Temperaturen:

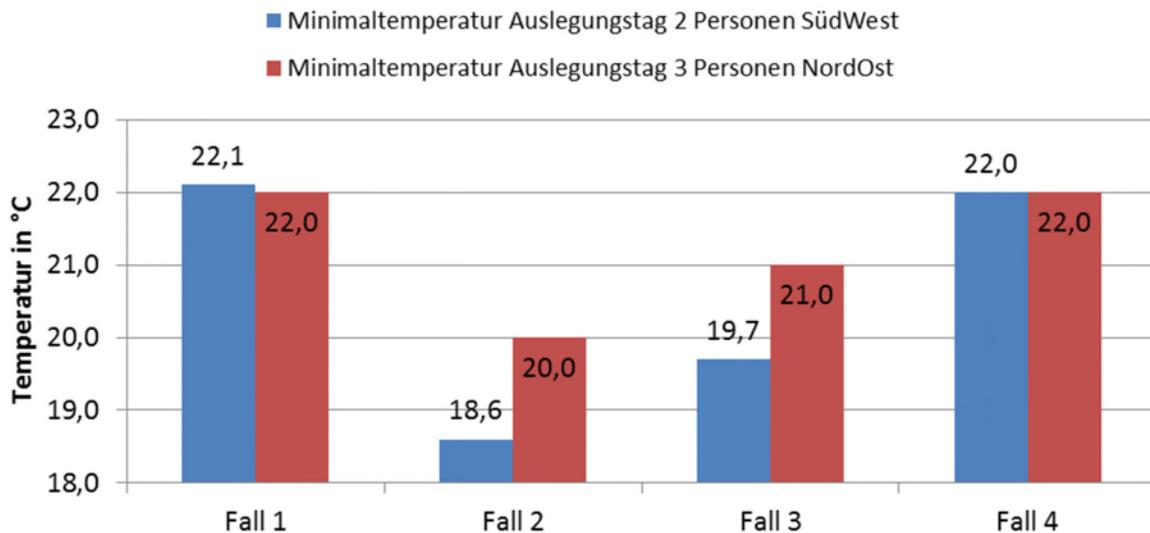


Abbildung 18: Vergleich der Minimaltemperatur am Auslegungstag der verschiedenen Fälle und variablen Büros

Bei Fall 1, der Standardsanierung mit Radiatoren, können die geforderten 22 °C eingehalten werden.

Fall 2 entspricht der Standardsanierung mit einer Fußbodenheizung. Die geforderte Temperatur in beiden Büros kann nicht eingehalten werden. Dies liegt an den hohen U-Werten und der geringeren Luftdichtheit des Gebäudes.

Werden Passivhauskomponenten verwendet (Fall 3), kann die geforderte Temperatur annähernd eingehalten werden.

Erst bei der Installation einer Lüftungsanlage mit hoher Wärmerückgewinnung können die geforderten Temperaturen eingehalten werden.

Bei den Simulationen des Heizfalls hat sich gezeigt, dass die Komponenten gut aufeinander abgestimmt sind. Eine Bauteilaktivierung kann ohne Passivhaushülle und effizienter Lüftungsanlage nicht funktionieren.

Durch diese Maßnahmen kann das Gebäude effizient betrieben und die Temperaturen im Winter in einem behaglichen Temperaturbereich gehalten werden.

Die berechneten Temperaturen stellen einen Extremfall dar. Dies resultiert auf der Annahme von nur einer anwesenden Person und deaktivierter Beleuchtung und keine solare Strahlung am Auslegungstag. Es kann davon ausgegangen werden, dass die geforderten Temperaturen eingehalten werden.

3.4 Kühlfall

Beim Kühlfall wurde der Worst-Case hinsichtlich Sommerberechnung angenommen. Die Personen sind immer anwesend, die Beleuchtung ist während der Nutzungszeit aktiviert und alle Geräte laufen.

Die angenommenen internen Lasten stellen sich bei Standardgeräten und Standardbeleuchtung sowie bei effizienten Geräten und optimierter Beleuchtung, wie folgt dar:

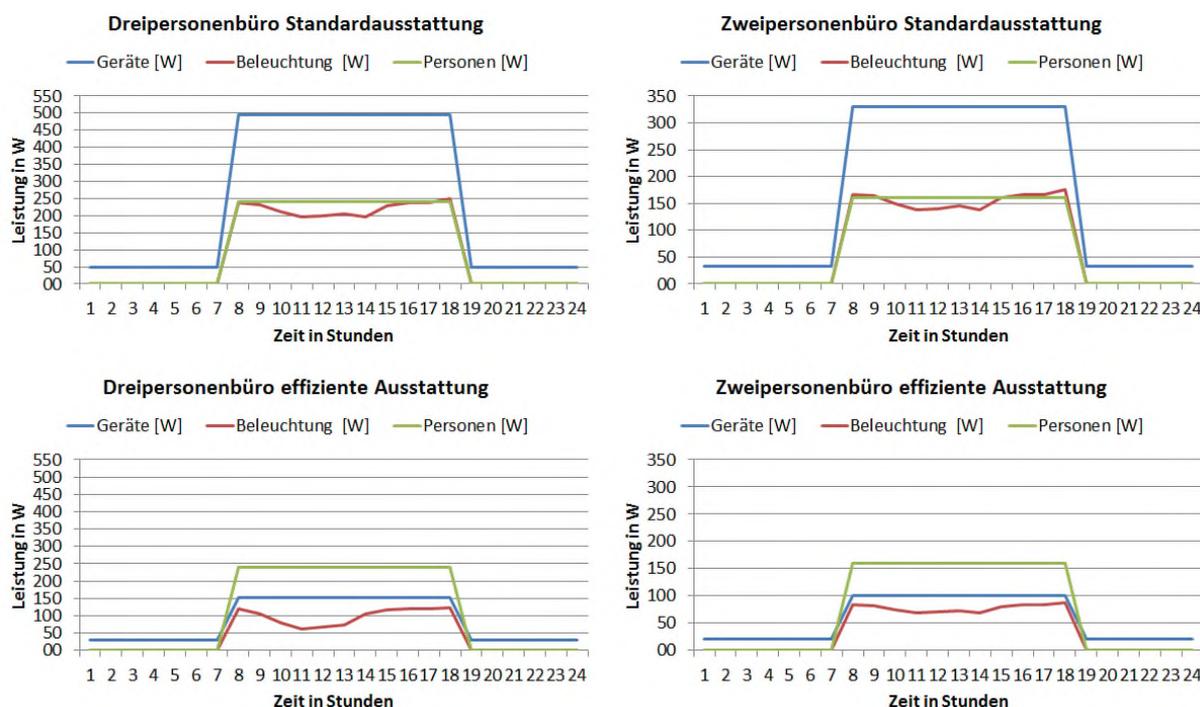


Abbildung 19: Innere Lasten der verschiedenen Büros und Ausstattungen für den Kühlfall

Pro Person wurden 80 W innere Lasten angenommen. Die Standardgeräte belaufen sich auf ca. 165 W/Person und die Standardbeleuchtung auf ca. 81 W/Person. Bei effizienten Geräten wurden 50,6 W/Person und bei der optimierten Beleuchtung ca. 42 W/Person angenommen. Dies entspricht einer spezifischen Leistung von 4,7 W/m² bei der optimierten Beleuchtung und 9,5 W/m² bei der Standardbeleuchtung. Die inneren Lasten der Standardgeräte kommen spezifisch auf 20,65 W/m² und die effizienten auf 6,35 W/m². Die Personen machen spezifisch rund 10 W/m² aus.

Die 50,6 W/Person ergeben sich bei den effizienten Geräten aus:

- Computer
 - Normalbetrieb (Büronutzung) 25,5 W
 - Soft-Off 0,7 W (auf 0,25 W optimierbar)
- Philips 235PL2ES 23“
 - Normalbetrieb (Büronutzung) 17,1 W

- Soft-Off und SLEEP 0,1 W
- Telefon Cisco (derzeitiger TU Standard)
 - Normalbetrieb 7,5 W
 - Sleep-Modus 7,5 W (geplant für 2014: Abschaltung in der Nacht auf 1 W)
- Bewegungsmelder, Lichtsensoren usw. 0,05 W/Stück

Beispiele Zwei- und Dreipersonenbüro

Anhand von 2 der insgesamt 16 simulierten Fälle wird gezeigt, wie sich die verschiedenen Maßnahmen auf die Temperaturen in den Büros auswirken. Beginnend mit dem Referenzgebäude nach Bauordnung werden alle Fälle bis zum geplanten Plus-Energie-Bürogebäude durchgespielt. Die Eingaben werden tabellenartig dargestellt und bei jedem neuen Fall wird die Veränderung gegenüber dem Referenzfall grün gefärbt.

Die Ergebnisdiagramme sind immer gleich aufgebaut. Links oben ist der Temperaturverlauf der operativen Raumtemperatur, die Zulufttemperatur und der Außentemperatur am Auslegungstag und rechts daneben dasselbe für eine Hitzeperiode abgebildet. Links darunter sind solare und innere Gewinne sowie die Kühllast für den Auslegungstag dargestellt. Rechts unten werden die solaren und inneren Gewinne für den letzten Tag der Hitzeperiode angezeigt.

Fall 1 Referenzgebäude – Zweipersonenbüro

Tabelle 4: Eingangswerte Fall 1

2 Personenbüro Südwest Fall 1 - Standardsanierung		
Kernlüftung	Nein	
Lüftungsanlage	Nein	
Innere Lasten	Standardgeräte	
Beleuchtung	Standard	Ca. 10 W/m ² installiert
Kühlung	Nein	
Orientierung	Südwest	
Fensterstellung nachts	Geschlossen	
Sonnenschutz	Außen	F _C = 0,13
Fenster	U = 1,10 W/m ² .K	g = 0,6
Außenwand	U = 0,35 W/m ² .K	
Gebäudehülle Luftdichtheit	n ₅₀ = 1,5	

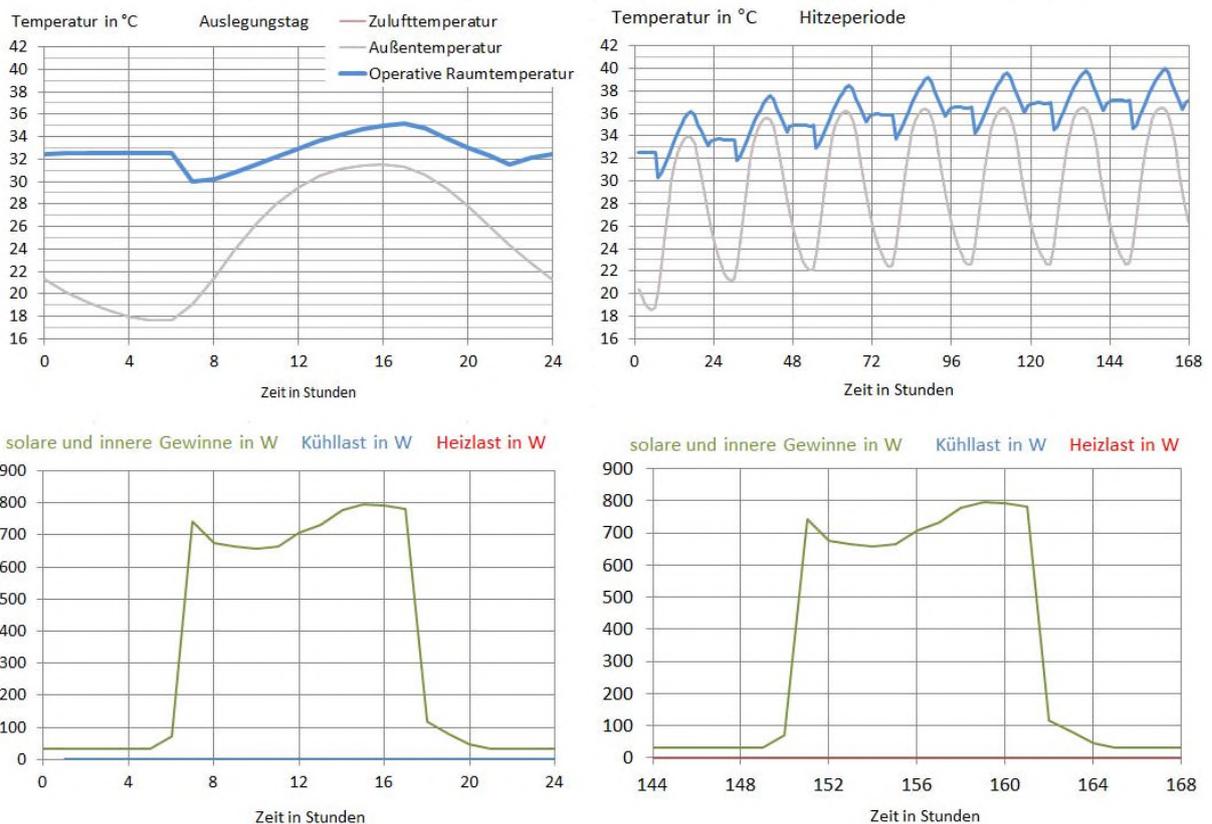


Abbildung 20: Verlauf der Temperatur, der solaren und inneren Gewinne für den Fall 1

Maximaltemperatur am Auslegungstag: 35,2 °C

Minimaltemperatur am Auslegungstag: 30,0 °C

Fall 8 Geplante Variante Plus-Energie-Büro ohne Fensterlüftung morgens – Zweipersonenbüro

Tabelle 5: Eingangswerte Fall 8

2 Personenbüro Südwest Fall 8 - Geplante Variante Plus Energie Büro ohne Fensterlüftung morgens		
Kernlüftung	Ja	2 K Unterschied
Lüftungsanlage	Ja	WRG 0,902
Innere Lasten	Effiziente Geräte	
Beleuchtung	Optimiert	Ca. 5 W/m ² installiert
Kühlung	Bauteilaktivierung	Maximal 35 W/m ²
Orientierung	Südwest	
Fensterstellung nachts	Geschlossen	
Sonnenschutz	Außen	F _C = 0,13
Fenster	U = 0,85 W/m ² .K	g = 0,57
Außenwand	U = 0,11 W/m ² .K (1)	
Gebäudehülle Luftdichtheit	n ₅₀ = 0,3	
(1) U-Wert ausgeführt: 0,088 W/m ² .K		

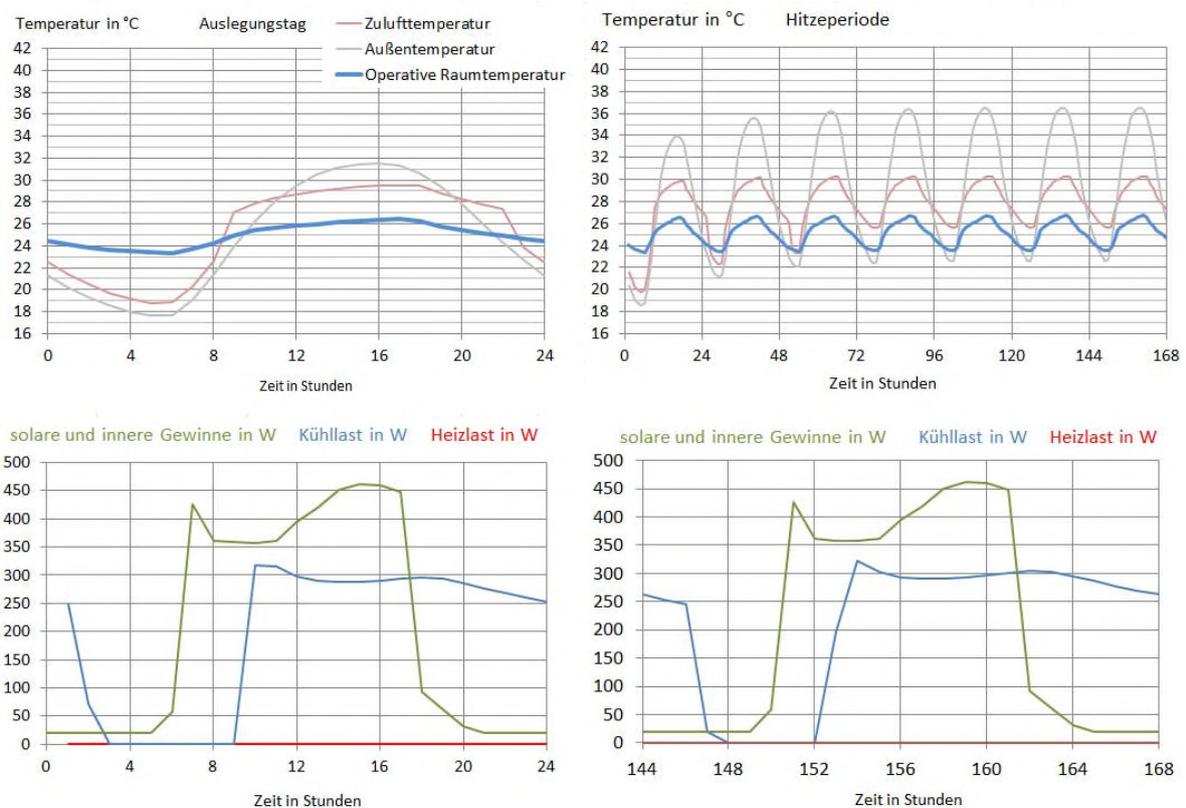


Abbildung 21: Verlauf der Temperatur, der solaren und inneren Gewinne für den Fall 8

Maximaltemperatur am Auslegungstag: 26,5 °C

Minimaltemperatur am Auslegungstag: 23,4 °C

Resümee Kühlfall

Im Kühlfall ergeben sich für die verschiedenen Varianten folgende maximale Temperaturen:

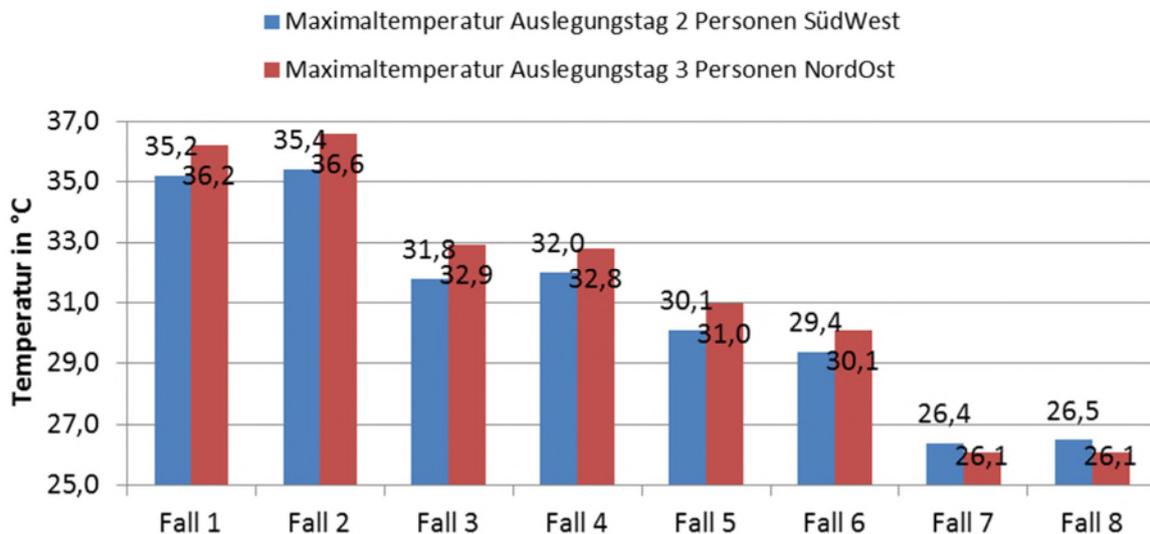


Abbildung 22: Vergleich der Maximaltemperatur am Auslegungstag der verschiedenen Fälle und variablen Büros

In Abbildung 22 erreichen beide Büros im Fall 1, egal ob 2 oder 3 Personen, die zweithöchste Temperatur. Das Temperaturniveau überschreitet die bedungenen 26 °C deutlich.

Marginal höher, um 0,2 bzw. 0,4 °C, liegen die Temperaturen bei der Passivhaussanierung (Fall 2). Dies liegt an der höheren Luftdichtheit beim Passivhaus.

Die Kernlüftung in der Nacht (Fall 3) bringt ca. 4 K Temperaturreduzierung.

Die Installation der Lüftungsanlage mit hoher Wärmerückgewinnung (Fall 4) führt in diesem Szenario zu einem geringfügigen Anstieg der operativen Temperatur, weil die Innenlufttemperatur noch zu hoch ist und die Wärmerückgewinnung und der Wärmeeintrag der Ventilatoren damit die Situation noch nicht verbessern. Im Fall 7 (mit Bauteilaktivierung) führt die effiziente Lüftungsanlage mit hoher Wärmerückgewinnung zu einer deutlichen Senkung der Einblastemperatur gegenüber der Außentemperatur.

Werden die inneren Lasten durch die Verwendung effizienter Geräte (Fall 5) und durch Optimierung der Beleuchtung (Fall 6) reduziert, werden die 26 °C nicht erreicht. Das Ergebnis liegt bei ca. 30 °C.

Der Fall 7 stellt die Verwendung einer Bauteilkühlung des Fußbodens dar. Durch diese gebäudetechnische Maßnahme werden die geforderten 26 °C nahezu erreicht. Aufgrund der Orientierung der Räume ergibt sich in dem simulierten Szenario eine etwas niedrigere Temperatur im Nord-Ost orientierten Dreipersonenbüro.

Fall 8 ist analog zu Fall 7, wobei die morgendliche Fensteröffnung entfällt. Die Temperaturen verhalten sich annähernd gleich.

Die Zielvorstellung der TU Wien und der BIG lautet: „Im Sommer darf die Innentemperatur von Aufenthaltsräumen, bei einer Außentemperatur von 33 °C, 26 °C nicht überschreiten. Bei höherer Außentemperatur soll die Differenz zur Innentemperatur 7 Kelvin betragen.“ (Quelle: Standards & Qualitäten, Raum- und Ausstattungsbeschreibung, TU Wien)

Der Auslegungstag in den Berechnungen weist eine maximale Außentemperatur von 32 °C auf, d. h. die 26 °C sind der Grenzwert am Auslegungstag.

Fall 1 (Standardsanierung) bestätigt die Wichtigkeit einer optimalen Planung hinsichtlich Sommerverhalten von Räumen. In diesem Fall werden an einem heißen Tag über 35 °C erreicht. Außerdem wurde hier ein außen liegender Sonnenschutz verwendet. Bei innenliegender Verschattung wären die Temperaturen höher.

Nur mit passiven Maßnahmen, wie Kernlüftung, effiziente Geräte usw. werden in diesem Gebäude zwischen 29,4 °C und 30,1 °C erreicht. Diese Werte liegen noch immer über 26 °C.

Erst mit Installation einer Fußbodenkühlung können die geforderte Temperatur von 26 °C nahezu eingehalten werden.

Durch die passiven und aktiven Maßnahmen kann das Gebäude effizient betrieben und die Temperaturen im Sommer in einem behaglichen Temperaturbereich gehalten werden.

Die hier berechneten Temperaturen stellen einen Extremfall dar. Dies resultiert auf der Annahme von ständig anwesenden Personen plus immer aktivierter Beleuchtung. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei richtiger Nutzung, d. h. Verwendung des Sonnenschutzes und effizienter Geräte, die geforderten Temperaturen eingehalten werden.

4 Ausgeführtes Gebäude

4.1 Gebäudehülle

Die Gebäudehülle wird in Passivhausqualität ausgeführt. Die Ausführung als Passivhaus ist die Grundlage für die Erreichung des Plus-Energie-Standards.

Übersicht der bauphysikalischen Werte:

- Außenwand
 - Parapet-Element mit Fotovoltaikmodul: U-Wert = 0,088 W/m²K
 - Paneelbereich: U-Wert = 0,096 W/m²K
 - Blechfassade: U-Wert = 0,097 W/m²K
- Flachdach: U-Wert = 0,065 W/m²K
- Glasflächen
 - Drehfenster öffnenbar: U_g-Wert = 0,53 W/m²K, Argonfüllung, 3fach Isolierverglasung, Gesamtenergiedurchlassgrad inkl. Prallscheibe g_{tot}: ca. 0,39 (exkl. Prallscheibe g = 0,46)
 - Fixverglasung U_g-Wert = 0,53 W/m²K, Argonfüllung, 3fach Isolierverglasung Gesamtenergiedurchlassgrad inkl. Prallscheibe g_{tot}: 0,39 (exkl. Prallscheibe g = 0,46)
 - Fensterelement mit Drehfenster öffnenbar, Fixverglasung und opaken Paneel: U_w = 0,57 W/m²K
- Luftdichtheit Vorgabe: n₅₀ ≤ 0,09 1/h, q₅₀ ≤ 0,6 m³/(h.m²)¹
- Sonnenschutz: F_c bei geschlossenen Lamellen 0,08

Die Fensterbandelemente sind selbst tragende, isolierte, pulverbeschichtete Glas-Aluminiumkonstruktionen, mit fixen und öffnenbaren Verglasungen und Paneelfeldern. Die Sattelkonstruktionen und Sturz-Unterkonstruktionen zur Montage der Fensterbänder sind thermisch getrennt.

Für die ausgeführte Glasvariante wurden im Vorfeld die Werte g_{tot}, F_c und τ_v bei unterschiedlichen Lamellenstellungen des Sonnenschutzes berechnet. Die Berechnungen nach EN 410 (g-Wert) [DIN11] und DIN EN 13363 Teil 2 (g_{tot} und τ_v) [DIN05] wurden mit dem Programm WinSLT, Sommer Informatik Rosenheim durchgeführt.

¹ q₅₀-Messung (A-Wert-Messung) vom 6.6.2013, Ergebnisse für q₅₀ lagen zwischen 0,286 m³/(h.m²) und 0,363 m³/(h.m²) inkl. Messungenauigkeit, siehe Kapitel 11.3

Durch die vorgehängte Fassadekonstruktion gibt es eine große Anzahl (insgesamt ca. 720 Stück) an punktförmigen Durchdringungen der Dämmebene, welche Wärmebrücken darstellen und mit Purenit entkoppelt wurden.



Abbildung 24: Anschlussdetail Fassade mit thermischer Entkopplung (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

Die Wärmebrückenberechnung ergab einen punktuellen Wärmebrückenzuschlag von $0,1 \text{ W/K}$ pro Wärmebrücke. Ohne Wärmebrückenentkopplung, wie üblicherweise ausgeführt, würde sich der U-Wert der gesamten Fassade um ca. 60 bis 100 % verschlechtern. Dies bedeutet bei diesem Gebäude eine Verdoppelung des Heizwärmebedarfs. In der Ausführungsphase hat sich herausgestellt, dass es sehr wichtig ist, alle Wärmebrücken auch während der Montage zu kontrollieren.

Bei den Luftdichtheitsmessungen der Fassade haben sich die Anschlussstellen zwischen den einzelnen Elementen als fehleranfällige Stelle bei der Verarbeitung herausgestellt. Eine geschoßhohe Elementfassade hätte hier den Vorteil, dass die Fertigung der luftdichten Ebene über die ganze Geschoßhöhe bereits in der Fertigung erfolgen kann und somit auf der Baustelle eine linienförmige Anschlussstelle weniger ist.

Ein weiterer Detailpunkt stellen die Innenwände auf der Abfangdecke über Außenluft dar. Diese stellen eine linienförmige Wärmebrücke und wurden von Schöberl & Pöll GmbH mit dem Programm „THERM“ berechnet. Für das in der folgenden Abbildung dargestellte Detail ergab die Wärmebrückenberechnung ein Leitwertzuschlag von $0,485 \text{ W/mK}$.

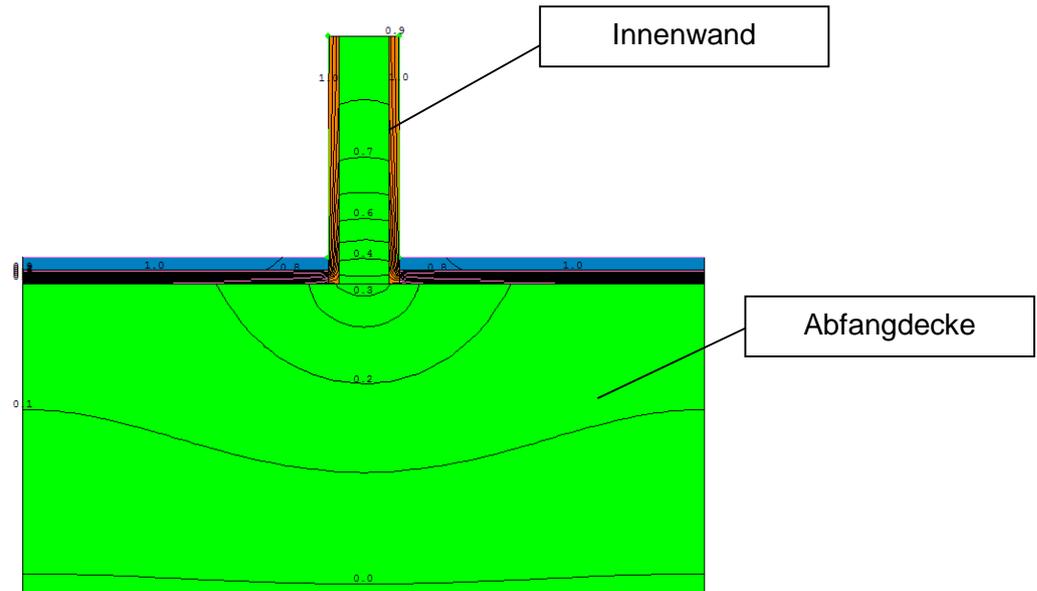


Abbildung 25: Verlauf der Temperatur-Isothermen im Anschlussdetail Zwischenwand auf Abfangdecke, darunter Außenluft (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

Bei der Durchfahrt unter dem Gebäude handelt es sich um eine Feuerwehrdurchfahrt. Die Durchfahrtshöhe darf nicht weiter vermindert werden. Aus diesem Grund ist an dieser Stelle keine Außendämmung möglich und es wird innen eine Vakuumdämmung im Bereich der Durchfahrt verlegt. Raumseitig wird der Aufbau durch eine dampfdichte Abklebung oberhalb der Vakuumpaneele vor dem Eindringen warmer Luft hinter die Dämmung geschützt. Von außen ist mit keinem Feuchteintritt zu rechnen, da es sich um eine witterungsgeschützte horizontale Untersicht (1,4 m Stahlbeton) handelt.

Exkurs: energetisches Einsparpotenzial Vakuumdämmung

Für die Dämmung der untersten Geschoßdecke (über EG, Feuerwehrdurchfahrt) wurden zwei Varianten für die Vakuumdämmung, innen verlegt, untersucht. Eine Außendämmung war nicht möglich, da die lichte Durchfahrthöhe dadurch zu sehr vermindert worden wäre.

Für das Plus-Energie-Bürogebäude wurden folgende Ausführungsvarianten untersucht:

- Variante 1: Dämmung mit 2,5 cm Vakuumdämmung
- Variante 2: Dämmung mit 5 cm Vakuumdämmung

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Heizenergiebedarf bezogen auf den Bauteil mit Vakuumdämmung:

Tabelle 7: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Vakuumdämmung – Heizenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude

Variante	Heizenergiebedarf	Heizenergiebedarfseinsparung im Vergleich zu Variante 1
	kWh/a	kWh/a
Variante 1 (2,5 cm)	78.645	0
Variante 2 (5 cm)	75.204	3.441

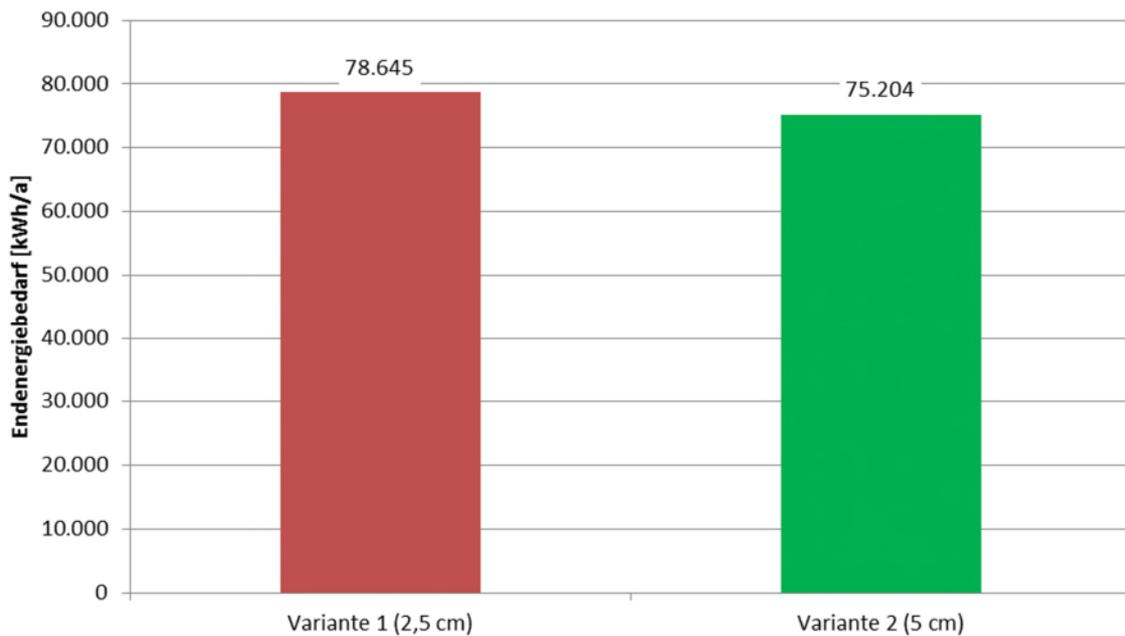


Abbildung 26: Grafische Gegenüberstellung Varianten Vakuumdämmung – Heizenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Primärenergiebedarf bezogen auf den Bauteil mit Vakuumdämmung:

Tabelle 8: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Vakuumdämmung – Primärenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude

Variante	Primärenergiebedarf	Primärenergiebedarfseinsparung im Vergleich zu Variante 1
	kWh/a	kWh/a
Variante 1 (2,5 cm)	41.467	0
Variante 2 (5 cm)	39.653	1.814

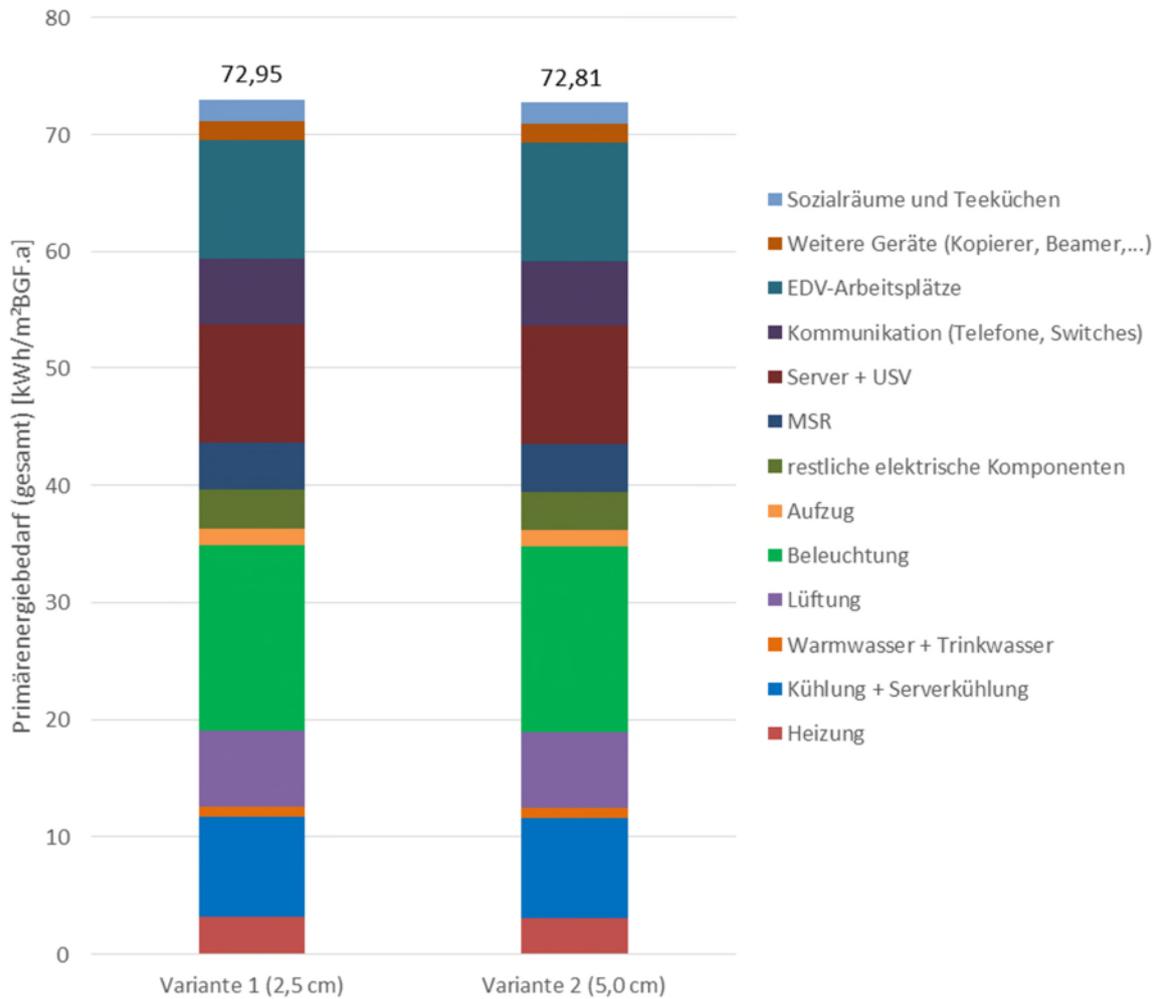


Abbildung 27: Analyse des Einsparpotenzials der Vakuumdämmung am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für das gesamte Gebäude

Im Zuge der Bewertung des Einsparpotenzials wurde ein Gebäudemodell (dynamische Simulation) zur Optimierung, Analyse der Performance und zur Durchführung der Risikobeurteilung erstellt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 3 zusammengefasst.

Exkurs: wirtschaftliches Einsparpotenzial Vakuumdämmung

Die Kosten für die Vakuumdämmung stellen sich wie folgt laut Angebot des Bestbieters dar:

Tabelle 9: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Vakuumdämmung – Kosten bezogen auf den Bauteil

Variante	Gesamtkosten	Mehrkosten im Vergleich zu Variante 1
	Euro (exkl. USt)	Euro (exkl. USt)
Variante 1 (2,5 cm)	129.065,56	0,00
Variante 2 (5 cm)	258.131,12 ¹	129.065,56

¹ Kosten liegen nur für 2,5 cm Vakuumdämmung vor, für 5 cm Kosten für 2,5 cm hochgerechnet

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten wird die Annuitätenmethode angewandt, welche die Gesamtkosten über die Lebensdauer als jährliche Kosten darstellt. Die Randbedingungen dazu sind in Kapitel 2.8.3 dargestellt.

Lebensdauer der Vakuumdämmung gemäß [NDK06], Kategorie „Dämmungen gegen Wärmeverlust, von Wänden und Decken, innenliegend“: 40 Jahre ²

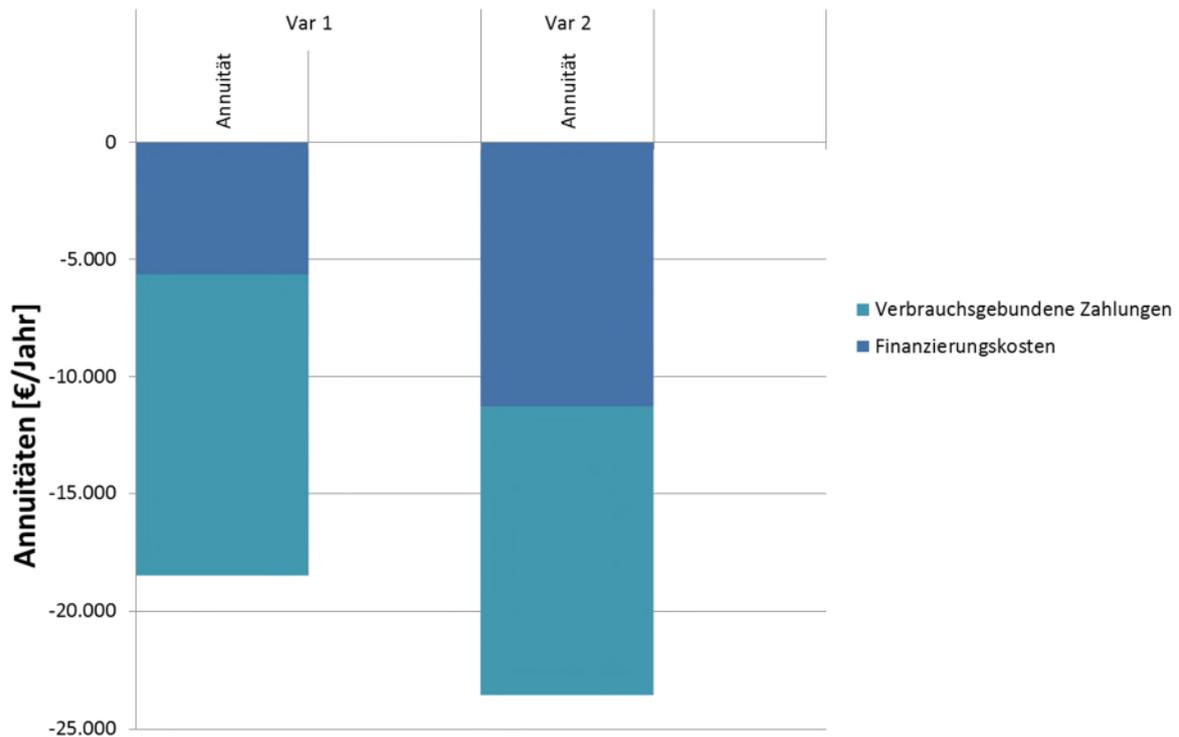


Abbildung 28: Grafische Gegenüberstellung der Vakuumdämmung Variante 1 (2,5 cm) und Variante 2 (5 cm) – Annuitätenvergleich bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude

In der ursprünglichen Planung für die Einreichung waren 5 cm Vakuumdämmung geplant. In der weiteren Planung wurde festgestellt, dass 5 cm aus bautechnischen Gründen nicht möglich sind (Fußbodenniveau, aufwendige Rampen wären notwendig gewesen). Weiters zeigt der Annuitätenvergleich eine höhere Wirtschaftlichkeit für Variante 1. Aus diesen Gründen wurden 2,5 cm Vakuumdämmung ausgeführt.

Exkurs: energetisches Einsparpotenzial Verglasung Fensterelemente

Für die Isolierverglasung, welche in der Fassade bei den Fixverglasungen und den Drehfenstern eingesetzt wird, standen zwei grundsätzliche Varianten zur Auswahl:

² Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde eine Lebensdauer angesetzt. Vakuumdämmungen sind nach Ablauf ihrer Lebensdauer noch dämmfähig, da das Kernmaterial ohne Vakuum eine bessere Dämmwirkung als z.B. Mineralwolle oder EPS aufweist.

Variante 1:

- 8,4 mm Verbundsicherheitsglas außen (2 x 4 mm und Schallschutzfolie)
- 16 mm Scheibenzwischenraum
- 4 mm Einscheibensicherheitsglas
- 16 mm Scheibenzwischenraum
- 6 mm Einscheibensicherheitsglas innen

Variante 2:

- 8,4 mm Verbundsicherheitsglas außen (2 x 4 mm und Schallschutzfolie)
- 18 mm Scheibenzwischenraum
- 4 mm Einscheibensicherheitsglas
- 18 mm Scheibenzwischenraum
- 8 mm Einscheibensicherheitsglas innen

Eine weitere Optimierung für Variante 1 hinsichtlich Schallschutz und Gewicht könnte sein, die innere Scheibe auf 8 mm zu belassen, die äußere jedoch auf 6 mm zu reduzieren. Gleichzeitig werden auch die Scheibenzwischenräume asymmetrisch gestaltet (16 mm und 18 mm). Raumseitig wird ein Sicherheitsglas verwendet, die Scheibe außen ist thermische vorgespannt, wobei kein Heat Soak Test notwendig ist. Die Mittelscheibe muss nicht thermisch beständig ausgeführt werden und ist dadurch billiger. Voraussetzung für den Einsatz der Variante 1 und 2 ist die Einhaltung der Normen, Vorschriften und Gesetze. Dies muss für jedes Projekt überprüft werden.

Tabelle 10: Details zu den Glasvarianten 1 und 2 (Quellen: Ingenieurbüro J. Gerstmann, Petschenig glastec GmbH)

Kennwert	Einheit	Variante 1 (U _g 0,58)	Variante 2 (U _g 0,53)
Wärmedurchgangskoeffizient U _g	W/m ² K	0,58	0,53
Gesamtenergiedurchlassgrad g _{tot} (Werte ohne Prallscheibe)	-	0,47	0,46
Lichttransmissionsgrad τ _v	-	0,69	0,68
Schalldämmmaß und Spektrumanpassungswert R _w (C _{tr})	dB	43 (-7) ¹	45 (-6)
¹ Wert aus Schallgutachten, geprüfter Aufbau im Schallgutachten weicht leicht von Variante 1 ab			

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Endenergiebedarf bezogen auf das Bauteil:

Tabelle 11: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Verglasung – Endenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für die Bürogeschoße

Variante	Endenergiebedarf			Einsparung im Vergleich zu Variante 1		
	Heizung	Kühlung	Beleuchtung	Heizung	Kühlung	Beleuchtung
	kWh/a			kWh/a		
Variante 1 (Ug 0,58)	45.118	17.355	41.361	0	0	0
Variante 2 (Ug 0,53)	42.456	17.495	41.445	2.662	-140	-84

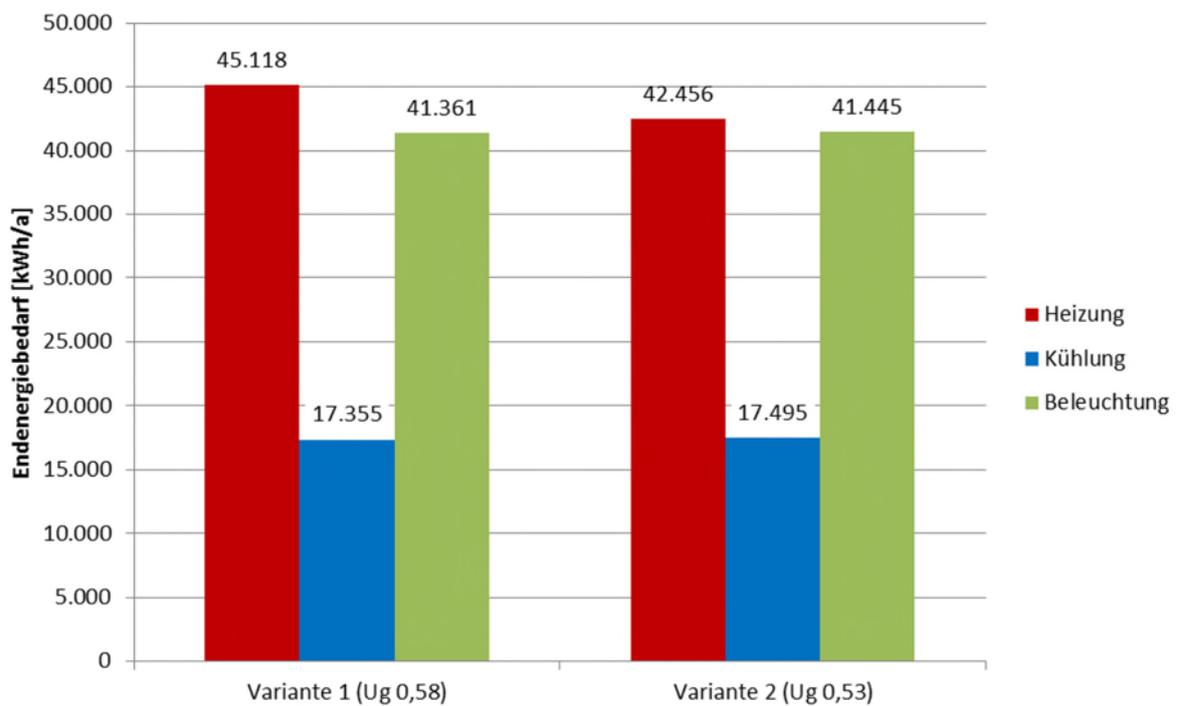


Abbildung 29: Grafische Gegenüberstellung Varianten Verglasung– Endenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für die Bürogeschoße

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Primärenergiebedarf bezogen auf den Bauteil:

Tabelle 12: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Verglasung – Primärenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für die Bürogeschoße

Variante	Primärenergiebedarf			Einsparung im Vergleich zu Variante 1		
	Heizung	Kühlung	Beleuchtung	Heizung	Kühlung	Beleuchtung
	kWh/a			kWh/a		
Variante 1 (Ug 0,58)	23.789	45.470	108.366	0	0	0
Variante 2 (Ug 0,53)	22.386	45.836	108.585	1.403	-366	-219

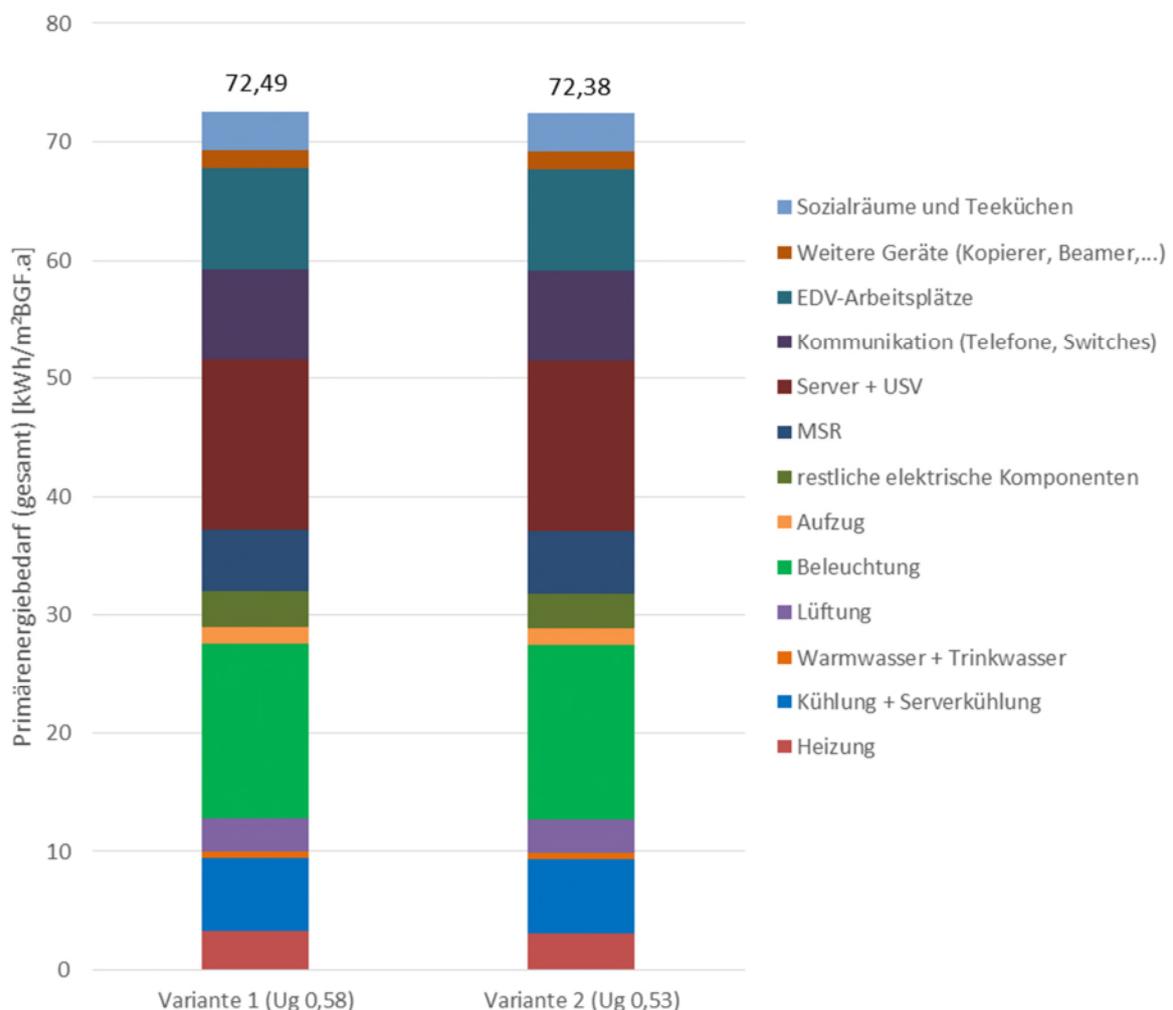


Abbildung 30: Analyse des Einsparpotenzials der Verglasung am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für die Bürogeschoße

Im Zuge der Bewertung des Einsparpotenzials wurde ein Gebäudemodell (dynamische Simulation) zur Optimierung, Analyse der Performance und zur Durchführung der Risikobeurteilung erstellt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 3 zusammengefasst.

Exkurs: wirtschaftliches Einsparpotenzial Verglasung Fensterelemente

Die Kosten für die Verglasung stellen sich wie folgt laut Angebot des Bestbieters dar:

Tabelle 13: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Verglasung – Kosten bezogen auf den Bauteil

Variante	Gesamtkosten	Mehrkosten im Vergleich zu Variante 1
	Euro (exkl. USt)	Euro (exkl. USt)
Variante 1 (Ug 0,58)	243.506	0
Variante 2 (Ug 0,53)	312.760	69.254

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten wird die Annuitätenmethode angewandt, welche die Gesamtkosten über die Lebensdauer als jährliche Kosten darstellt. Die Randbedingungen dazu sind in Kapitel 2.8.3 dargestellt.

Lebensdauer Fensterelemente gemäß [NDK06]: 20 - 40 Jahre, gewählt 40 Jahre

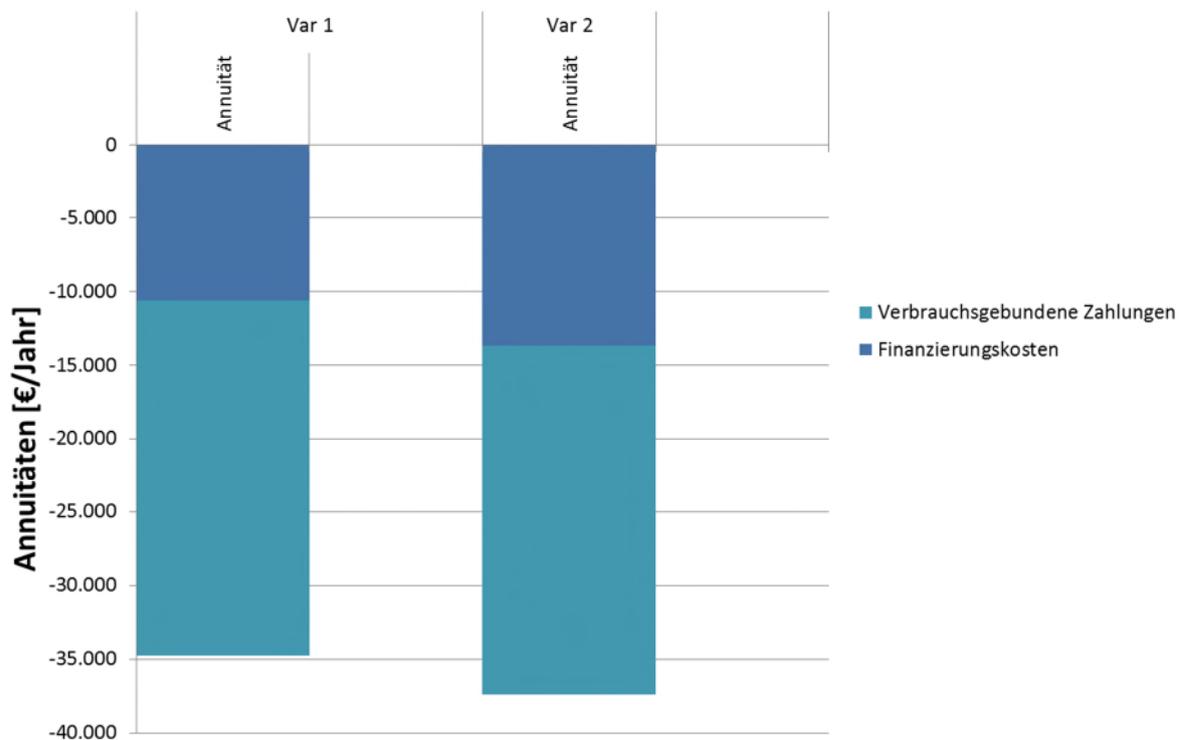


Abbildung 31: Grafische Gegenüberstellung der Verglasung Variante 1 (Ug 0,58) und Variante 2 (Ug 0,53)– Annuitätenvergleich bezogen auf den Bauteil, für die Bürgeschoße

Die Variante 1 ist energetisch schlechter aber wirtschaftlich besser. Aus Gründen der Abweichung zu einer Vorschrift betreffen der Mittelscheibe wurde die energetisch bessere Variante 2 ausgeführt.

4.2 Sommerliche Überwärmung Kernlüftung

Der Schutz vor sommerlicher Überwärmung wird durch eine Vielzahl von passiven Maßnahmen erreicht. Automatische Sonnenschutzvorrichtungen, welche an die Gebäudeleittechnik angeschlossen sind, werden automatisch aktiviert und gewährleisten bei jeder Wetterlage die optimale Einstellung.

Eine Kernentlüftung durchspült den Stiegenhaus- und Gangbereich nachts mit kühler Außenluft. Zum Zweck der Kernentlüftung kann geschosswise an der Ostfassade ein Fenster mit einem freien Querschnitt von rund 1,53 m² mittels Stellmotor automatisch geöffnet werden. Je Geschos bildet dieses Fenster die Zuluftöffnung, während die eingeströmte und im Gebäude erwärmte Luft über zwei vertikale Schächte mit einem Gesamtquerschnitt von rund 2,4 m² wieder abgeführt wird. In diesen Schächten sind Brandschutzklappen angeordnet. Im Brandfall werden die Nachtlüftungsöffnungen an der Ostfassade und die Brandschutzklappen in den Schächten geschlossen, um einen Brandüberschlag und eine Rauchverteilung in die anderen Geschosse zu verhindern.

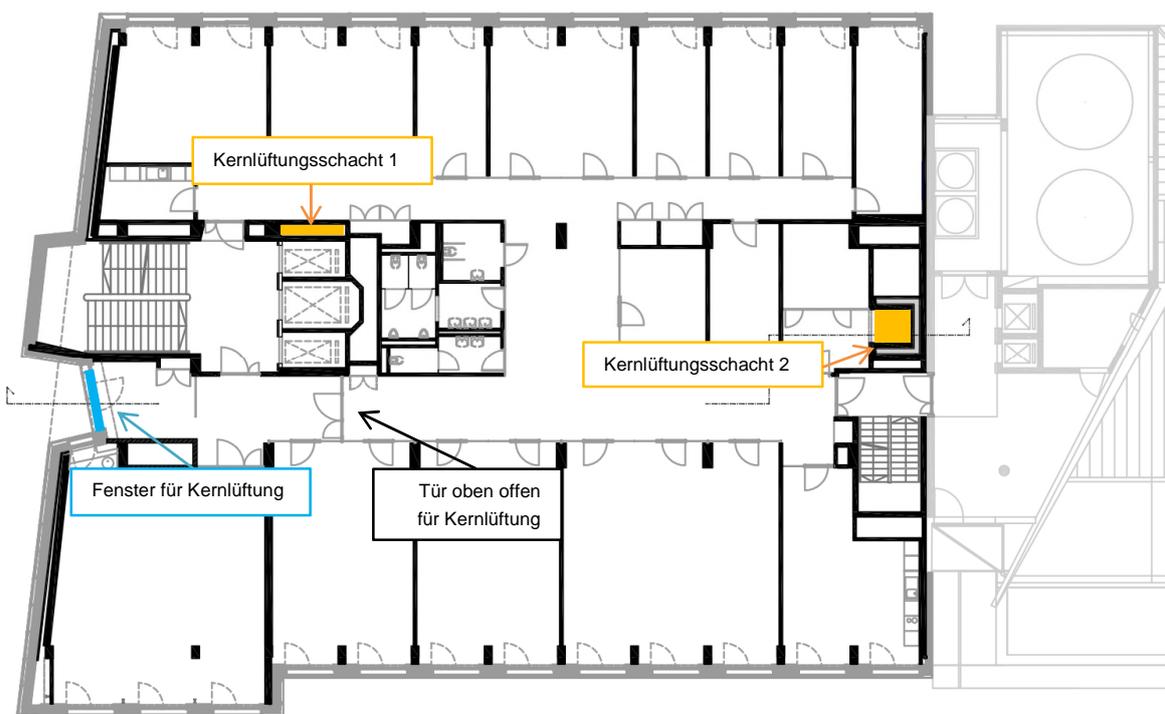


Abbildung 32: Plus-Energie-Bürogebäude - Regelgeschosß mit Kernlüftungsschächten (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer), bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH

Die Kühlung der Büroräume wurde mittels einer thermischer Kopplung durch Glastrennwände mit hohem Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) an die gekühlten Gangbereiche realisiert. Die direkte Nachtlüftung der Büros ist aufgrund des Einbruchschutzes nicht möglich, da die Türen außerhalb der Belegungszeiten geschlossen sein müssen.



Abbildung 33: Glastrennwände (Foto: Schöberl & Pöll GmbH)

Die Regelung und Grundstellung der Fensterflügel, welche geschoßweise den freien Querschnitt für die einströmende Luft im Sommerfall bestimmt, wurden über ein stationäres, numerisches Berechnungsverfahren ermittelt. Die Stellung variiert von unten nach oben zwischen rund 17% und 100% der maximalen Öffnungsfläche, was eine optimale Durchströmung des Gebäudes ermöglicht (siehe auch Messungen zur Kernlüftung in Kapitel 11.1)

Drei Temperaturfühler ermitteln je Stockwerk die mittlere Innentemperatur im Gangbereich. Aus diesen geschoßweisen Innentemperaturen werden in weiterer Folge

- eine mittlere Innentemperatur über alle belüfteten Gangbereiche des Gebäudes,
- eine geschoßweise Abweichung der Innentemperatur von der mittleren Innentemperatur über alle belüfteten Gangbereiche des Gebäudes und
- eine mittlere Abweichung der Innentemperaturen aller Gangbereiche von der mittleren Innentemperatur über alle belüfteten Gangbereiche des Gebäudes

ermittelt. Diese Rechenwerte werden als Parameter für die geschoßweise Regelung der Öffnungsweite der Zuluft-Fenster der Kernentlüftung herangezogen.

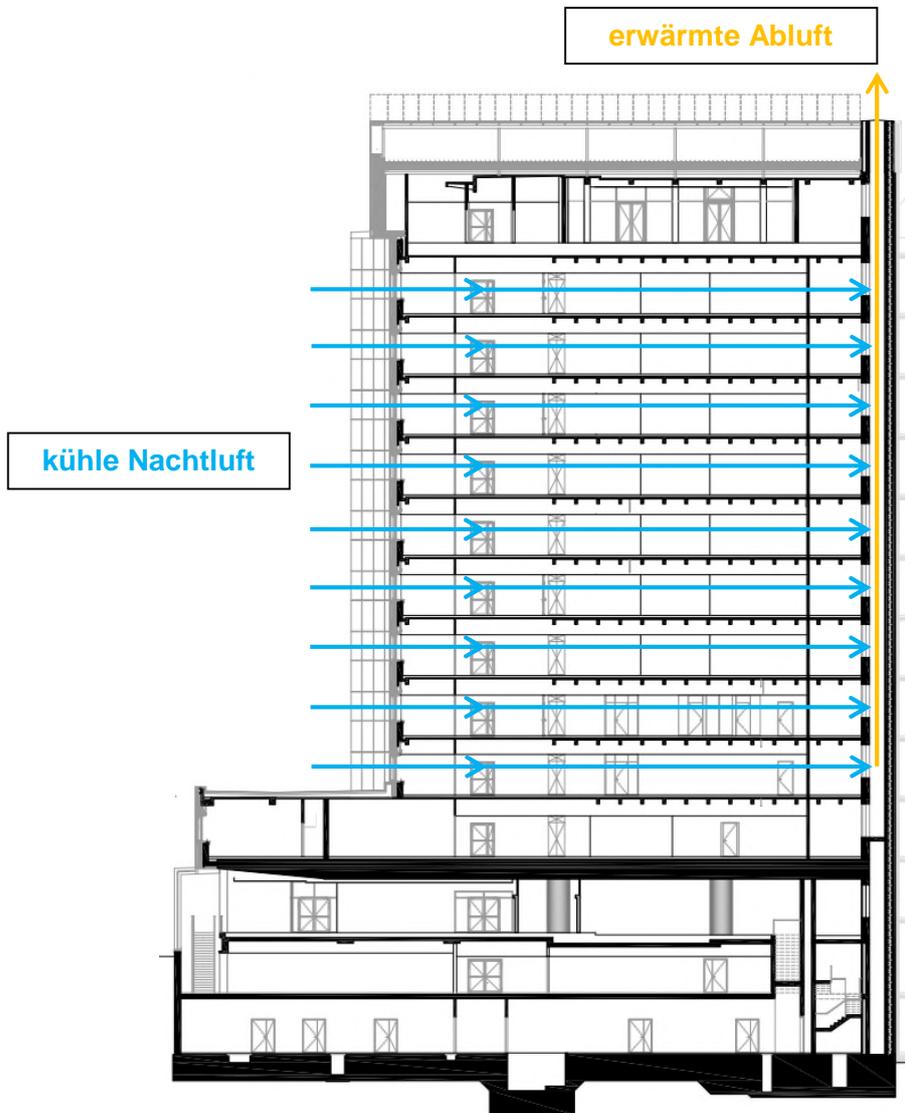


Abbildung 34: Prinzipskizze der geschosswisen Kernentlüftung (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer), bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH

Es gibt zusätzliche Maßnahmen, welche einer sommerlichen Überwärmung entgegen wirken. Im gesamten Gebäude und vor allem in den Büros werden hochenergieeffiziente Geräte eingesetzt, welche durch ihren geringeren Stromverbrauch auch weniger Abwärme produzieren. Die Bauteilaktivierung kann im Sommer zur Kühlung verwendet werden. Die Lüftungsanlage gewährleistet im Sommer den hygienischen Luftwechsel und liefert frische Luft in die Büros. Fenster können also tagsüber, wenn es draußen heiß ist, geschlossen bleiben.

Exkurs: energetisches Einsparpotenzial Kernlüftung

Für das Plus-Energie-Bürogebäude wurden folgende Ausführungsvarianten untersucht:

- Variante 1: keine Kernlüftung der Gänge. Zur Gewährleistung derselben Raumtemperaturen bzw. Behaglichkeit im Sommer wie mit Kernlüftung und, da die Kühlleistung der Bauteilaktivierung begrenzt ist, aufgrund der Kondensationsproblematik, werden in den Büros für den energetischen und wirtschaftlichen Vergleich zusätzliche Fan Coils angesetzt.
- Variante 2: Kernlüftung der Gänge mit motorisiert öffnenbaren Fenstern, keine Fan Coils in den Büros

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme:

Tabelle 14: Tabellarische Gegenüberstellung Kernlüftung – Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Variante	Endenergiebedarf		Einsparung im Vergleich zu Variante 1	
	Kühlung (Strom)	Standbyverbrauch (Strom)	Kühlung (Strom)	Standbyverbrauch (Strom)
	kWh/a		kWh/a	
Variante 1	17.495	0	0	0
Variante 2 (Kernlüftung)	14.001	403	3.494	-403

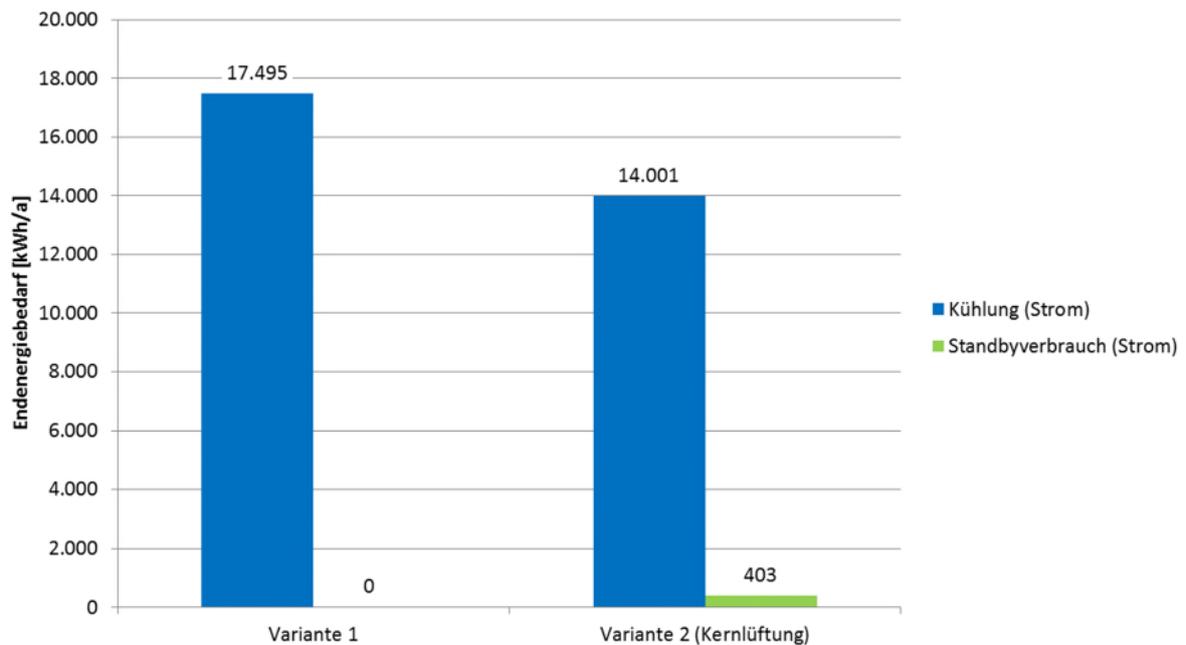


Abbildung 35: Grafische Gegenüberstellung Variante Kernlüftung – Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Primärenergiebedarf auf die Maßnahme:

Tabelle 15: Tabellarische Gegenüberstellung Kernlüftung – Primärenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Variante	Primärenergiebedarf		Einsparung im Vergleich zu Variante 1	
	Kühlung	Standbyverbrauch	Kühlung	Standbyverbrauch
	kWh/a		kWh/a	
Variante 1	45.836	0	0	0
Variante 2 (Kernlüftung)	36.683	1.056	9.153	-1.056

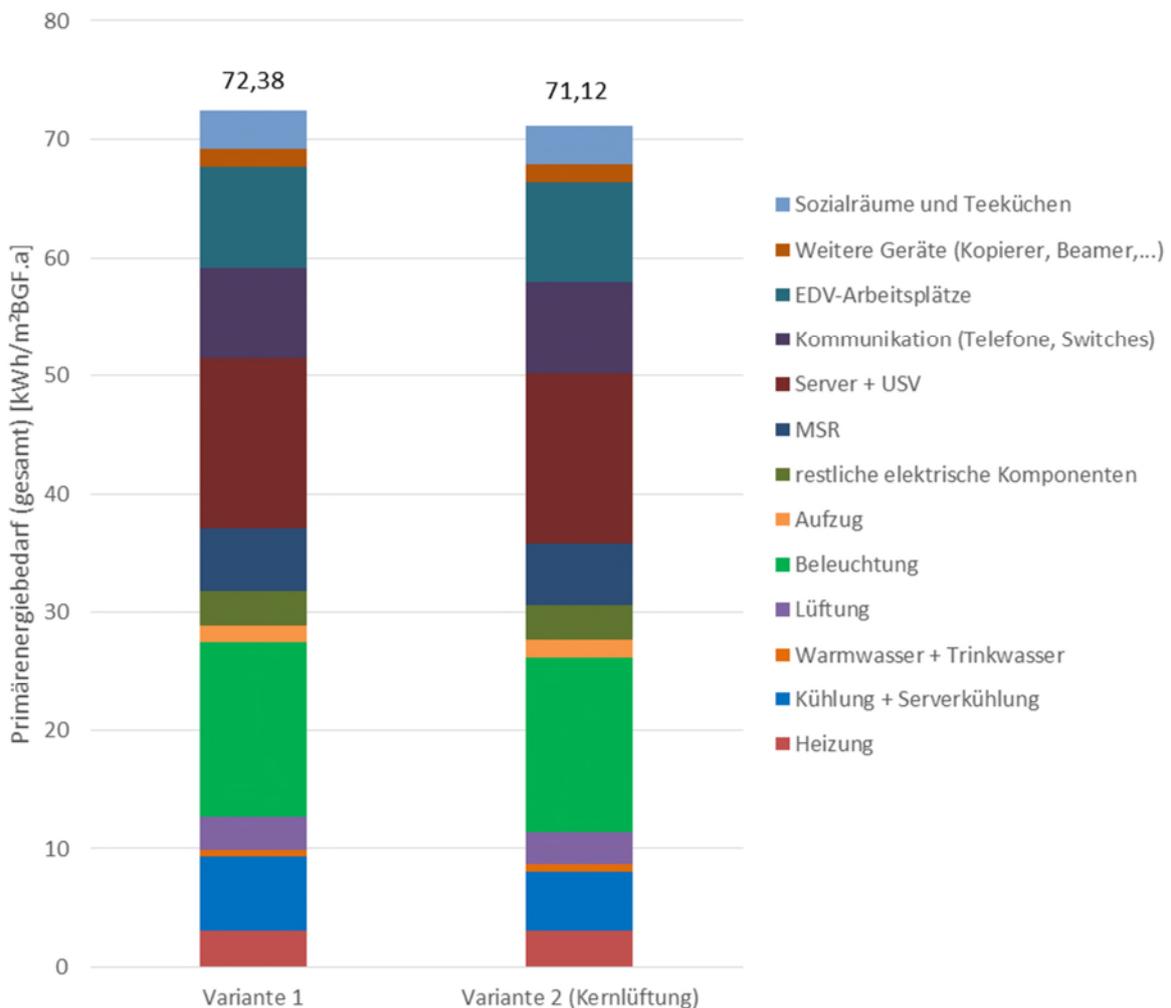


Abbildung 36: Analyse des Einsparpotenzials der Kernlüftung am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für die Bürogeschoße

Im Zuge der Bewertung des Einsparpotenzials wurde ein Gebäudemodell (dynamische Simulation) zur Optimierung, Analyse der Performance und zur Durchführung der Risikobeurteilung erstellt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 3 zusammengefasst.

Exkurs: wirtschaftliches Einsparpotenzial Kernlüftung

Um die Vergleichbarkeit mit einem typischen Bürogebäude zu ermöglichen, werden die projektspezifischen Kosten nicht in der Wirtschaftlichkeitsberechnung miteinbezogen. Die Kosten für die Kernlüftung (Motoren, Steuerung, Brandschutzklappen für Schächte) stellen sich wie folgt laut Angebot des Bestbieters dar:

Tabelle 16: Tabellarische Gegenüberstellung Variante Kernlüftung - Kosten bezogen auf die Maßnahme

Variante	Gesamtkosten	Mehrkosten im Vergleich zur Standardvariante
	Euro (exkl. USt)	Euro (exkl. USt)
Variante 1	89.936	0
Variante 2 (Kernlüftung)	53.973	-35.963

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten wird die Annuitätenmethode angewandt, welche die Gesamtkosten über die Lebensdauer als jährliche Kosten darstellt. Die Randbedingungen dazu sind in Kapitel 2.8.3 dargestellt.

Lebensdauer der Nachtlüftung (Motoren für Fenster) gemäß [NDK06]: 20 Jahre

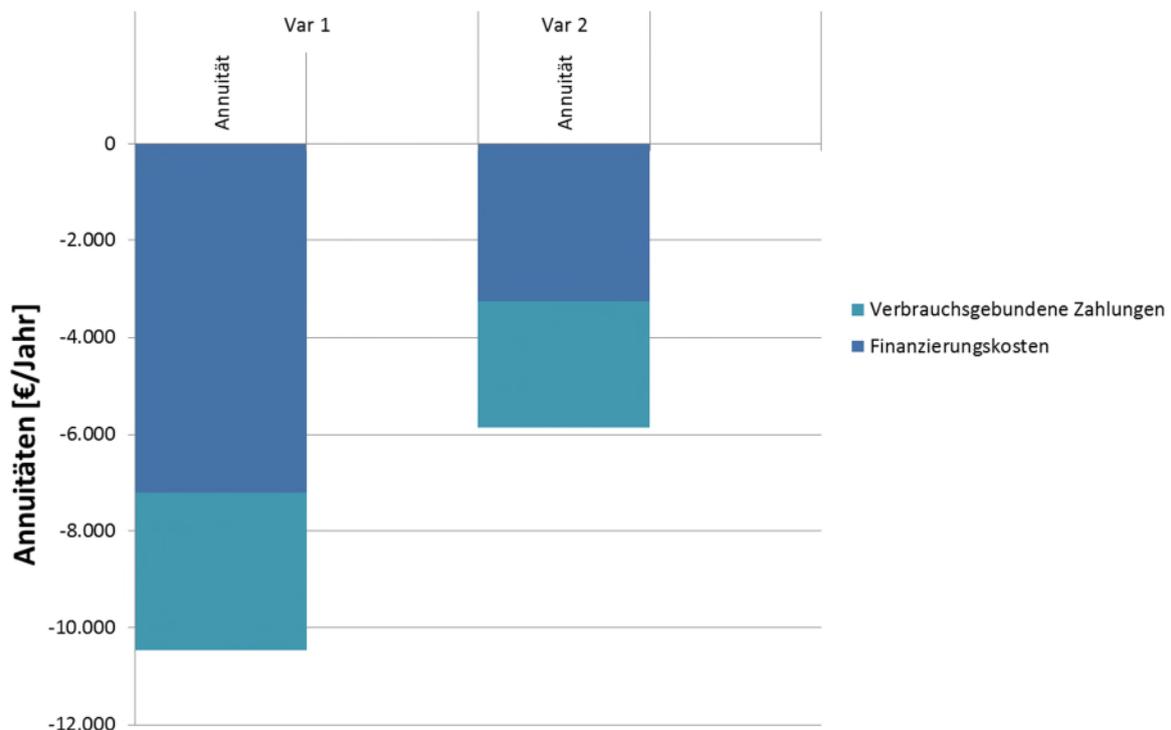


Abbildung 37: Grafische Gegenüberstellung der Kernlüftung Variante 1 (ohne Kernlüftung) und Variante 2 (mit Kernlüftung) – Annuitätenvergleich bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Das wirtschaftliche Einsparpotenzial bei der Gesamtannuität beträgt 4.617 Euro/a.

Aufgrund der dargestellten primärenergetischen und wirtschaftlichen Einsparungen und der Behaglichkeitssteigerung im Sommer (siehe Kapitel 3.4) wurde Variante 2 (Kernlüftung) im Plus-Energie-Bürogebäude ausgeführt.

4.3 Technische Gebäudeausstattung

4.3.1 Heizung / Kühlung

Die Temperierung der Räume im Bürobereich erfolgt über Bauteilaktivierung. Im Neubau wird die Bauteilaktivierung üblicherweise in die Decke eingebaut. Da es sich bei diesem Projekt um eine Sanierung handelt, wird die Bauteilaktivierung im neuen Estrich verlegt und die Räume mit warmem oder kaltem Wasser im Change-Over-Betrieb temperiert. Bei Wassertemperaturen kann es unter 18 bis 19 °C bei höherer Raumluftfeuchtigkeit zu Kondensatbildung an der Bauteiloberfläche kommen. Um dies zu vermeiden, werden diese Temperaturen nicht unterschritten. Die Bauteilaktivierung ist nur für Räume an der Fassade vorgesehen, innenliegende Räume und Erschließungsflächen benötigen diese nicht. Die Wärme und Kälte wird über einen Erschließungsschacht über zwei Druckstufen im gesamten Gebäude verteilt.

Abgehängte Decken sind aufgrund der dadurch entstehenden Reduzierung der speicherfähigen Masse für sommerlichen Wärmeschutz nicht eingeplant. Die eingesetzten Akustik-Deckensegel verfügen seitlich über genügend Platz um eine Aktivierung dieser Speicher-masse zu erzielen. Durch die hochgedämmte Gebäudehülle und dem optimalen Sonnenschutz werden Heiz- und Kühllasten deutlich reduziert und ermöglichen so den Einsatz des gewählten Niedrigtemperatursystems. Im restlichen Gebäude, das heißt außerhalb des Bürobereichs, sind Radiatoren zur Wärmeinbringung vorgesehen.

In Räumen mit hohen Belegungsdichten (Hörsäle, Besprechungsräume, Seminarräume) wird über die Bauteilaktivierung im Fußboden geheizt und über Kühldecken gekühlt. In den Hörsälen außerhalb des Bürobereichs (3.-10. OG) sind auch Kühlregister und Heizregister in der Lüftungsanlage vorgesehen.

Das Gebäude wird über Serverabwärmerückgewinnung und über einen bestehenden Anschluss der Fernwärme Wien mit Wärme versorgt.

Für die notwendige Kälteenergie des Audimax, des Serverraums und des Bürogebäudes wurde eine hocheffiziente Kältemaschine mit drehzahlgeregeltem Radialturboverdichter und ölfreier Magnetlagerung der Antriebswelle ausgeführt. Das Gerät zeichnet sich durch die gute Leistung im Teillastbereich und den niedrigen Anlaufstrom aus:

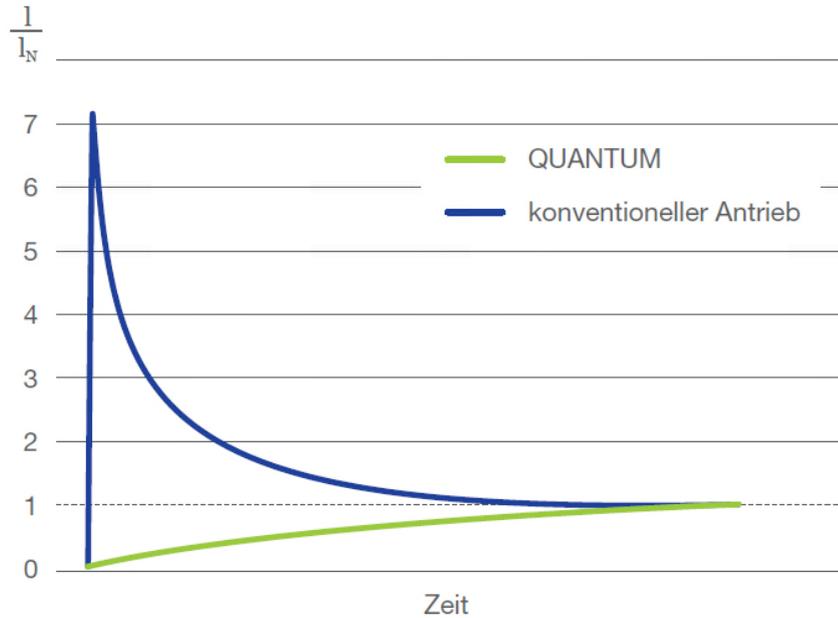


Abbildung 38: Anlaufstromverhalten im Vergleich von konventionellen Antrieben und der eingesetzten Kältemaschine (QUANTUM) am Getreidemarkt. Es treten keine Anlaufstromspitzen bei Initialisierung auf. [COF14]

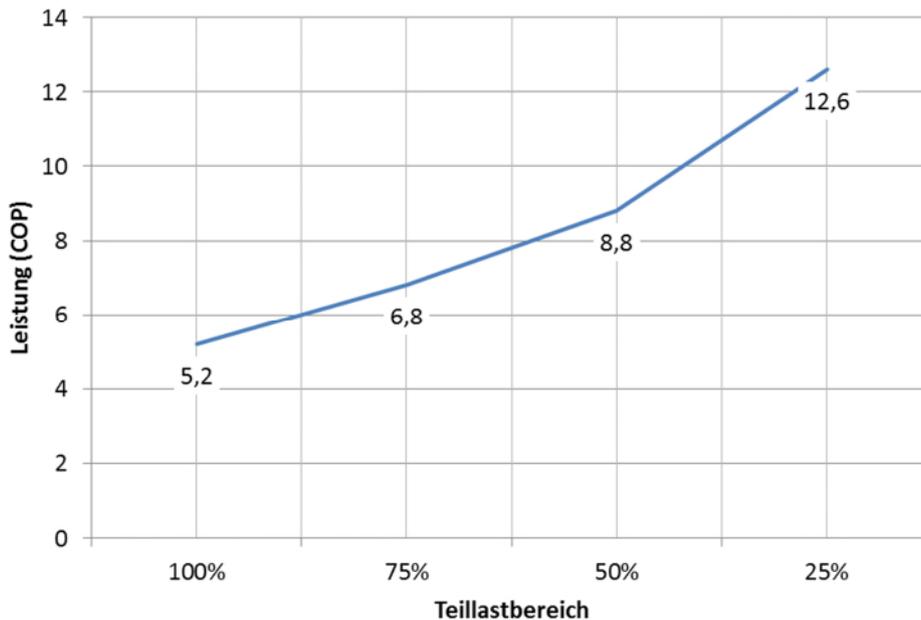


Abbildung 39: Leistungsdaten (COP= Coefficient of Performance, bezeichnet das Verhältnis von Kälteleistung (kW) zu aufgenommener (elektrischer) Antriebsleistung unter Prüfbedingungen) laut Herstellerdatenblatt im Teillastbereich für QUANTUM X060, Leistungsdaten bei 12/7 °C und 30/35 °C gemäß ARI550/590, Circa-Angaben, luftgekühlt bei 35 °C Außentemperatur gemäß ARI550/590 (Quelle: [COF14], Darstellung Schöberl & Pöll GmbH)

Der Großteil der Kälteleistung aus dieser Anlage wird im Audimax, welcher ein extra Bauteil und nicht Teil des Plus-Energie-Bürogebäudes ist, verwendet. Das Bürogebäude weist aufgrund der optimierten Verschattung gekoppelt mit der automatisierten Nachtlüftung und den energieeffizienten Bürogeräten nur einen sehr geringen Kühlenergiebedarf auf.

Die gesamte Wärme- und Kälteverteilung wird zentral über die MSR-Technik gesteuert und geregelt.

Ein wichtiger Teil beim Stromverbrauch der Kälteanlage sind die Pumpen. Durchgehend wurden hier die besten Pumpen ($EI^3 < 0,23$; $MEI^4 > 0,7$) eingebaut. Für zwei Pumpengruppen (in Summe 5 Stück) gab es jedoch zum Zeitpunkt des Einbaus (Herbst 2013) keine Zulassung für das beste Produkt und die ausführende Firma hat, um den Terminplan nicht zu gefährden, für diese zwei Pumpengruppen Standardpumpen verbaut. Im Dezember 2013 wurde die Zulassung für die besseren Pumpen erteilt und es erfolgte folgende Gegenüberstellung:

Tabelle 17: Gegenüberstellung Pumpen – Stromverbrauch und Kosten für jeweils 5 Stück

Pumpenvariante	Stromverbrauch	Mehrkosten bei nachträglichem Austausch ¹	Mehrkosten bei Neuanschaffung von hocheffizienten Pumpen ²
	kWh/a	Euro (exkl. USt)	Euro (exkl. USt)
Standardpumpen	19.711	0	0
hocheffiziente Pumpen	16.468	20.002	4.676

¹ inkl. Montage der neuen hocheffizienten Pumpen, Standardpumpen werden mit einem 60 % Abschlag zurückgenommen

² Unterschied der Neuanschaffungskosten von Standardpumpen zu hocheffizienten Pumpen

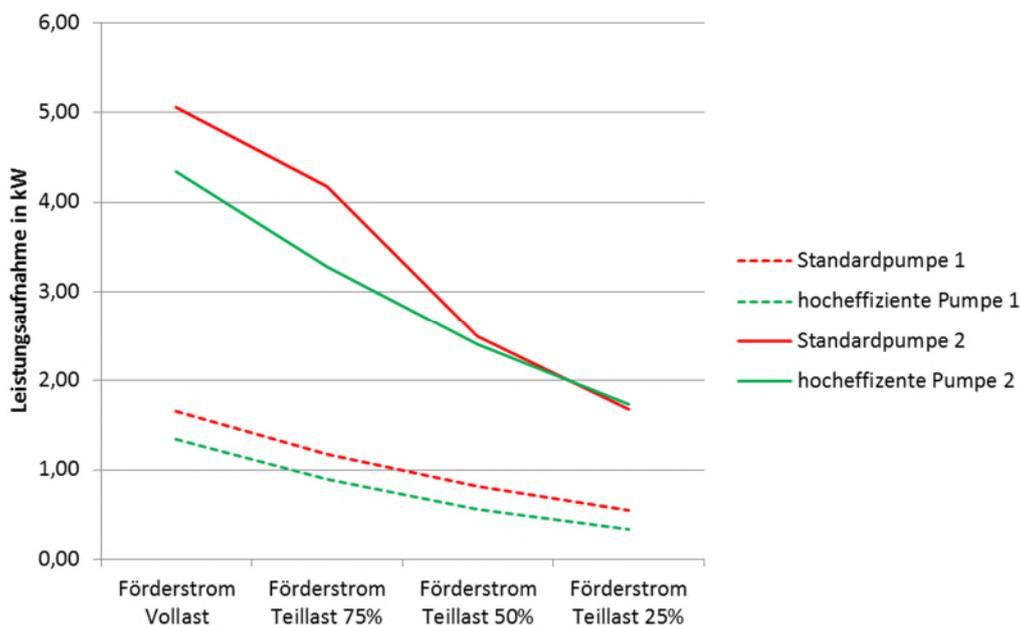


Abbildung 40: Gegenüberstellung der Pumpen, Leistungsaufnahme bei unterschiedlichen Förderströmen

Die Stromeinsparung wäre 3.243 kWh/a gewesen. Der Austausch der Pumpen wurde aufgrund der hohen Kosten durch den nachträglichen Austausch nicht beauftragt.

³ EEI: Energieeffizienzindex

⁴ MEI: Mindesteffizienzindex

Die Dämmung der kälteführenden Verteilungen wurde im Vorfeld zur Ausschreibung mit dem PlanerInnenteam diskutiert und optimiert. Als Entscheidungsgrundlage wurde von der TU Wien (Forschungsbereich Bauphysik und Schallschutz) eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer konventionellen Kälte­dämmung (13 bis 19 mm Dämmdicke mit Elastomer) und einer 3/3 Dämmung („Plus“-Variante: 13 bis 19 mm Elastomer und darüber Mineralwollmatten mit Umhüllung aus armierter Aluminiumfolie) durchgeführt.

Beispielhafte Dämmung der Kälteleitungen in der „Plus“-Variante:

- Kälteleitungen DN 40 – Dämmung 13 mm Elastomer und 30 mm Mineralwolle
- Kälteleitungen DN 100 – Dämmung 19 mm Elastomer und 80 mm Mineralwolle

In der folgenden Gegenüberstellung sind die Investitionskosten der Varianten plus dem Barwert der Stromkosten gegenübergestellt. Die Stromkosten wurden durch den zusätzlichen Wärmeeintrag in die Leitungen vereinfacht mittels Effizienz der Kältemaschine, Leitungslängen, Betriebszeiten usw. berechnet.

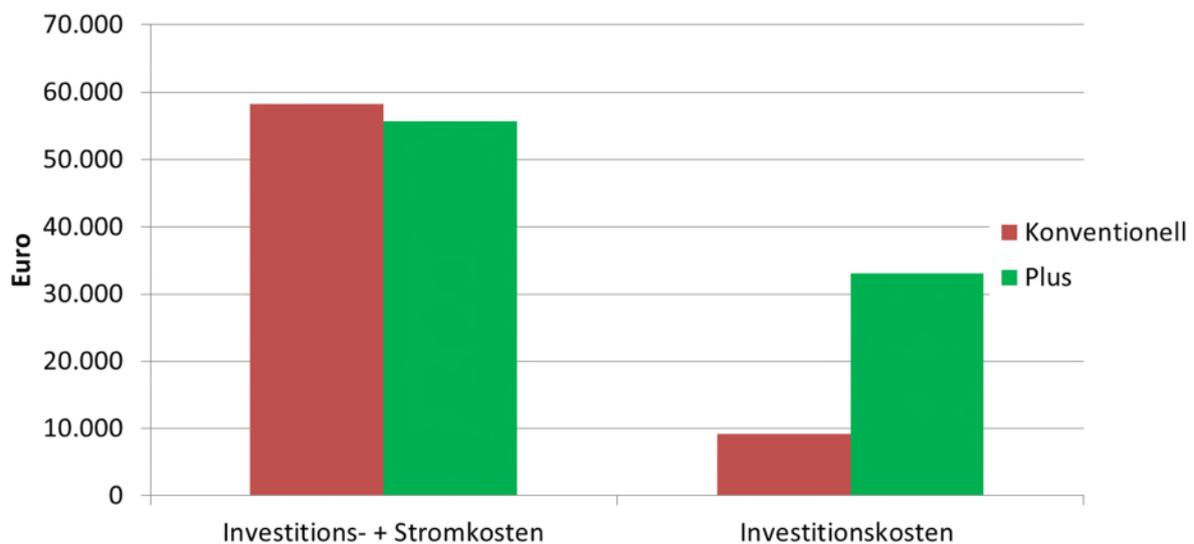


Abbildung 41: Gegenüberstellung Investitions- und Stromkosten für die konventionelle Kälte­dämmung und die ausgeführte Kälte­dämmung im Plus-Energie-Bürogebäude, Betrachtungszeitraum 20 Jahre

Obwohl die Investitionskosten bei der „Plus“-Lösung höher sind, ist aus der Grafik ersichtlich, dass nach einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren die verbesserte Kälte­dämmung günstiger ist (Investitionskosten+Stromkosten). Aufgrund der dargestellten energetischen und wirtschaftlichen Betrachtungen wurde die verbesserte Kälte­dämmung „Plus“ im Gebäude ausgeführt.

Exkurs: energetisches Einsparpotenzial Kältemaschine

Die Kältemaschine versorgt das Plus-Energie-Bürogebäude und den Serverraum. Zusätzlich wird auch das Audimax versorgt, welches nicht Teil dieser Betrachtungen ist.

Für das Plus-Energie-Bürogebäude wurden folgende Ausführungsvarianten untersucht:

- Variante 1: Kältemaschine (Schraubenverdichter, SEER = 4,26)⁵
- Variante 2: hocheffiziente Kältemaschine (Magnetgelagerter Turboverdichter, SEER = 9,22)⁶

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Endenergiebedarf bezogen auf die Kältemaschine:

Tabelle 18: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Kältemaschine – Endenergiebedarf bezogen auf die Kältemaschine, betrachtet für das gesamte Gebäude

Variante	Endenergiebedarf	Einsparung im Vergleich zu Variante 1
	kWh/a	kWh/a
Variante 1	42.138	0
Variante 2 (hocheffiziente Kältemaschine)	19.486	22.652

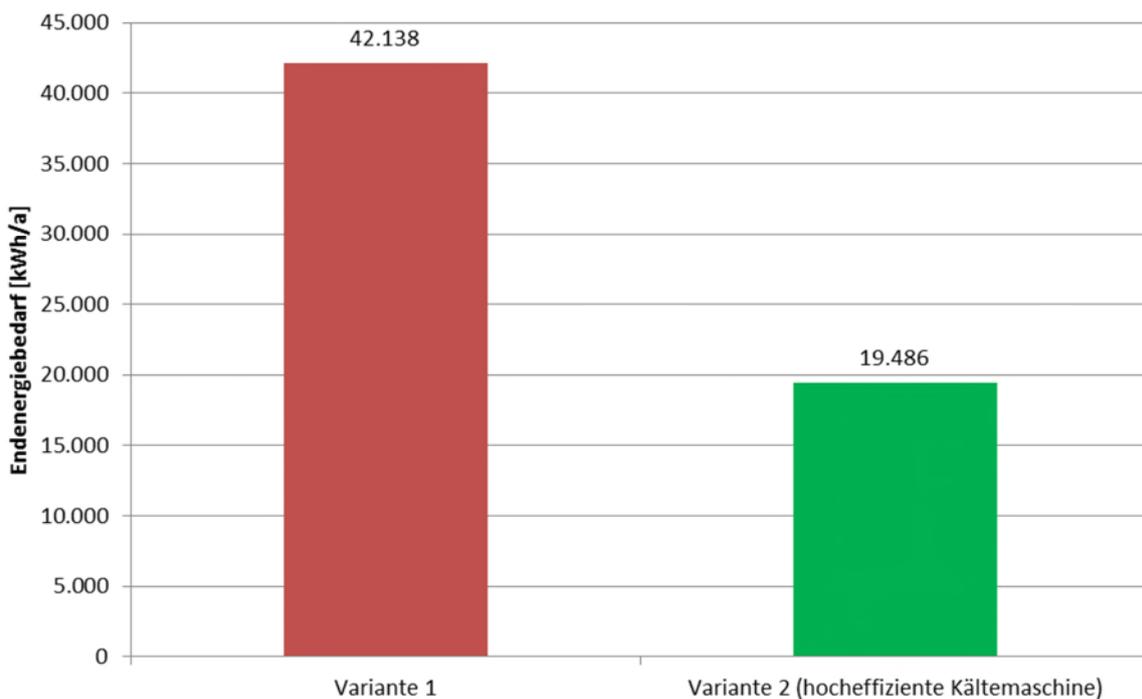


Abbildung 42: Grafische Gegenüberstellung Varianten Kältemaschine – Endenergiebedarf bezogen auf die Kältemaschine, betrachtet für das gesamte Gebäude

⁵ SEER: Seasonal Energy Efficiency Ratio

⁶ SEER: Seasonal Energy Efficiency Ratio

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Primärenergiebedarf bezogen auf die Kältemaschine:

Tabelle 19: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Kältemaschine – Primärenergiebedarf bezogen auf die Kältemaschine, betrachtet für das gesamte Gebäude

Variante	Primärenergiebedarf	Einsparung im Vergleich zu Variante 1
	kWh/a	kWh/a
Variante 1	110.402	
Variante 2 (hocheffiziente Kältemaschine)	51.055	59.347

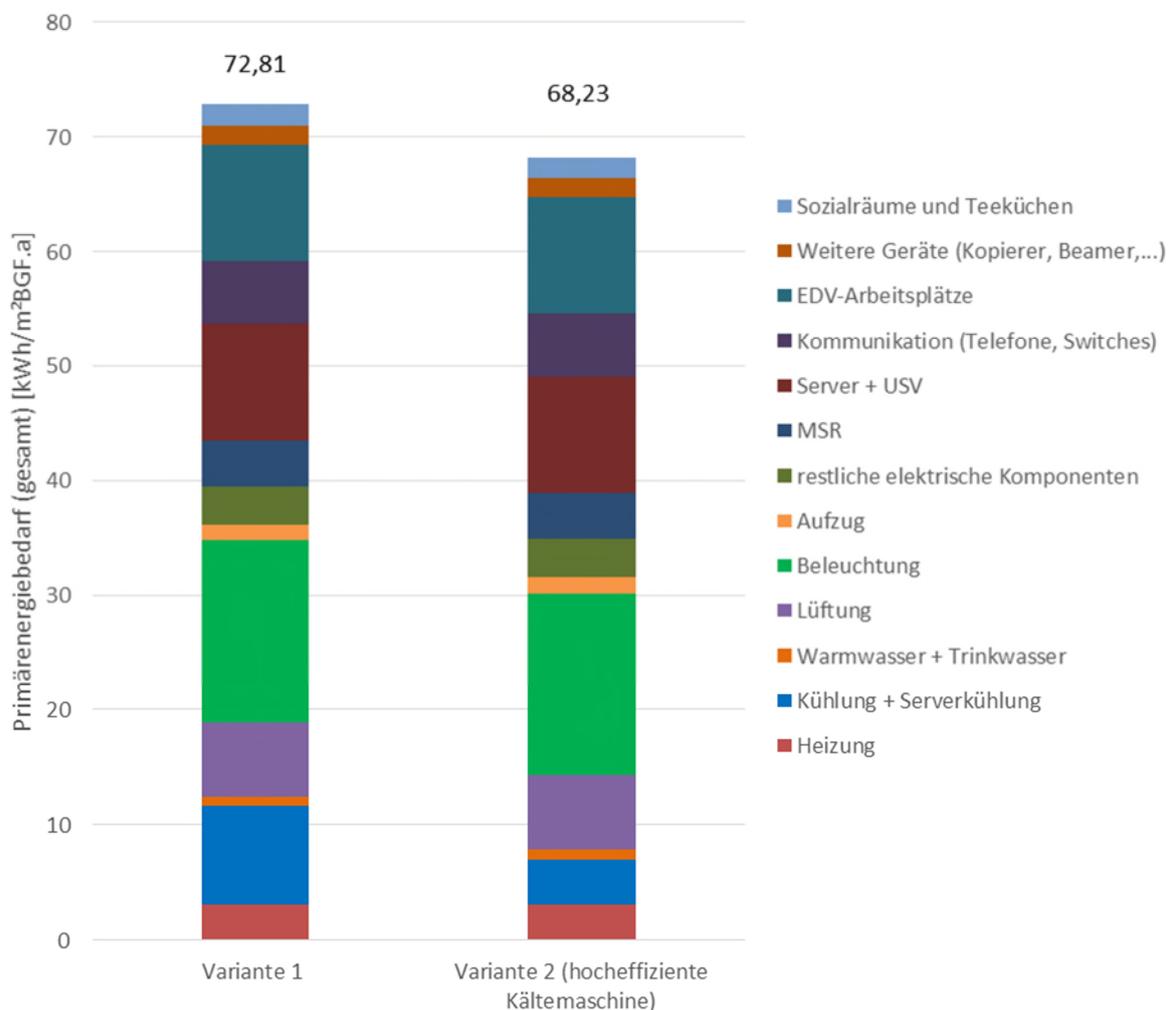


Abbildung 43: Analyse des Einsparpotenzials der Kältemaschine am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für das gesamte Gebäude

Im Zuge der Bewertung des Einsparpotenzials wurde ein Gebäudemodell (dynamische Simulation) zur Optimierung, Analyse der Performance und zur Durchführung der Risikobeurteilung erstellt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 3 zusammengefasst.

Exkurs: wirtschaftliches Einsparpotenzial Kältemaschine

Die Kosten für die Kältemaschine stellen sich wie folgt laut Angebot des Bestbieters dar. Der Anteil des Audimax an der Gesamtkühlleistung ist 52 % und wurde abgezogen.

Tabelle 20: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Kältemaschine – Kosten bezogen auf die Kältemaschine

Variante	Gesamtkosten	Mehrkosten im Vergleich zu Variante 1
	Euro (exkl. USt)	Euro (exkl. USt)
Variante 1	36.326	0
Variante 2 (hocheffiziente Kältemaschine)	79.153	42.827

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten wird die Annuitätenmethode angewandt, welche die Gesamtkosten über die Lebensdauer als jährliche Kosten darstellt. Die Randbedingungen dazu sind in Kapitel 2.8.3 dargestellt.

Betrachtungszeitraum für Variante 1 und 2 in Abbildung 44: 30 Jahre

Lebensdauer der Standard-Kältemaschine in Variante 1 gemäß [NDK06]: 15-25 Jahre, gewählt 20 Jahre. Dies bedeutet bei einem Betrachtungsraum von 30 Jahren, dass in der Wirtschaftlichkeitsberechnung nach 20 Jahre eine Ersatzinvestition, abzüglich Restwert, getätigt wird, siehe Abbildung 44.

Lebensdauer der hocheffizienten Kältemaschine in Variante 2 gemäß Herstellerangaben⁷: 30 Jahre

⁷ Aussage Hersteller: „Die ersten Maschinen der Quantum-Baureihe wurden vor 10 Jahren, 2004, gebaut. Aufgrund der reibungsfreien Magnetlagertechnologie sind keine mechanischen Verschleißflächen vorhanden. Bei regelmäßiger und fachgerechter Wartung sowie sachgemäßem Betrieb gehen wir von einer Lebensdauer von 30 Jahren und mehr (ohne Verschleiß- und Elektroteile) aus.“

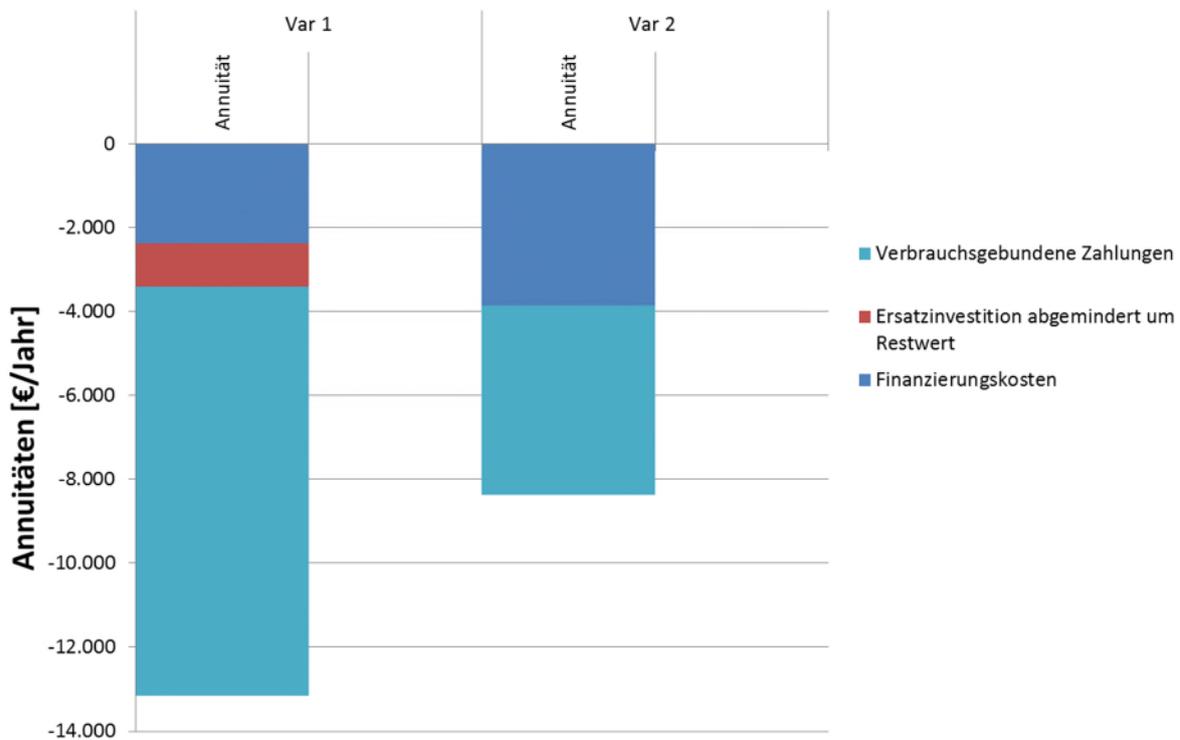


Abbildung 44: Grafische Gegenüberstellung der Kältemaschine Variante 1 (Standard) und Variante 2 (hocheffiziente Kältemaschine) – Annuitätenvergleich bezogen auf die Kältemaschine betrachtet für das gesamte Gebäude

Das wirtschaftliche Einsparpotenzial bei der Gesamtannuität beträgt 4.780 Euro/a.

Aufgrund der dargestellten energetischen und wirtschaftlichen Betrachtungen wurde die Kältemaschine als Variante 2 ausgeführt.

4.3.2 Warmwasser

Im Bürobau wird weniger Warmwasser als im Wohnbau benötigt. Erfahrungswerte aus einem Vorprojekt [REI11] zeigen, dass ca. 2 Liter pro Person und Tag inkl. Reinigung benötigt werden. Da in den Toilettenbereichen kein Warmwasser vorgesehen ist, kann dieser Wert in Realität wahrscheinlich unterschritten werden. Anschlüsse für elektrische Durchlauferhitzer wurden vorbereitet, um eine einfache Nachrüstung zu ermöglichen.

Die Warmwasseraufbereitung in den Teeküchen und Sozialräumen erfolgt mittels elektrischen Durchlauferhitzern. Weiters sind im Untergeschoß Duschen vorgesehen. Diese werden ebenfalls mittels elektrischen Durchlauferhitzern gespeist. Durch den Einsatz von Durchlauferhitzern werden im Winter Verteil- und Speicherverluste und vor allem im Sommer ein Wärmeeintrag durch Boiler und Verteilleitungen vermieden.

4.3.3 Drucksteigerungsanlagen

Im Gebäude sind Drucksteigerungsanlagen notwendig, um bis ins 11. OG einen ausreichenden Druck für Trinkwasser bereitzustellen. Drucksteigerungsanlagen haben einen nicht zu

vernachlässigenden Stromverbrauch und müssen optimal geplant, eingestellt und positioniert werden. Für die unteren Geschoße reicht der am Areal zu Verfügung stehende Druck aus. Erst die Geschoße 6 bis 11 werden mit der Drucksteigerungsanlage versorgt. Ob der Stromverbrauch für die Drucksteigerungsanlage durch eine Positionierung in den oberen Geschoßen verbessert werden kann, muss von Projekt zu Projekt entschieden und untersucht werden.

Im Zuge einer Voruntersuchung zur Drucksteigerungsanlage wurde dasselbe Gerät, wie es auch in diesem Projekt zum Einsatz kommt, in einem anderen Objekt untersucht, wobei die Gebäudenutzung nicht mit einem Bürobau vergleichbar ist und auch eine geringere Gebäuhöhe hat. Die untersuchte Drucksteigerungsanlage weist 3 parallel geschaltete Pumpen mit einer Nennleistung von je 4 kW.

Ergebnis Messung (Daten: Robert Mudri, MachineVision)

- Standby 15 – 20 W
- Betrieb laufende Pumpen 180 - 200 W
- Tagesverbrauch ca. 4 kWh/Tag
- Laufzeit der Pumpen ca. 85 % der Betriebszeit

4.3.4 Lüftungsanlage

4.3.4.1 Grundkonzept

Die Lüftungsanlage ist ein zentraler Baustein für den Komfort der NutzerInnen des Gebäudes sowie für das Energiekonzept. Die Lüftung erfolgt über insgesamt sieben Lüftungsanlagen. Die beiden Bürolüftungsanlagen sind mit Wärme- und Feuchterückgewinnung ausgestattet, die restlichen Anlagen nur mit Wärmerückgewinnung.

Folgende Lüftungsanlagen sind vorgesehen:

- Lüftungsanlage Bibliotheksbereiche/Seminar A.03 (1. und 2. OG): 15.025 m³/h (Auslegungsvolumenstrom)
- Lüftungsanlage Allgemein – Bereiche A.04 (2. UG bis EG): 12.081 m³/h (Auslegungsvolumenstrom)
- Lüftungsanlage Bürobereich A.05 (1. bis 6. OG): 14.447 m³/h (Auslegungsvolumenstrom)
- Lüftungsanlage Bürobereich A.06 (7. bis 10. OG): 15.264 m³/h (Auslegungsvolumenstrom)
- Lüftungsanlage Veranstaltungsbereich A.07 (11. OG): 9.051 m³/h (Auslegungsvolumenstrom)
- Lüftungsanlage WC A.09 (alle Geschoße): 2.836 m³/h (Auslegungsvolumenstrom)

In der Anlage A.05 und A.06 wird von einer Vorkonditionierung der Luft in den Büroräumen abgesehen. Die Konditionierung der Luft durch die hocheffizienten Wärmetauscher reicht hier aus, um in den Bürobereichen auf Heizregister bzw. Kühlregister verzichten zu können. Ohne diese zusätzlichen Register können die Druckverluste der Lüftungsanlage noch weiter

minimiert werden. Die Wärme- bzw. Kühllasten werden von der Bauteilaktivierung abgefangen.

Zu- und Abluftleitungen für die Anlagen A05, A06 und A09 wurden innerhalb der thermischen Gebäudehülle nicht gedämmt. Fort- und Außenluftleitungen innerhalb der thermischen Gebäudehülle wurden mit 30 cm gedämmt.

Im Zuge des Planungsprozesses wurden eine Reihe von Untersuchungen und Gegenüberstellung verschiedener Lüftungskonzepte bis hin zu Einzelkomponenten durchgeführt. Im Folgenden befindet sich die Zusammenfassung für jeden untersuchten Bereich bzw. Komponente der Lüftungsanlagen.

Vorgaben für die Lüftungsanlage:

- abluftseitiger Temperaturänderungsgrad von über 85 % im Betriebsvolumenstrom bei üblichen Klimabedingungen in Wien
- geringste Druckverluste des Wärmetauschers
- niedrigste Stromverbräuche von Ventilatoren und Antriebselementen
- Möglichkeit des Teillastbetriebs auch bei Volumenströmen unter 50 % des maximalen Volumenstroms
- nachvollziehbare Auslegungen des Herstellers
- Feuchterückgewinnung keine Unterschreitung von 30 % relative Luftfeuchtigkeit

4.3.4.2 Anlagengröße und Situierung

Es wurde eine Potenzialanalyse hinsichtlich Lüftungsanlagengröße und deren Situierung durchgeführt. Dabei stand zur Frage, ob eine Lüftungsanlage (Variante A) alle Geschosse versorgen soll, oder ob diese Aufgabe besser von zwei Lüftungsanlagen (Variante B) bewältigt werden kann. Wie die folgende Grafik zeigt, schneidet Variante B aufgrund ihrer optimalen Auslegung bei der Stromeffizienz und der Wärmerückgewinnung besser ab, da sie viel besser und leichter in einem effizienten Teillastbetrieb betrieben werden kann. Anlagentechnisch ist es bei Variante B möglich, die Geräte optimaler auf den Volumenstrom auszulegen als bei Variante A. Eine große Anlage für den gesamten Bürobereich wäre auch aus Platzgründen nicht möglich, da es sich um eine Sanierung handelt.

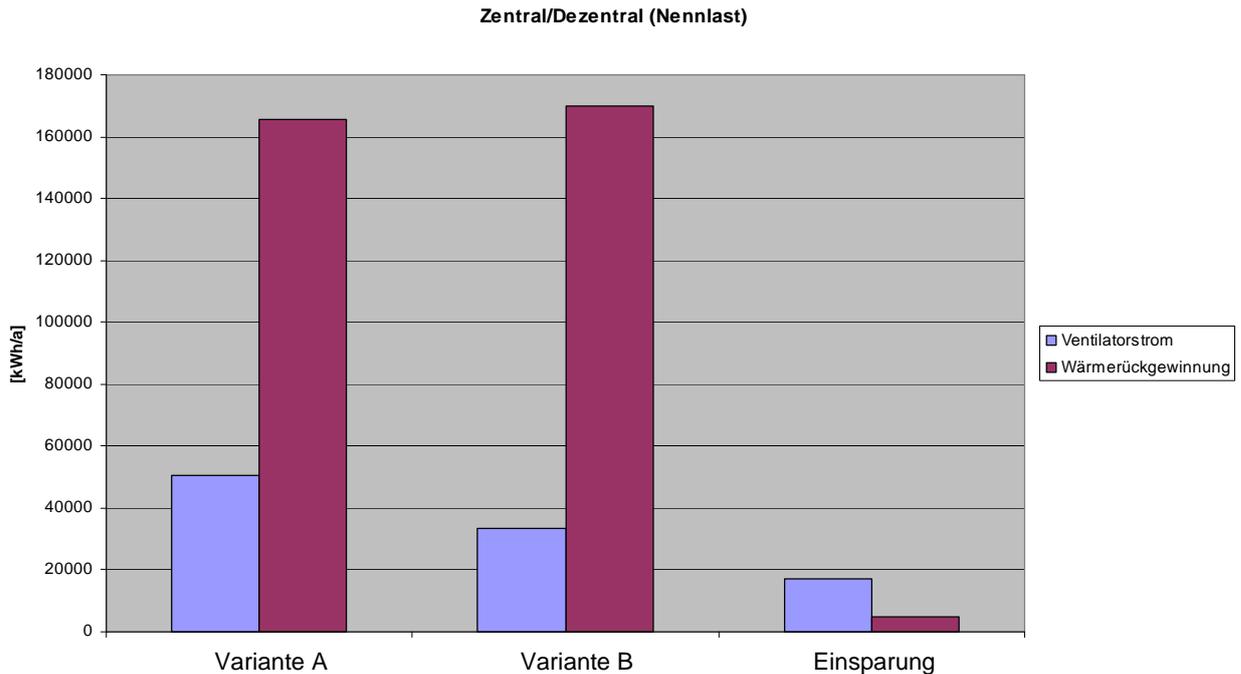


Abbildung 45: Gegenüberstellung Ventilatorenstrom und Wärmerückgewinnung (Quelle: Siegfried Manschein GesmbH, bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH)

Aufgrund dieser Ergebnisse wird der Bürobereich durch zwei Lüftungsanlagen versorgt, welche im 6. und 7. Obergeschoß situiert sind. Die Ansaugung von frischer Luft erfolgt ebenfalls im 6. und 7. OG, um die Leitungslängen mit kühler Luft im Inneren kurz zu halten.

4.3.4.3 Luftvolumenstromoptimierung

Die Auslegung der Luftvolumenströme und deren Optimierung sind von entscheidendem Einfluss für Komfort und Energieverbrauch. Die Auslegung der Luftmengen erfolgt nach ÖNORM EN 15251 [ONO07]:

Die Gesamtlüftungsrate für einen Raum wird anhand der folgenden Formel berechnet:

$$q_{\text{tot}} = n \cdot q_p + A \cdot q_B \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist

- q_{tot} die Gesamtlüftungsrate des Raums, in l/s;
- n der Auslegungswert für die Anzahl der Personen im Raum, –;
- q_p die Lüftungsrate für die Belegung bzw. Nutzung je Person, l/s, pers;
- A die Grundfläche des Raums, m²;
- q_B die auf die Gebäudeemissionen bezogene Lüftungsrate, l/s,m².

Tabelle B.3 — Beispiele für empfohlene Lüftungsraten bei Nichtwohngebäuden für drei Kategorien der Verunreinigung durch das Gebäude selbst. Die Raten sind je Person oder je m² Grundfläche angegeben

Kategorie	Luftstrom je Person l/s/pers	Luftstrom für Verunreinigungen durch Gebäudemissionen (l/s/m ²)		
		Sehr schadstoffarme Gebäude	Schadstoffarme Gebäude	Nicht schadstoffarme Gebäude
I	10	0,5	1	2
II	7	0,35	0,7	1,4
III	4	0,2	0,4	0,8

Tabelle 1 — Beschreibung der Anwendbarkeit der verwendeten Kategorien

Kategorie	Beschreibung
I	hohes Maß an Erwartungen; empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten, z. B. Personen mit Behinderungen, kranke Personen, sehr kleine Kinder und ältere Personen
II	normales Maß an Erwartungen; empfohlen für neue und renovierte Gebäude
III	annehmbares, moderates Maß an Erwartungen; kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden
IV	Werte außerhalb der oben genannten Kategorien. Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden

ANMERKUNG Auch in anderen Normen wie z. B. EN 13779 und EN ISO 7730 wird eine Einteilung in Kategorien vorgenommen; diese können jedoch unterschiedlich benannt sein (A, B, C oder 1, 2, 3 usw.)

Abbildung 46: Berechnung der Gesamtlüftungsrate und Darstellung der Gebäudekategorien nach ÖNORM EN 15251 [ONO07]

Die Berechnung ist zusätzlich von zwei Kategorien abhängig, welche das Gebäude charakterisieren sollen. Für die Kategorien „II - normales Maß an Erwartungen“ und „sehr schadstoffarme Gebäude“ kann folgendes Beispiel gegeben werden:

Randbedingungen: Büro, 10 m², 1 Person

$$q_{\text{tot}} = 1 \text{ Person} * 7 \text{ l/s} + 10 \text{ m}^2 * 0,35 \text{ l/(s*m}^2\text{)}$$

$$q_{\text{tot}} = 10,5 \text{ l/s} = 10,5 * 3,6 = \mathbf{37,8 \text{ m}^3/\text{h und Person}}$$

Variation - Randbedingungen: Büro, 10 m², 3 Personen

$$q_{\text{tot}} = 3 \text{ Personen} * 7 \text{ l/s} + 10 \text{ m}^2 * 0,35 \text{ l/(s*m}^2\text{)}$$

$$q_{\text{tot}} = 24,5 \text{ l/s} = 24,5 * 3,6 = 88,2 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow \mathbf{29,4 \text{ m}^3/\text{h pro Person}}$$

An diesem Beispiel ist ersichtlich, dass bei einem 10 m² Büro abhängig von der Belegung mit einer oder drei Personen die Luftmenge pro Person stark variiert und daher die Luftmengen für jeden Raum genau berechnet werden müssen.

Essenziell für die Auslegung der Luftmengen für die Lüftungsanlagen ist die Belegung der versorgten Bereiche. Es gibt drei verschiedene Szenarien:

- maximale theoretische Belegung - durchschnittlich 60 Personen pro Geschoß: Auslegung aufgrund der Arbeitsstättenverordnung [ASV11]
- maximale reale Belegung - durchschnittlich 35 bis 50 Personen pro Geschoß: Berechnung aufgrund der Bestuhlung, maximale Belegung (100 %)
- reale Belegung – durchschnittlich 18 bis 25 Personen pro Geschoß: Dieser Wert wurde aufgrund der Erkenntnisse aus [PRO09] abgeleitet. Diese Arbeit besagt, dass

in Gebäuden mit universitärer Büronutzung (am Beispiel Freihaus TU Wien) die maximale Belegung bei 45 bis 50 % liegt.

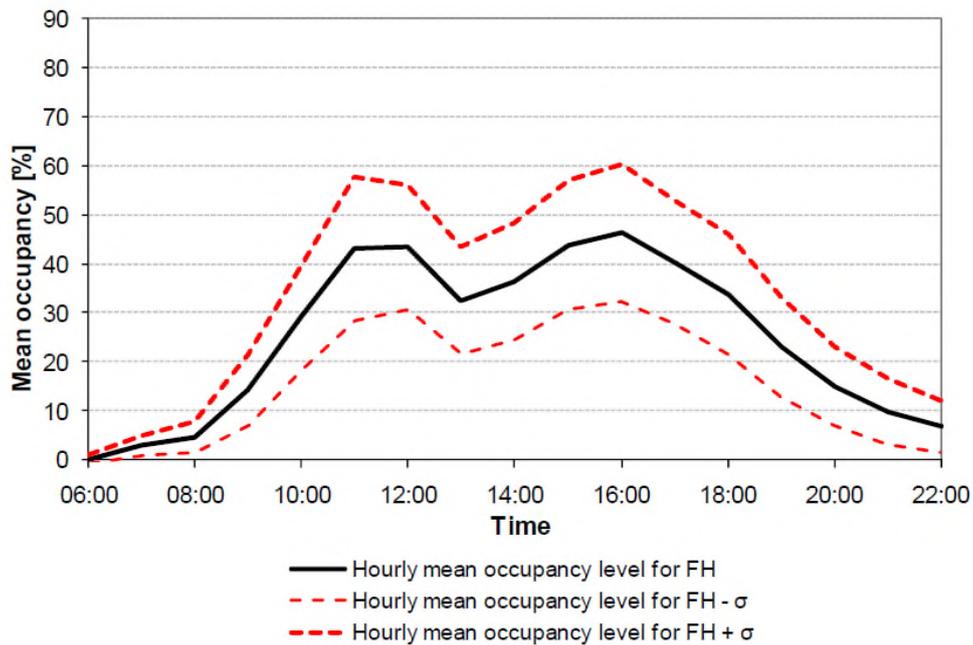


Abbildung 47: durchschnittliche stündliche Belegung mit Standardabweichung für das Freihaus, TU Wien [PRO09]

Im Gegensatz dazu verhalten sich die Anwesenheitszeiten aus [PRO09] für den Bürobetrieb in einem Bürogebäude anders als im Freihaus. Für den Universitätsbereich ist es somit auch wichtiger die Lüftungsanlagen für den Teillastbereich zu optimieren, da die geringen Luftmengen bedingt durch die geringeren Anwesenheitszeiten für viele Systeme (z. B. Wärmerückgewinnung) Schwierigkeiten bereiten.

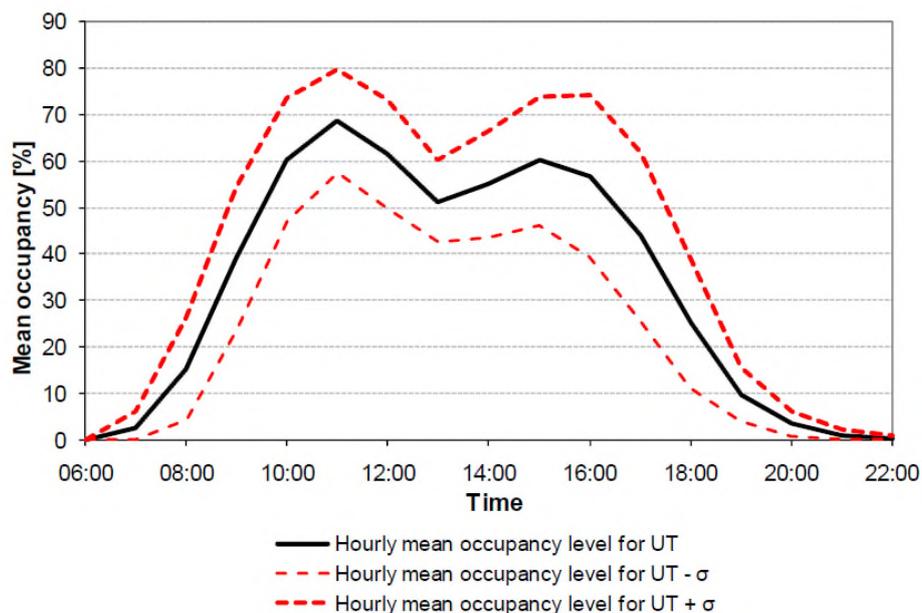


Abbildung 48: durchschnittliche stündliche Belegung mit Standardabweichung für den UNIQA-Tower, Wien [PRO09]

Diese Angaben aus [PRO09] für das Freihaus, TU Wien, konnten durch Recherchen und Umfragen in drei Instituten der TU Wien bestätigt werden. Für einen 10-Studentag ergibt sich aus der Umfrage eine Anwesenheit von knapp 45 %. Umgerechnet auf eine 40-Stundenarbeitswoche ergibt dies eine durchschnittliche Anwesenheit von 55 %.

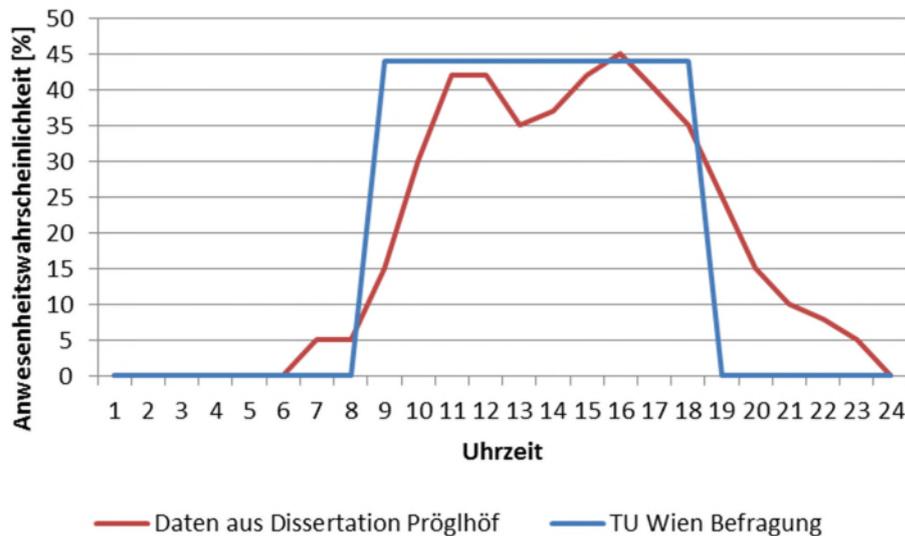


Abbildung 49: Gegenüberstellung der Daten aus [PRO09] für das Freihaus und der Daten aus der Befragung, Basis 8 bis 18 Uhr (Quelle: [PRO09] und TU Wien, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz)

Umso genauer die reale, durchschnittliche Belegung für den Betrieb der Lüftungsanlage bekannt ist, desto genauer kann der Lüftungsstromverbrauch im Vorfeld berechnet werden. Im realen Betrieb wird durch die bedarfsgerechte Regelung der Anlage der optimale Luftvolumenstrom gewählt.

4.3.4.4 Ventilatoren

Es wurde eine Analyse des Stromverbrauchs von Ventilatoren durchgeführt. Zur Auswahl standen vier Ventilatoren mit EC Motor, welche bei verschiedenen Volumenströmen energetisch gegenübergestellt wurden. Hersteller „A“ hatten in allen Volumenstrombereichen die niedrigste Leistungsaufnahme und wurde im Plus-Energie-Bürogebäude eingesetzt.

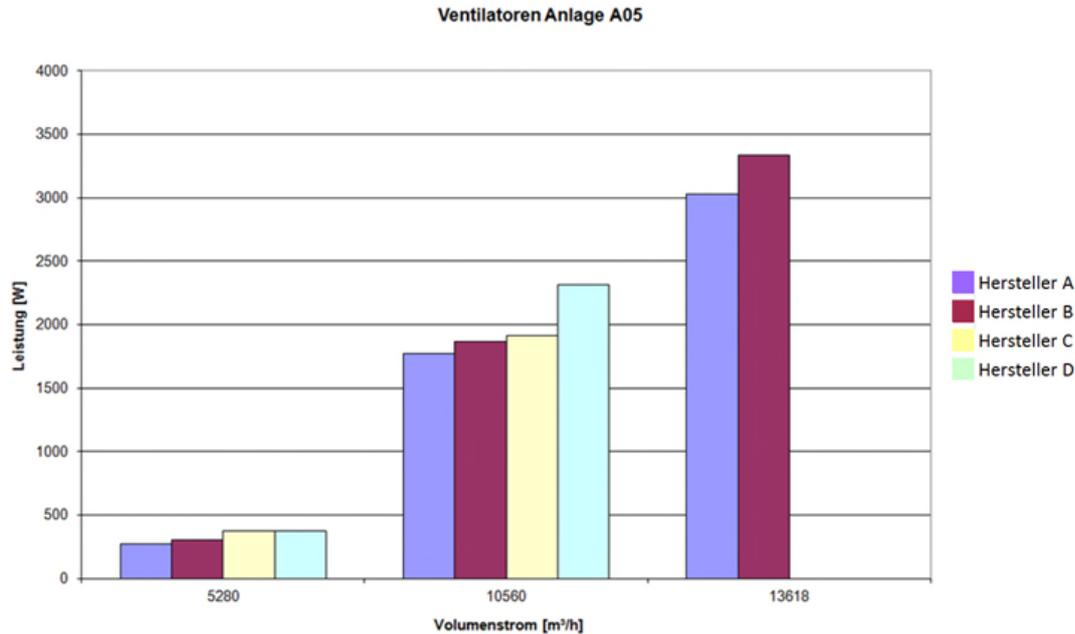


Abbildung 50: Gegenüberstellung Ventilatoren für Anlage A05 (Quelle: Siegfried Manschein GesmbH, bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH)

4.3.4.5 Luftfeuchte

Für die Entscheidung, ob Doppel- oder Einzelrotationstauscher eingesetzt werden sollen, und um deren Auswirkung auf die relative Luftfeuchte zu untersuchen, wurden von der TU Wien, Forschungsbereich Bauphysik und Schallschutz, dynamische Simulationen zur Darstellung der Auswirkung der einzelnen Systeme auf die relative Raumlufffeuchte im Raum durchgeführt. Folgenden Varianten wurden berechnet:

- Einzelrotor: Bedarfssteuerung der Lüftung durch Präsenzmelder, nur Wärme- keine Feuchterückgewinnung (in Abbildung 51: Bedarfs Präs Einzel Nur Wärme 33_reILF)
- Einzelrotor: Bedarfssteuerung der Lüftung durch Präsenzmelder, Wärme- und Feuchterückgewinnung mit Hochhygroskopischem Rotor (in Abbildung 51: Bedarfs Präs Einzel Hochhygroskopisch 33_reILF)
- Doppelrotor Serie (hintereinander): Zeitsteuerung der Lüftungsanlage, Wärme- und Feuchterückgewinnung (in Abbildung 51: Zeit Serie 33_reILF)
- Doppelrotor Serie (hintereinander): Bedarfssteuerung der Lüftung durch Präsenzmelder, Wärme- und Feuchterückgewinnung (in Abbildung 51: Bedarfs Präs Serie 33_reILF)
- Doppelrotor Serie (hintereinander): Bedarfssteuerung der Lüftung nach CO₂, Wärme- und Feuchterückgewinnung (in Abbildung 51: Bedarfs CO₂ Serie 33_reILF)

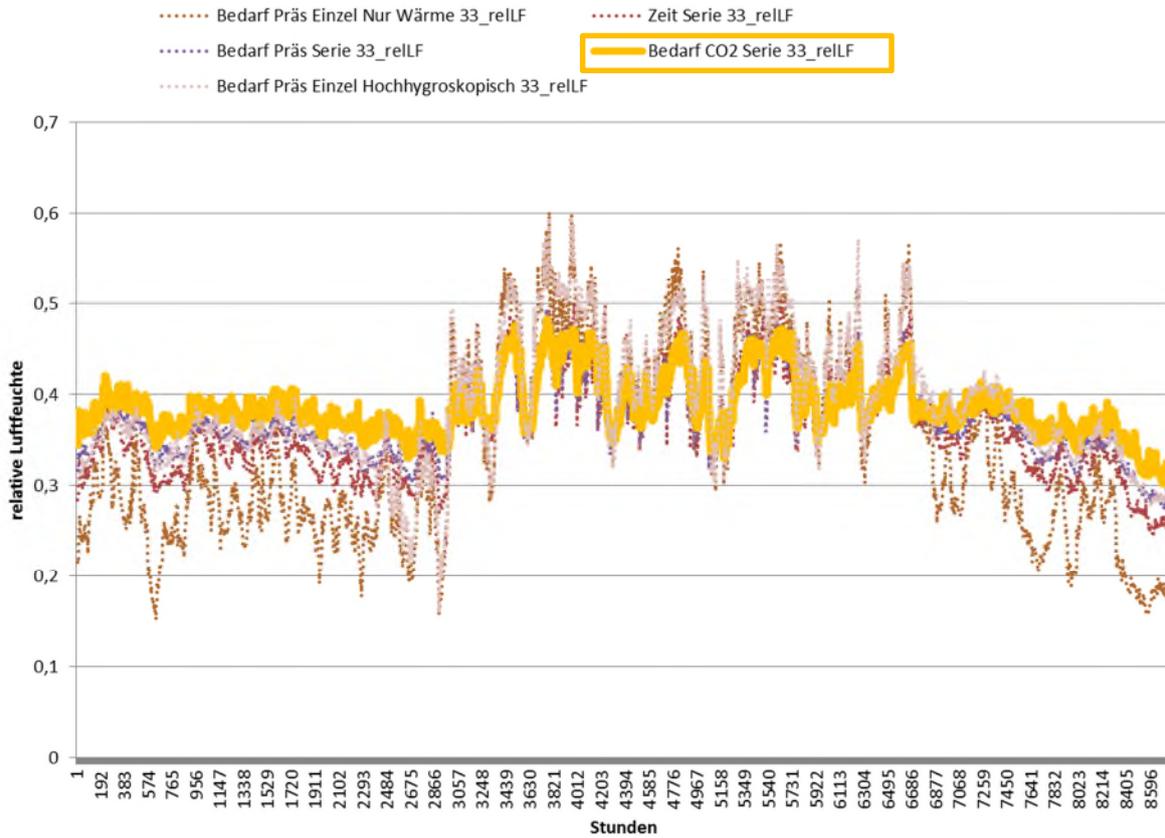


Abbildung 51: Jahresverlauf der relativen Luftfeuchte bei unterschiedlichen Rotationswärmetauscheranordnungen und unterschiedlichen Regelungsstrategien

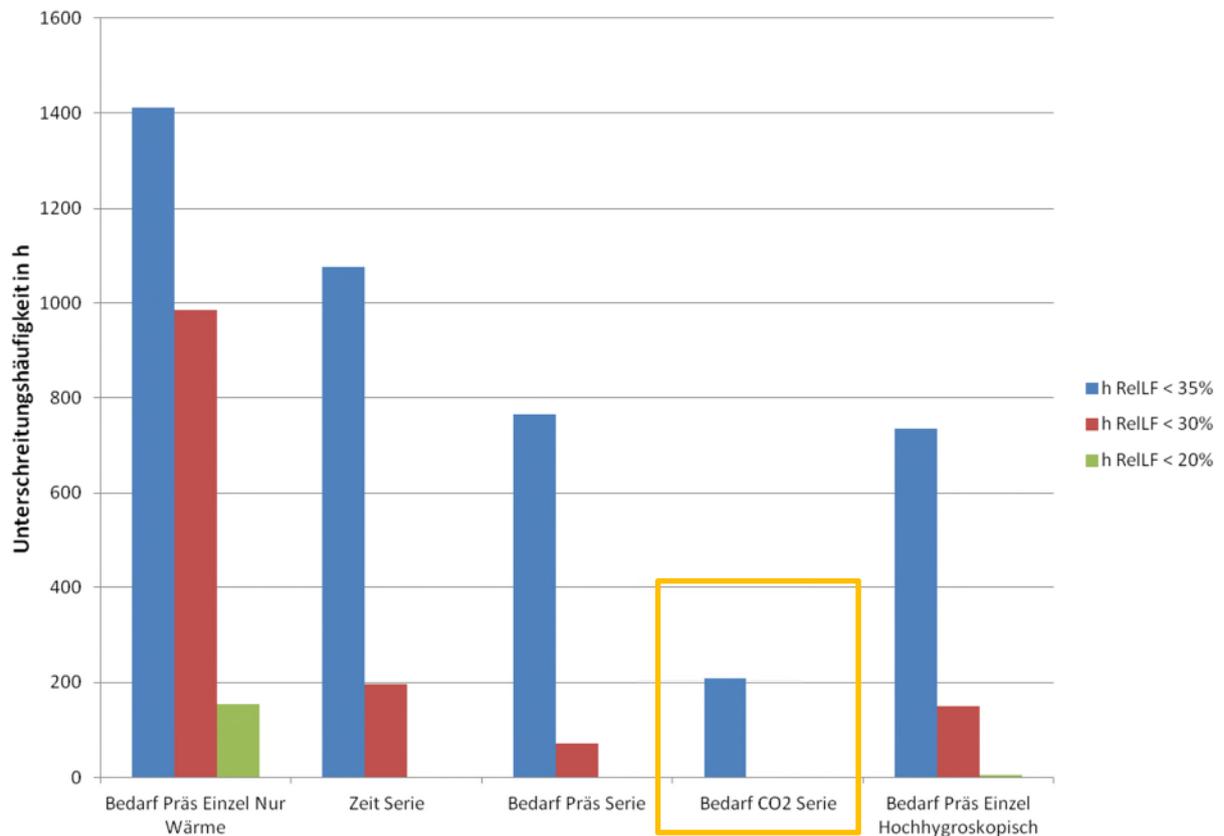


Abbildung 52: Unterschreitung verschiedener Luftfeuchtwerte während der Arbeitszeit (2600 Stunden pro Jahr)

Aus den Grafiken ist ersichtlich, dass die Varianten mit Einzelrotoren, mit oder ohne Feuchterückgewinnung und einer Zeitsteuerung der Lüftungsanlage die höchsten Überschreitungen pro Jahr bringen und somit nicht geeignet sind. Die Variante mit Doppelrotationstauscher in Serie und CO₂ Steuerung bringt das beste Ergebnis bei der Simulation.

4.3.4.6 Regelungsstrategien

Um das optimale Gesamtkonzept für die Lüftungsanlage für das Plus-Energie-Büro zu finden, wurden unterschiedliche Kombinationen von Anordnung von Rotationswärmetauschern und Regelungsstrategien simuliert.

Es wurde der Strombedarf bzw. Primärenergiebedarf für die verschiedenen Varianten berechnet, wobei dieser für die einzelnen Komponenten der Anlagen A05 und A06 (Bürobereich) und WC bzw. für Heizung, Kühlung, Lüftung in Abbildung 53 bzw. Abbildung 54 dargestellt ist.

Es wurden folgende Energieströme berechnet:

- Heizung
- Kühlung
- Lüftungsenergiebedarf der Ventilatoren
- Energiebedarf der Rotormotoren

Erläuterung zu den Varianten in Abbildung 53 bzw. Abbildung 54:

- Einzelrotor: Zeitsteuerung der Lüftungsanlage, Wärme- und Feuchterückgewinnung, mit Absenkung auf minimalen Luftvolumenstrom in der Nacht (zeitgesteuert, Einzelrotor, ohne V_{min})
- Doppelrotor Serie (hintereinander): Zeitsteuerung der Lüftungsanlage, Wärme- und Feuchterückgewinnung, mit Absenkung auf minimalen Luftvolumenstrom in der Nacht (zeitgesteuert, Doppelrotor, ohne V_{min})
- Einzelrotor: Bedarfssteuerung der Lüftung durch Präsenzmelder, nur Wärme- keine Feuchterückgewinnung mit Absenkung auf minimalen Luftvolumenstrom in der Nacht (bedarfsgerecht, Präsenz, Einzelrotor, ohne V_{min})
- Doppelrotor Serie (hintereinander): Bedarfssteuerung der Lüftung durch Präsenzmelder, Wärme- und Feuchterückgewinnung mit Absenkung auf minimalen Luftvolumenstrom in der Nacht (bedarfsgerecht, Präsenz, Doppelrotor, ohne V_{min})
- Einzelrotor: Bedarfssteuerung der Lüftung nach CO₂, nur Wärme- keine Feuchterückgewinnung mit Absenkung auf minimalen Luftvolumenstrom in der Nacht (bedarfsgerecht, CO₂, Einzelrotor, ohne V_{min})
- Doppelrotor Serie: Bedarfssteuerung der Lüftung nach CO₂, Wärme- und Feuchterückgewinnung mit Absenkung auf minimalen Luftvolumenstrom in der Nacht (bedarfsgerecht, CO₂, Doppelrotor, ohne V_{min})

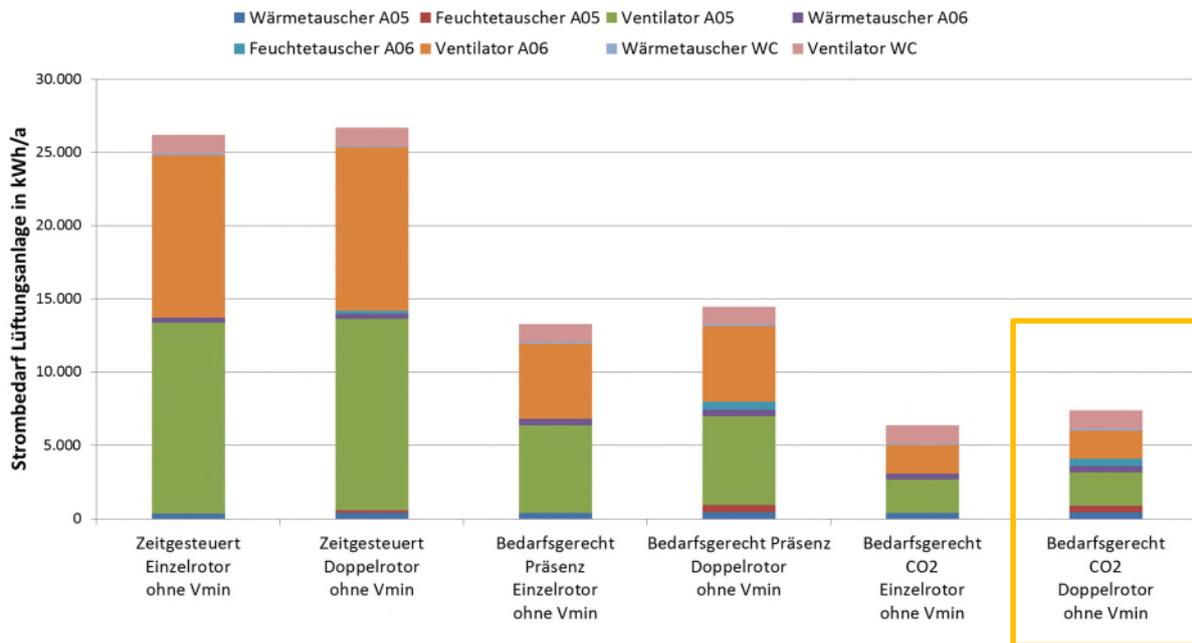


Abbildung 53: Strombedarf der Lüftungsanlagen A05, A06 und WC bei unterschiedlichen Rotationswärmetauscheranordnungen und unterschiedlichen Regelungsstrategien

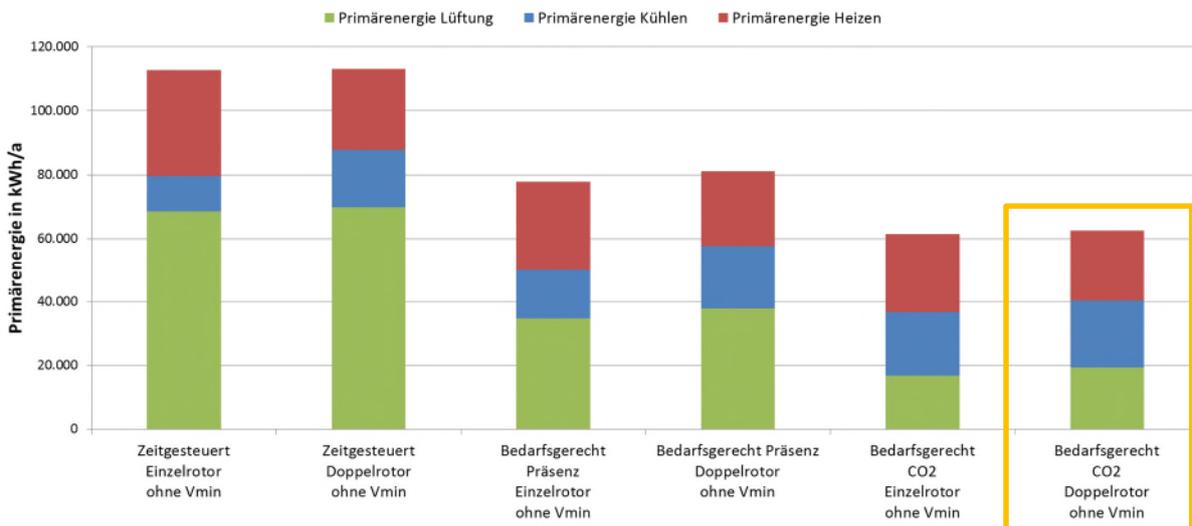


Abbildung 54: Primärenergiebedarf der Lüftungsanlagen A05, A06 und WC bei unterschiedlichen Rotationswärmetauscheranordnungen und unterschiedlichen Regelungsstrategien

Aus der Abbildung 53 ist ersichtlich, dass die bedarfsgerechte CO₂ Variante mit Doppelrotor etwas mehr Strom als die Einzelrotorvariante verbraucht. Dies kommt daher, dass durch den Doppelrotor der Druckverlust etwas höher ist und ein zusätzlicher Antrieb für den zweiten Rotor benötigt wird.

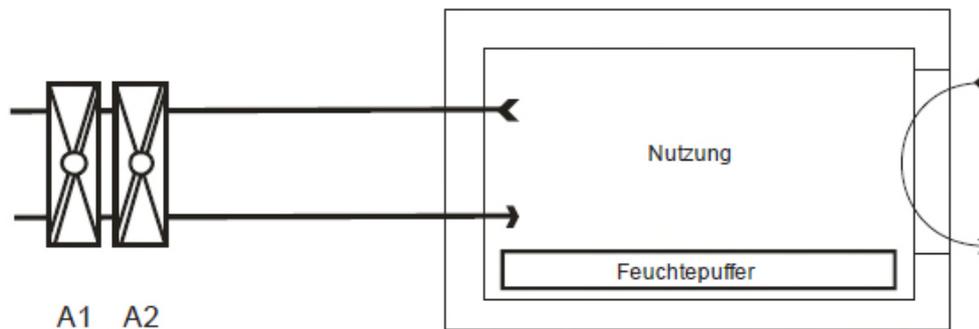
Aus der Abbildung 54 ist ersichtlich, dass der primärenergetische Vergleich zwischen bedarfsgerechter CO₂-gesteuerter Einzel- und Doppelrotorvariante sehr knapp ausfällt und die Einzelrotorvariante um etwa 1.100 kWh/a Gesamtprimärenergie für Heizung, Kühlung und Lüftung besser ist. Dies kommt daher, dass der Fernwärmefaktor für Wien mit 0,33 sehr niedrig ist. Würde der Faktor mit 1, beispielsweise für einen anderen Energieträger oder für einen anderen Konversionsfaktor für Fernwärme eingesetzt werden, ist die Doppelrotorvariante knapp besser.

Aufgrund der geringeren Unterschreitungshäufigkeit der Grenzen der Behaglichkeit bezüglich der relativen Luftfeuchtigkeit durch die Feuchterückgewinnung (siehe Abbildung 51 und Abbildung 52) und des äußerst niedrigen Primärenergiebedarfs wurde im Plus-Energie-Büro-Gebäude die Variante mit Doppelrotor in Serie und bedarfsgerechter Regelung mit CO₂ ausgeführt.

4.3.4.7 Serielle Anordnung von Rotoren (Doppelrotoren)

Siehe auch Abbildung 51 in Kapitel 4.3.4.5 zum Thema Raumlufffeuchte.

Bei einer seriellen Anordnung der Rotationswärmetauscher sind diese hintereinander angeordnet und je nach Bedarf gemeinsam oder einzeln im Betrieb. Es wurde ein Kondensationsrotor (Wärmetauscher) in Verbindung mit einem hochhygroskopischen Rotor (Feuchtetauscher) vorgesehen.



A1	Wärmetauscher	(Kondensationsrotor)
A2	Feuchtetauscher	(Hochhygroskopischer Rotor)

Abbildung 55: Schematischer Aufbau Doppelrotor in Serie ([BED12] bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH)

Zur Regelung, wann welcher Rotor aktiv ist, gibt [BED12] Aufschluss. Im Bericht [BED12] wird von einer Konditionierung gesprochen, welche am Getreidemarkt über Rotationswärmetauscher und der Bauteilaktivierung geschieht.

„Auf welche Temperatur bzw. Feuchte die Zuluft konditioniert wird, hängt von der Differenz zwischen der Abluft und der gewünschten Raumluff ab. Je niedriger die Ablufttemperatur ist, desto höher ist die Zulufttemperatur. Gleiches gilt für die Zuluftfeuchte. [...] Das Maximum der zulässigen Zuluftfeuchte wird durch die Taupunkttemperatur der Zuluft vorgegeben. [...] Der Zuluftzustand ergibt sich also aus der Summe des Sollzustandes, vermehrt oder vermindert um die Differenz zwischen dem Abluftzustand und dem Sollzustand. Entspricht der Abluftzustand den Sollzustand, so sind die Zuluftparameter und die Sollparameter gleich groß. Im Gegensatz zur Luftfeuchte erfolgt im Falle der Berechnung der Zulufttemperatur zusätzlich noch eine Korrektur der durch den Zuluftventilator erzeugten Temperaturerhöhung.“
[BED12]

Grundsätzlich wird der Wärmetauscher (Kondensationsrotor) nach der Temperatur geregelt und der Feuchtetauscher (hochhygroskopischer Rotor) nach der absoluten Feuchte. Beide

Tauscher sind in der Lage Wärme zu tauschen. Feuchterückgewinnung ist für den Kondensationsrotor nur bei tiefen Außentemperaturen im Winter möglich, beim hochhygroskopischen Rotor ganzjährig.

Die folgenden Fälle sollen das Regelverhalten verdeutlichen:

Sommerbetrieb ($T_{\text{außen}}=28\text{ °C}$, $T_{\text{innen}}=25\text{ °C}$):

Kondensationsrotor: aktiv

Hochhygroskopischer Rotor: aktiv

Erläuterung: Durch den doppelten Betrieb der Tauscher wird die Außenluft auf nahezu Ablufttemperatur, und somit von 28 °C auf nahezu 25 °C, gebracht. Die Entfeuchtung der Raumluft findet durch den hochhygroskopischen Rotor statt.

Winterbetrieb ($T_{\text{außen}}=-10\text{ °C}$, $T_{\text{innen}}=22\text{ °C}$):

Kondensationsrotor: aktiv

Hochhygroskopischer Rotor: aktiv

Erläuterung: Durch den doppelten Betrieb der Tauscher wird die Außenluft erwärmt. Die Befeuchtung der Raumluft findet durch den hochhygroskopischen Rotor statt.

Übergangszeit Variante 1

Kondensationsrotor: inaktiv

Hochhygroskopischer Rotor: aktiv

Erläuterung: Ist die Solltemperatur im Raum erreicht und es herrscht Ent- oder Befeuchtungsbedarf, ist nur der hochhygroskopische Rotor aktiv.

Übergangszeit Variante 2

Kondensationsrotor: aktiv

Hochhygroskopischer Rotor: inaktiv

Erläuterung: Ist die Solltemperatur nicht erreicht und es herrscht kein Ent- oder Befeuchtungsbedarf, ist nur der Kondensationsrotor aktiv.

Es ist keine aktive Be- und Entfeuchtung vorgesehen, die Be-/Entfeuchtung erfolgt über die Rotationswärmetauscher. Gekühlt wird, wenn Bedarf besteht, über die Bauteilaktivierung. Ein Sommerbypass ist nicht notwendig, da, wenn die Rotoren angehalten werden, die Luft durchströmen kann ohne, dass Wärme oder Feuchte rückgewonnen wird.

4.3.4.8 Brandschutzklappen

Am Beispiel der Brandschutzklappen wird das Optimierungspotenzial von Einbauteilen im Lüftungskanalnetz aufgezeigt.

Brandschutzklappen werden verwendet, um eine Feuer- und Rauchausbreitung von einem Brandabschnitt in einen anderen zu verhindern. Auf der „44. Sitzung des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser – Phase V - Lüftung in Passivhaus-Nichtwohngebäuden,“ am 6. Mai 2011 in Hannover wurden Brandschutzklappen der Firma Schako KG ohne Anschlagleiste vorgestellt, welche niedrigere Druckverluste als vergleichbare Klappen mit Anschlagleiste bei gleichen Anschaffungskosten aufweisen. Auf Nachfrage beim Vertrieb in Österreich stellte sich heraus, dass der Kostenaspekt nur auf den Markt in Deutschland zutrifft. In Österreich sind von Schako zwei Brandschutzklappen zertifiziert (beispielhaft für 400x500 Rechteckkanal):

- BSKS 400 (mit Anschlagprofil, höhere Druckverluste), 240 Euro exkl. USt. (Stand Juni 2011, Preis nur für Klappe in Österreich)
- BKA-EN (ohne Anschlagprofil, niedrigere Druckverluste), 388 Euro exkl. USt (Stand Juni 2011, Preis nur für Klappe in Österreich)

Eine Abschätzung vor der Ausschreibung, wie viel die Klappen im Betrieb verbrauchen, wurde berechnet und gegenübergestellt. Die Druckverluste gehen direkt proportional in den Strombedarf ein, d. h., ein dreifacher Gesamtdruckverlust bedeutet einen dreimal so hohen Strombedarf.

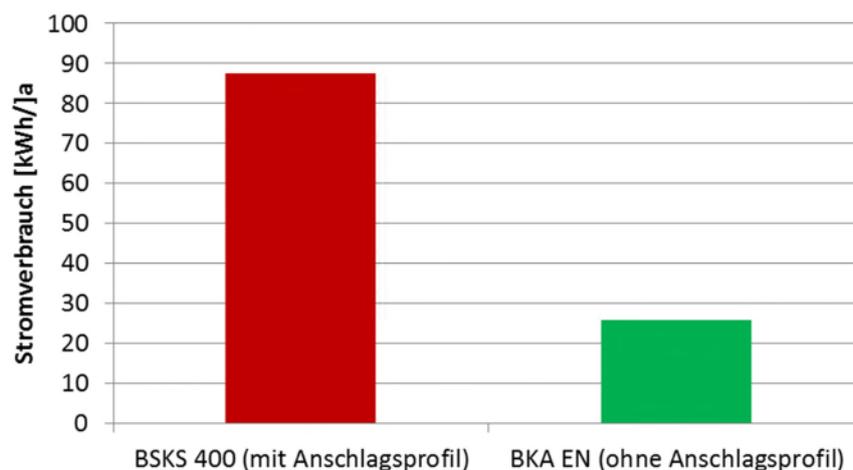


Abbildung 56: Gegenüberstellung Jahresstromverbrauch Brandschutzklappen, Angaben für ein Stück

Ausgeführt wurde eine Brandschutzklappe ohne Anschlagprofil mit niedrigeren Druckverlusten.

4.3.4.9 Optimierung der WC-Lüftungsanlage

Die Lüftungsanlage der WC-Gruppen (A09) wurde in der ursprünglichen Planung über ein Zeitprogramm gesteuert. Im Laufe der Ausführungsplanung wurde auf ein bedarfsgerechtes Konzept umgestellt, wobei die ohnehin vorhandenen Bewegungsmelder in den WC-Gruppen in die Steuerung eingebunden wurden. Die Bewegungsmelder steuern direkt das Lüftungsgerät an. In der normalen Betriebszeit (z.B. zwischen 7 und 19 Uhr) wird bei Betreten der Betriebsvolumenstrom aktiviert, nach Verlassen inkl. Nachlaufzeit (max. 10 Minuten) ist eine Grundlüftung (z.B. 30-40%) aktiv. Außerhalb der normalen Betriebszeit (z.B. 19 bis 7 Uhr)

wird die Lüftungsanlage auf ein Minimum heruntergefahren, nur bei der Erkennung von Anwesenheit wird die Anlage auch außerhalb der normalen Betriebszeit aktiviert. Die WC-Gruppen werden zusätzlich am Beginn der Betriebszeit (z.B. von 7 bis 8 Uhr) mit Luft gespült. Dieses System könnte mit variablen statt konstanten Volumenstromreglern pro Geschos optimiert werden, da so nur ein Geschos gelüftet wird, wenn eine Person den Raum betritt.

4.3.4.10 Luftdichtheit Luftleitungen

Am 23.10.2013 wurde von der TU Wien Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz die Luftdichtheit des Luftleitungssystems inkl. aller Einbauten wie Volumenstromregler, Brandschutzklappen usw. nach ÖNORM EN 12237 [ONO03] gemessen. Um die Dichtheit der Anlage beurteilen zu können, wurden 50 und 200 Pa Unterdruck und 100 und 400 Pa Überdruck aufgebracht und die zugehörige Luftleckrate gemessen. Planungsziel für die Luftdichtheit der Luftleitungen ohne Einbauten war die Klasse C.

Tabelle 21: Luftdichtheitsklassen von A (schlechteste) bis D (beste) gemäß ÖNORM EN 12237 [ONO03]

Luftdichtheits- klasse	Grenzwert des statischen Drucks (p_s) Pa		Grenzwert der Luftleckrate (f_{max}) $m^3 \times s^{-1} m^{-2}$
	Positiv	Negativ	
A	500	500	$0,027 \times p_t^{0,65} \times 10^{-3}$
B	1000	750	$0,009 \times p_t^{0,65} \times 10^{-3}$
C	2000	750	$0,003 \times p_t^{0,65} \times 10^{-3}$
D ^a	2000	750	$0,001 \times p_t^{0,65} \times 10^{-3}$

^a Luftleitungssystem für besondere Anwendungen

Diese Messung wurde mittels dem Gerät Panda Light durchgeführt:



Abbildung 57: Messinstrument Panda Light für die Luftdichtheitsmessung der Luftleitungen [TSI14]

Das gesamte Zuluftkanalsystem im 7.OG weist eine Fläche von 141,41 m² auf. Für dieses Kanalsystem wurden folgende Werte inkl. aller Einbauten gemessen:

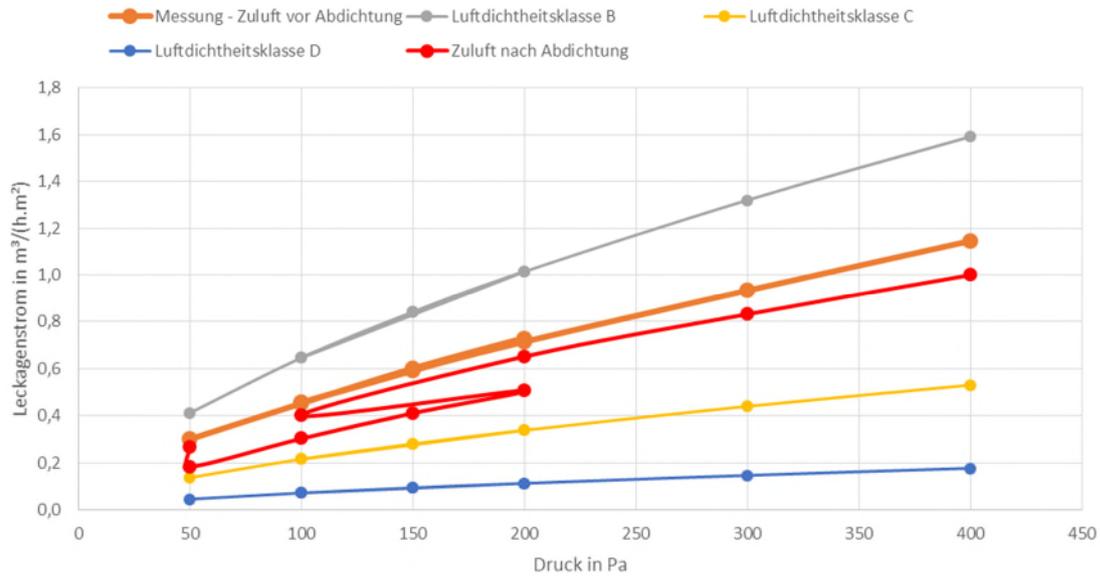


Abbildung 58: Messung Zuluftkanal 7. OG vor und nach Abdichtung im Über- und Unterdruck

In Abbildung 58 ist zu erkennen, dass die Luftdichtheit der Luftleitung zwischen der Luftdichtheitsklasse B und C liegt. Nach der Abdichtung konnten noch erhebliche Verbesserungen erzielt werden und die Messergebnisse liegen nahe bei Klasse C. Es ist zu erwarten, dass das Luftleitungssystem ohne Einbauten bei Klasse C liegt.

Das gesamte Abluftkanalsystem im 7.OG weist eine Fläche von 63,49 m² auf. Für dieses Kanalsystem wurden folgende Werte inkl. aller Einbauten gemessen:

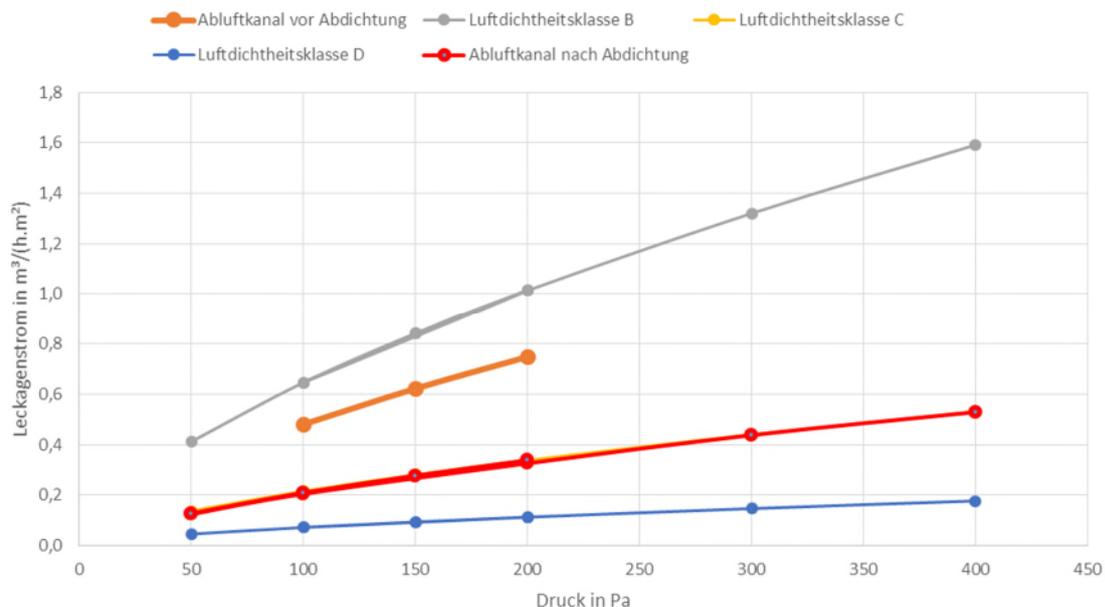


Abbildung 59: Messung Abluftkanal 7. OG vor und nach Abdichtung im Über- und Unterdruck

In Abbildung 59 ist zu erkennen, dass die Luftdichtheit der Luftleitung inkl. der Einbauten nach zusätzlichen Abdichtungsmaßnahmen die Luftdichtheitsklasse C erreicht.

Exkurs: energetisches Einsparpotenzial Lüftungsanlage

Auf Basis der Auswertungen in Kapitel 4.3.4.5 wurden für das Plus-Energie-Bürogebäude folgende Ausführungsvarianten untersucht:

- Variante 1: Standard-Büro-Lüftungsanlage, zeitgesteuert, keine bedarfsgerechte Steuerung, Einzelrotor, $SFP^8 = 0,8 \text{ Wh/m}^3$
- Variante 2: hocheffiziente Büro-Lüftungsanlage mit Doppel-Rotationswärmetauscher, $SFP^9 < 0,45 \text{ Wh/m}^3$, raumweise bedarfsgerechter Steuerung über Bewegungsmelder und CO_2 -Fühler

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme. Der Endenergiebedarf für die Kühlung ist in Variante 1 niedriger als in Variante 2, da durch die zeitgesteuerte Regelung der Lüftung es in Variante 1 zu einem höheren Volumenstrom als in Variante 2 kommt. In der Übergangszeit kann dadurch in Variante 1 mit der zusätzlichen Kühlung später begonnen werden.

Tabelle 22: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Lüftungsanlage – Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Variante	Endenergiebedarf			Einsparung im Vergleich zu Variante 1		
	Heizung	Kühlung	Lüftung	Heizung	Kühlung	Lüftung
	kWh/a			kWh/a		
Variante 1	81.014	11.486	58.520 ¹	0	0	0
Variante 2 (bedarfsgerechte hocheffiziente Büro-Lüftungsanlage mit Doppelrotor)	42.456	17.495	7.741	38.558	-6.009	50.779

¹ Wert aus Hochrechnung für Standard Bürobau (Betrieb 12 Stunden pro Tag, konstanter Volumenstrom (Betriebsvolumenstrom): A.05=10.560 m³/h, A.06=9.060 m³/h, A.09=3.672 m³/h)

⁸ SFP: specific fan power, deutsch: spezifische Ventilatorleistung, entspricht Elektroeffizienz P_{el} gemäß Passivhaus Institut

⁹ SFP: specific fan power, deutsch: spezifische Ventilatorleistung, entspricht Elektroeffizienz P_{el} gemäß Passivhaus Institut

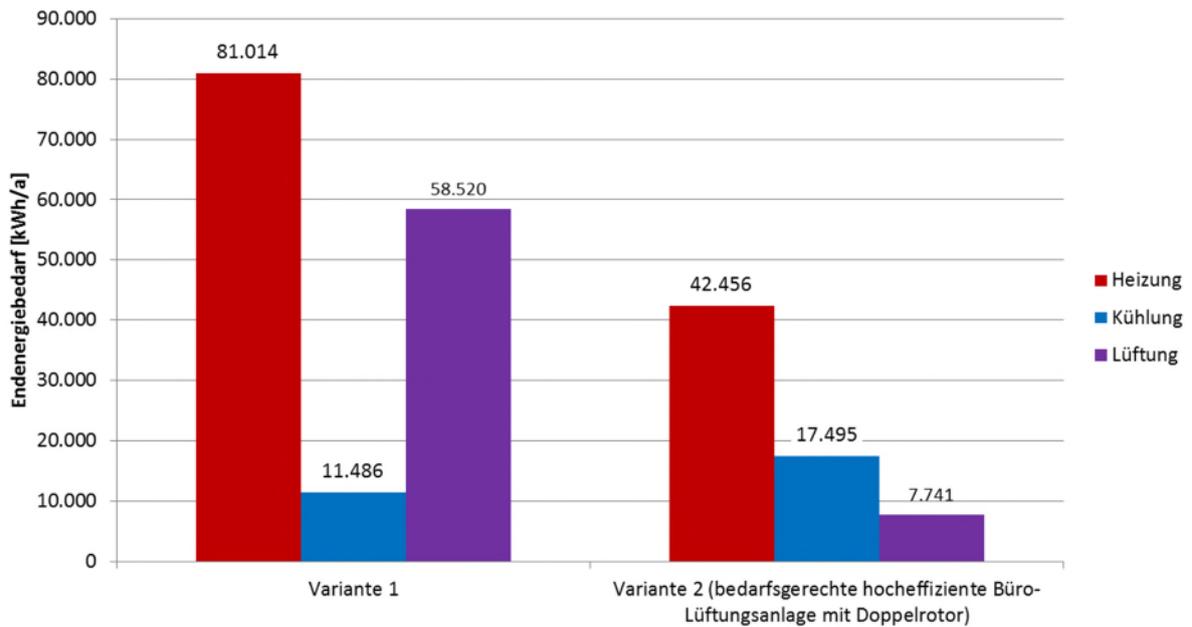


Abbildung 60: Grafische Gegenüberstellung Varianten Lüftungsanlage – Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Primärenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme:

Tabelle 23: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Lüftungsanlage – Primärenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Variante	Primärenergiebedarf			Einsparung im Vergleich zu Variante 1		
	Heizung	Kühlung	Lüftung	Heizung	Kühlung	Lüftung
	kWh/a			kWh/a		
Variante 1	36.317	30.093	153.323	0	0	0
Variante 2 (bedarfsgerechte hocheffiziente Büro-Lüftungsanlage mit Doppelrotor)	22.386	45.836	20.282	13.931	-15.742	133.041

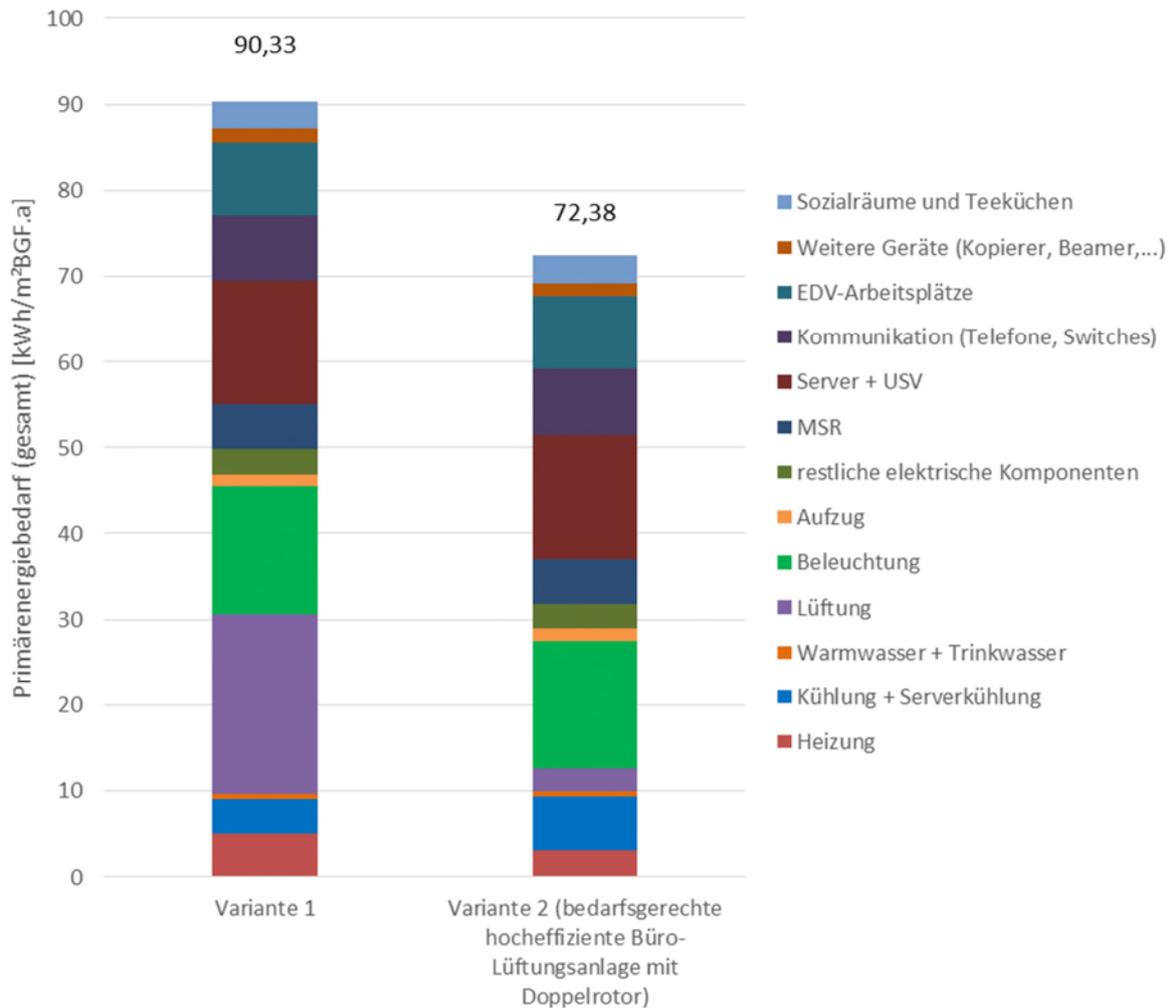


Abbildung 61: Analyse des Einsparpotenzials der Lüftungsanlage am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für die Bürogeschoße

Im Zuge der Bewertung des Einsparpotenzials wurde ein Gebäudemodell (dynamische Simulation) zur Optimierung, Analyse der Performance und zur Durchführung der Risikobeurteilung erstellt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 3 und 4.3.4.5 (Schwerpunkt Lüftungsanlagen) dargestellt.

Exkurs: wirtschaftliches Einsparpotenzial Lüftungsanlage

Die Kosten für die Lüftungsanlage stellen sich wie folgt laut Angebot des Bestbieters dar:

Tabelle 24: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Lüftungsanlage – Kosten bezogen auf die Maßnahme

Variante	Gesamtkosten	Mehrkosten im Vergleich zu Variante 1
	Euro (exkl. USt)	Euro (exkl. USt)
Variante 1	400.813	0
Variante 2 (bedarfsgerechte hocheffiziente Büro-Lüftungsanlage mit Doppelrotor)	711.142	310.329

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten wird die Annuitätenmethode angewandt, welche die Gesamtkosten über die Lebensdauer als jährliche Kosten darstellt. Die Randbedingungen dazu sind in Kapitel 2.8.3 dargestellt.

Lebensdauer der Lüftungsanlage gemäß [NDK06]: 10 – 20 Jahre, gewählt 20 Jahre

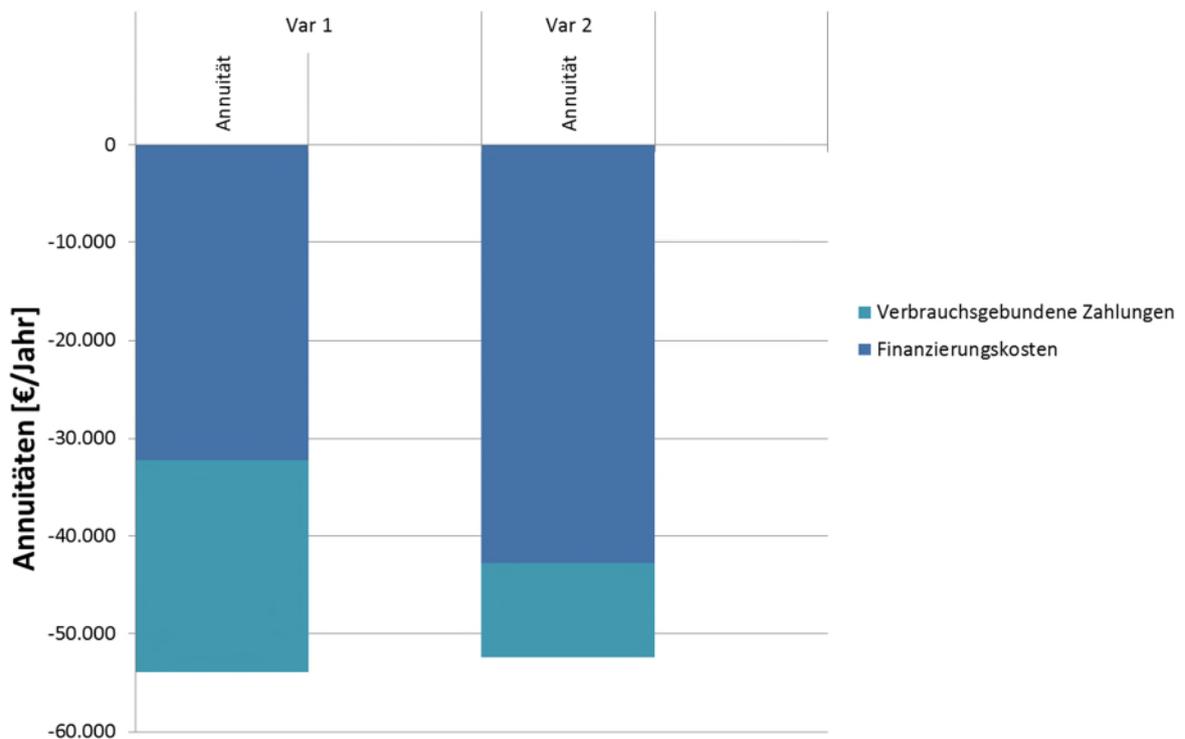


Abbildung 62: Grafische Gegenüberstellung der Lüftungsanlage Variante 1 (Standard) und Variante 2 (bedarfsgerechte hocheffiziente Büro-Lüftungsanlage mit Doppelrotor) – Annuitätenvergleich bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Das wirtschaftliche Einsparpotenzial bei der Gesamtannuität beträgt 1.514 Euro/a.

Aufgrund der dargestellten energetischen und wirtschaftlichen Betrachtungen wurde die Bürolüftungsanlage im Plus-Energie-Bürogebäude als Variante 2 ausgeführt.

4.3.5 Beleuchtung

4.3.5.1 Beleuchtungsenergiebedarf, Lichtausbeute und Sicherheitsbeleuchtung

Aufgabe der Lichtplanung war es, den Energieverbrauch für die Beleuchtung auf ein Minimum zu reduzieren. Es wurde ein Beleuchtungsenergiebedarf¹⁰ von 4,6 kWh/m²a mit LED-Deckenleuchten in den Bürobereichen und LED-Downlights im Gangbereich erreicht.

Das grundsätzliche Beleuchtungskonzept aus der Entwurfsphase mit Stehleuchten als Arbeitsplatzbeleuchtung wurde in der Ausschreibungsphase von der TU Wien aus Gründen der Diebstahlsicherheit abgelehnt und daher nicht weiter verfolgt.

Die künstliche Beleuchtung der Büroräume wurde mit LED-Deckenleuchten der Marke Zumtobel LED RAY mit 110 lm/W ausgeführt, siehe Abbildung 63.



Abbildung 63: LED-Deckenleuchten mit Bewegungsmelder am Akustiksegel im Plus-Energie-Bürogebäude (Foto: Schöberl & Pöll GmbH)

Bei Betreten des Büroraums wird über einen Anwesenheitssensor das Licht, abhängig vom Lichtniveau im Raum eingeschaltet. Der Lichtsensor misst die Lichtintensität des natürlichen Lichtanteils und regelt den Kunstlichtanteil entsprechend des jeweils vorhandenen Tageslichtanteils nach. Bei ausreichendem Tageslicht schaltet die Beleuchtung nach Ablauf einer fest eingestellten Ausschaltverzögerungszeit ab. Bei abnehmendem Tageslicht muss der/die

¹⁰ Der Wert wurde mit der Berücksichtigung der realisierten Bedarfssteuerung, realistischen Belegungszahlen und Anwesenheitswahrscheinlichkeit berechnet. Eine vereinfachte LENI-Berechnung (Lighting Energy Numeric Indicator) ergab einen Wert von 2,05 kWh/m².a.

NutzerIn die Beleuchtung manuell aktivieren. Wird im Raum keine Präsenz erkannt, schaltet sich die Beleuchtung mit geringer Nachlaufzeit aus.

Die Gang- und Treppenhausbereiche werden mit LED-Einbau-Downlights beleuchtet, wobei die Beleuchtung mittels Bewegungsmelder gesteuert wird. Im Gang werden die Bewegungsmelder in fünf Beleuchtungsbereiche unterschieden, was verhindert, dass bei Betreten des Ganges das ganze Geschoß beleuchtet wird. So werden nur jene Gangbereiche beleuchtet, die auch genutzt werden.

Als Leuchtmittel kamen in der Planungsphase drei Arten infrage:

- 3-Band-Leuchtstofflampe
- Kompaktleuchtstofflampe
- LED (Leuchtdioden, englisch: light-emitting-diode)

LED-Leuchtmittel haben hinsichtlich Lichtausbeute (Lumen/Watt) im letzten Jahr (Stand 2014) deutlich zugelegt und andere Leuchtmittel überholt. Im Plus-Energie-Bürogebäude (Büro, Gang, Seminar- und Besprechungsräume usw.) wurden aus diesem Grund ausschließlich LEDs eingesetzt. Die eingesetzten Leuchten sind hinsichtlich der Lichtausbeute die derzeit (Stand 2014) besten am Markt erhältlichen Produkte. Konstruktionsbedingt sind bei LED-Downlights mit niedrigen Leistungsaufnahmen keine höheren Lichtausbeuten als 72 lm/W erreichbar.

- LED-Downlights (14 W): 72 lm/W
- LED-Deckenleuchten (LED RAY, 24 W): 110 lm/W

Der hohe Verbrauch der Sicherheits- und Fluchtbeleuchtung wurde wie folgt reduziert. Die Fluchtweg-, Hinweisschilder- und Sicherheitsbeleuchtung ist gekoppelt an die Brandmeldeanlage und schaltet sich nur im Bedarf ein. Zusätzlich schaltet sich die Sicherheitsbeleuchtung bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung automatisch ein.

4.3.5.2 Tageslichtnutzung und Tageslichtquotient

Zur Erhöhung der Tageslichtnutzung können die Lamellen des außenliegenden Sonnenschutzes im oberen Drittel horizontal gestellt werden, siehe Abbildung 64. Die Horizontalstellung der oberen Lamellen wird sehr kostengünstig durch eine einfache Änderung an der Seilführung ermöglicht. Eine Prallscheibe gewährleistet eine durchgehende Funktionstüchtigkeit des Sonnenschutzes auch bei hohen Windgeschwindigkeiten des 55 m hohen Gebäudes.



Abbildung 64: Raffstore, unten geschlossen, oben horizontale Stellung (Foto: Schöberl & Pöll GmbH)

Die Überprüfung der Tageslichtsituation wurde unter folgenden Randbedingungen durchgeführt:

Fassadenaufbau:	Prallscheibe 172mm belüfteter SZR mit Sonnen/Blendschutz 144 mm Fensternische 3-Scheiben Isolierglas (U-Wert ca. $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$)
Glasaufbau:	Prallscheibe - VSG 2x8mm Fenster - VSG 2x4 mm + Low-E 18mm Ar 4mm Float 18 mm Ar Low-E + ESG 8mm Belichtungsfläche ca. $1,29 \text{ m}^2$
Beschattung	Sonnen- und Blendschutz als ein System hinter der Prallscheibe
Regelschnitt:	Raumhöhehöhe max.3780 mm Unterzüge 370 mm Parapet 1000mm Höhe Glaslichte ca. 1533 mm
Raumauswahl	47% der Büros sind einachsrig (1 Fenster) 45% der Büros sind zweiachsrig (2 Fenster)

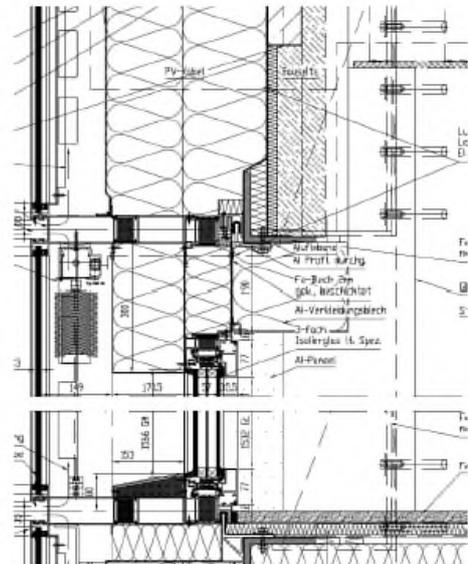


Abbildung 65: Randbedingungen zur Berechnung der Tageslichtsituation (Bildquelle: Metal Design Engineering GmbH)

Für die Berechnung wurden folgende Räume ausgewählt (Ausrichtung Norden):

- Raum 1: 3. OG Achse 6-7-8 (6 m Raumtiefe, 5 m Raumbreite)
- Raum 2: 6. OG Achse 6-7 (8 m Raumtiefe, 2 m Raumbreite)

Im Folgenden werden die Ergebnisse für drei Szenarien dargestellt.

Fenster ohne Sonnenschutz

In jenen Zeiten, wo kein Sonnenschutz notwendig ist, beträgt der Tageslichtquotient TQ beim 2-achsigen Büro etwas mehr als 2 % und beim 1-achsigen Büro 2 %. Die TQs beziehen sich auf 0,75 m Tischhöhe und in 2 m Raumtiefe. Die mittleren TQs sind entsprechend dem Fassadenaufbau, den Raumgeometrien sowie der Größe und Lage der Glasfläche erwartungsgemäß niedrig. Das größere Büro erreicht einen mittleren Tageslichtquotienten TQ_m von 1,31 %, der kleinere und tiefere Raum einen TQ_m von 0,75 %.

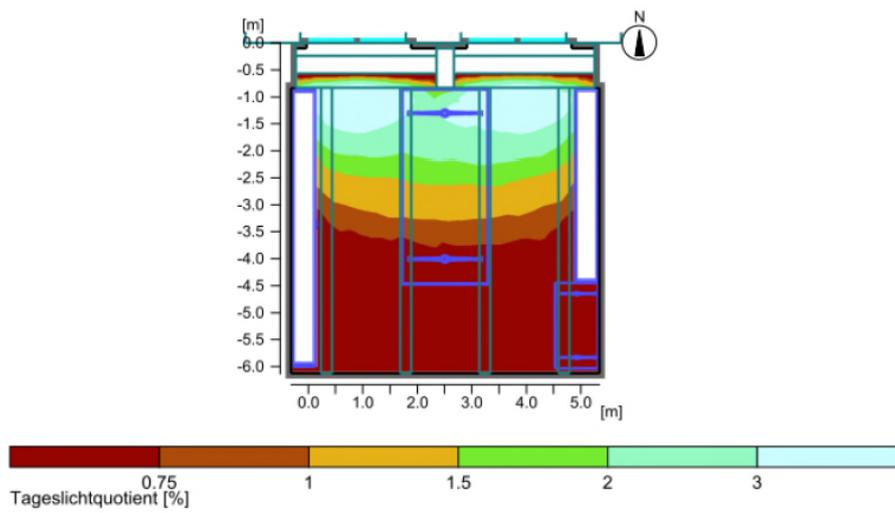


Abbildung 66: Tageslichtquotient Raum 1 – ohne Sonnenschutz (Quelle: Ingenieurbüro J. Gerstmann)

Fenster mit Sonnenschutz ohne Tageslichtnutzung

Der Sonnenschutz wird bei einer Gesamtbestrahlungsstärke von 200 W/m^2 aktiviert.

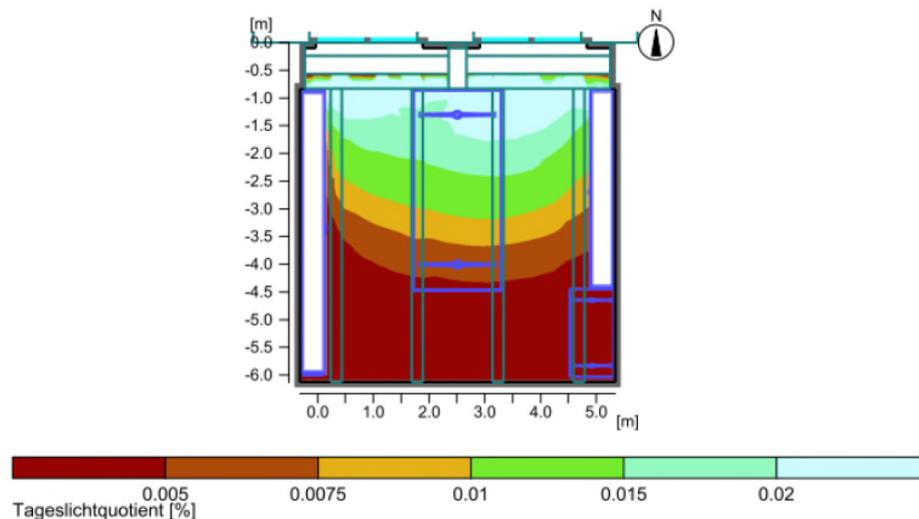


Abbildung 67: Tageslichtquotient Raum 1 – Sonnenschutz geschlossen ohne Tageslichtnutzung (Quelle: Ingenieurbüro J. Gerstmann)

Fenster mit Sonnenschutz und mit Tageslichtnutzung

Die ausgeführte Variante ermöglicht eine bessere Tageslichtnutzung als der komplett geschlossene Sonnenschutz. Der TQ auf der Tischfläche beträgt 0,4 %. Dieser Wert ist um ein 20-faches höher als bei einem geschlossenen Sonnenschutz. Das System schafft gegenüber einer Vollverschattung eine bessere Wahrnehmung des Raumes sowie einen besseren Außenbezug vor allem gegen den Himmel. Die Arbeitsplätze werden direkt am Fenster angeordnet, um einen hohen Tageslichtquotienten auf dem Tisch zu gewährleisten.

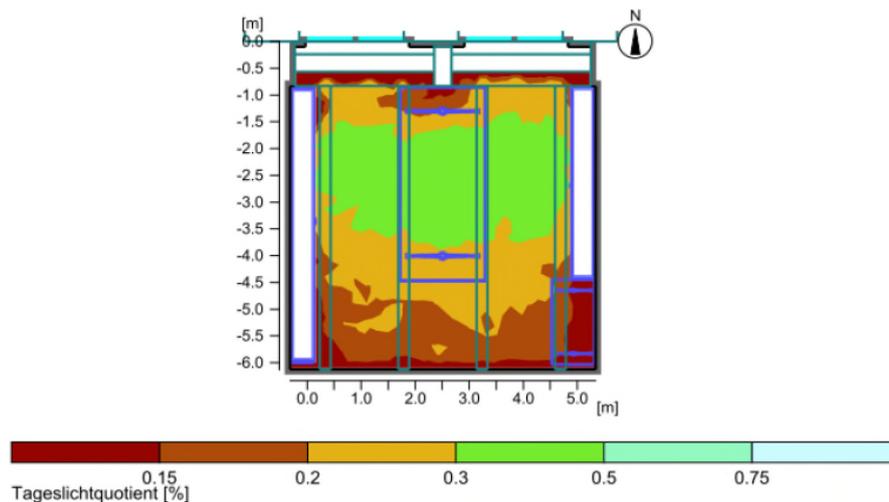


Abbildung 68: Tageslichtquotient Raum 1 – Sonnenschutz geschlossen mit Tageslichtnutzung (Quelle: Ingenieurbüro J. Gerstmann)

Exkurs: energetisches Einsparpotenzial Beleuchtung

Energieeffiziente Beleuchtungssysteme stellen vor allem in Bürogebäuden ein großes Einsparpotenzial dar. Werte für die installierte Leistung bei derzeitigen Standard-Bürogebäuden (Stand 2014) liegen bei ca. 10 bis 15 W/m². Für Plus-Energie-Gebäude muss dieser Wert deutlich unterschritten werden.

Für das Plus-Energie-Bürogebäude wurden folgende Ausführungsvarianten untersucht:

- Variante 1: Beleuchtung mit Standard-Spots und Leuchtstoffröhren (12 W/m² im Büro, Gang- und Sanitärbereich)
- Variante 2: Beleuchtung mit LED-Spots und LED-Deckenleuchten mit 88 lm/W (7,6 W/m² im Bürobereich, 7 W/m² im Sanitärbereich, 6 W/m² im Gangbereich), bedarfsgesteuert
- Variante 3: Beleuchtung mit LED-Spots und LED-Deckenleuchten mit 110 lm/W (3,7 W/m² im Bürobereich, 7 W/m² im Sanitärbereich, 6 W/m² im Gangbereich), bedarfsgesteuert

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme:

Tabelle 25: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Beleuchtung – Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Variante	Endenergiebedarf			Einsparung im Vergleich zu Variante 1		
	Heizung	Kühlung	Beleuchtung	Heizung	Kühlung	Beleuchtung
	kWh/a			kWh/a		
Variante 1	19.126	28.785	107.002	0	0	0
Variante 2 (88 lm/W)	30.710	18.976	56.133	-11.584	9.809	50.869
Variante 3 (110 lm/W)	54.182	16.488	33.382	-35.056	12.297	73.620

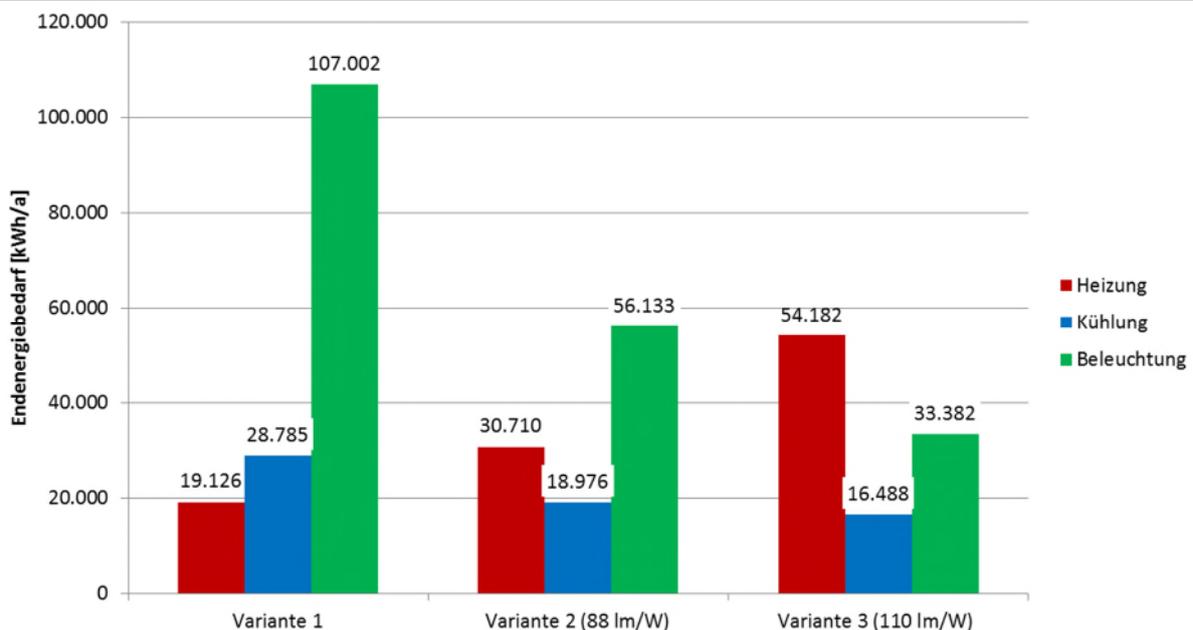


Abbildung 69: Grafische Gegenüberstellung Varianten Beleuchtung – Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Primärenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme:

Tabelle 26: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Beleuchtung – Primärenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Variante	Primärenergiebedarf			Einsparung im Vergleich zu Variante 1		
	Heizung	Kühlung	Beleuchtung	Heizung	Kühlung	Beleuchtung
	kWh/a			kWh/a		
Variante 1	9.973	75.417	280.345	0	0	0
Variante 2 (88 lm/W)	16.012	49.716	147.070	-6.039	25.701	133.275
Variante 3 (110 lm/W)	28.251	43.200	87.461	-18.278	32.217	192.884

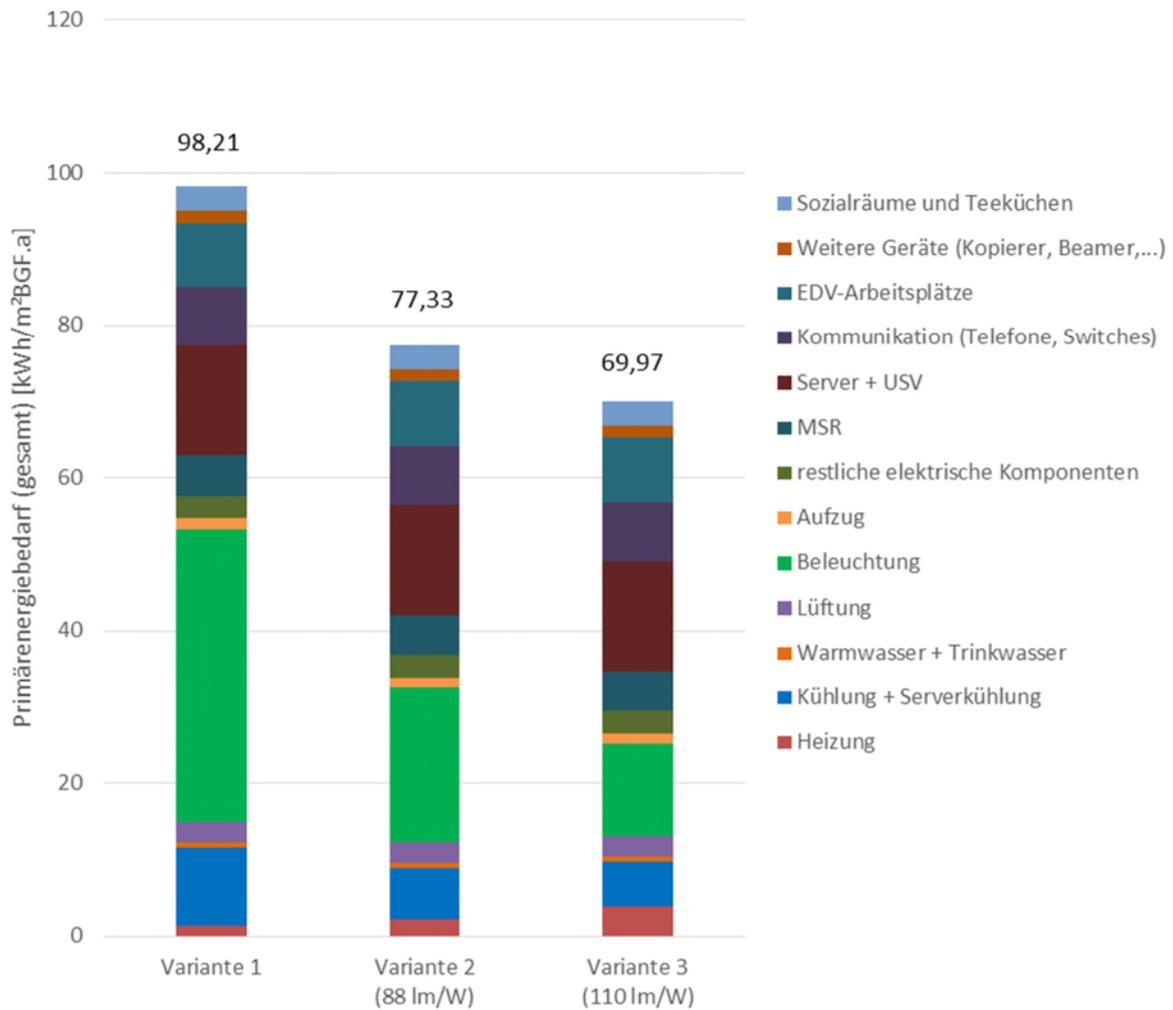


Abbildung 70: Analyse des Einsparpotenzials der Beleuchtung am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für die Bürogeschoße

Im Zuge der Bewertung des Einsparpotenzials wurde ein Gebäudemodell (dynamische Simulation) zur Optimierung, Analyse der Performance und zur Durchführung der Risikobeurteilung erstellt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 3 zusammengefasst.

Exkurs: wirtschaftliches Einsparpotenzial Beleuchtung

Die Kosten für die Beleuchtung stellen sich wie folgt laut Angebot des Bestbieters dar:

Tabelle 27: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Beleuchtung – Kosten bezogen auf die Maßnahme

Variante	Gesamtkosten	Mehrkosten im Vergleich zu Variante 1
	Euro (exkl. USt)	Euro (exkl. USt)
Variante 1	212.025	0
Variante 2 (88 lm/W)	482.449	270.424
Variante 3 (110 lm/W)	518.634	306.609

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten wird die Annuitätenmethode angewandt, welche die Gesamtkosten über die Lebensdauer als jährliche Kosten darstellt. Die Randbedingungen dazu sind in Kapitel 2.8.3 dargestellt.

Lebensdauer der Beleuchtung gemäß [NDK06]: 10 – 20 Jahre, gewählt 20 Jahre. Leuchtstoffröhren in Variante 1 müssen laut TU Wien, Gebäude und Technik, ca. alle 3 Jahre getauscht werden. Dies bedeutet zusätzliche Wartungskosten in Variante 1 (Betriebsgebundenen Zahlungen). Nach ca. 10 Jahren müssten die elektronischen Vorschaltgeräte bei Variante 1 getauscht werden. Da es jedoch zur Lebensdauer von elektronischen Vorschaltgeräten keine belastbaren Zahlen gibt, wird dies in der Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht berücksichtigt.

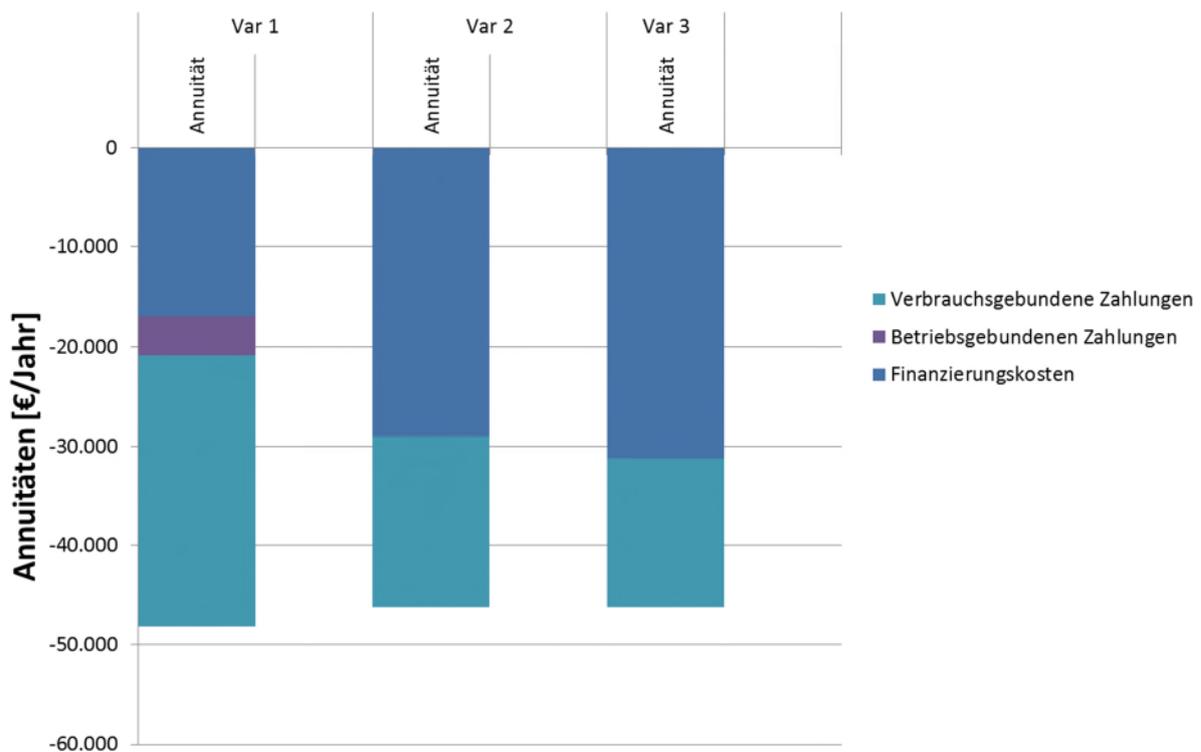


Abbildung 71: Grafische Gegenüberstellung der Beleuchtung Variante 1 (Standard), Variante 2 (88 lm/W) und Variante 3 (110 lm/W) – Annuitätenvergleich bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Das wirtschaftliche Einsparpotenzial bei der Gesamtannuität beträgt 1.873 Euro/a.

Aufgrund der dargestellten energetischen Einsparungen wurde Variante 3 im Gebäude zur Erreichung des Plus-Energie-Standards ausgeführt. Weiters ließen die Angaben der Hersteller¹¹ für die LED-Deckenleuchten vermuten, dass die Leuchten in Variante 3 eine längere

¹¹ Die LED-Leuchte in Variante 2 weist eine Nutzungsdauer von 50.000 Stunden (L70) auf. Die LED-Leuchte in Variante 3 weist eine Nutzungsdauer von 50.000 Stunden (L80) auf. L70 bzw. L80 bedeutet, dass nach dieser Zeit die Leistung der Leuchte (Lichtstrom) auf 70 bzw. 80 % gesunken ist.

Lebensdauer aufweisen als jene in Variante 2, was nicht in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt wurde.

4.3.6 Aufzug

Im Gebäude gibt es folgende Aufzüge mit jeweils ca. 50 m Förderhöhe:

- Aufzug 1 – 800 kg (Personen)
- Aufzug 2 – 1.275 kg (Personen und Feuerwehraufzug)
- Aufzug 3 – 800 kg (Personen und Feuerwehraufzug)

Für das Gebäude wurden energieeffiziente Aufzüge eingebaut. Ziel war die Unterschreitung der Energiebedarfsbestklasse A (Definition laut VDI 4707 [VDI09]) für Fahrtbedarf und Stillstandsbedarf.

Bei den Werten für den Stillstandsbedarf, welche laut VDI 4707 unter 50 W liegen müssen, wurden nach Optimierungsmaßnahmen 38 bis 39 W erreicht. Der Fahrtbedarf liegt nach Optimierung mit 0,271 bis 0,303 mWh/kg/m ebenfalls unter den Anforderungen der VDI 4707.

Tabelle 28: Tabellarische Gegenüberstellung Aufzüge – Vergleich der Anforderung der VDI 4707 [VDI09] für Energieeffizienzklasse A mit ausgeführter Variante

Aufzug	Anforderung laut VDI 4707 (Klasse A)		Ausgeführte Variante	
	Fahrtbedarf	Stillstandsbedarf	Fahrtbedarf (inkl. Rückspeisung)	Stillstandsbedarf
Aufzug 800 kg	0,56 mWh/kg/m	50 W	0,303 mWh/kg/m	38 W
Aufzug 1.275 kg	0,56 mWh/kg/m	50 W	0,271 mWh/kg/m	39 W

Folgende übliche Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs wurden getroffen:

- Synchronmotor mit Permanentmagnet
- Frequenzgeregelte Antriebe
- Sparmodus für Kabinenbeleuchtung und Lüfter
- Standby-Modus der Anzeigeelemente
- hocheffiziente Kabinenbeleuchtung

Darüber hinaus konnte der Energiebedarf durch folgende Maßnahmen weiter reduziert werden:

- Gegengewichtsreduktion
- Rückgewinnung der Bremsenergie (siehe auch Kapitel 4.7).

Exkurs: energetisches Einsparpotenzial Aufzug

Energieeffiziente Aufzugssysteme sind nahezu Standard und alle großen Hersteller bieten einen Aufzug der Energieeffizienzklasse A und B lt. VDI 4707 an.

Für das Plus-Energie-Bürogebäude wurden folgende Ausführungsvarianten untersucht:

- Variante 1: Aufzug mit Energieeffizienzklasse B (Klasse B in Bereich Fahrtbedarf, Klasse A in Bereich Stillstandsbedarf)
- Variante 2: Aufzug mit Energieeffizienzklasse A und Gegengewichtsreduktion
- Variante 3: Aufzug mit Energieeffizienzklasse A und Bremsenergieerückgewinnung
- Variante 4: Aufzug mit Energieeffizienzklasse A, Bremsenergieerückgewinnung und Gegengewichtsreduktion

Tabelle 29: Tabellarische Gegenüberstellung Aufzüge - Gegengewicht

Aufzug	Gegengewicht Standard (50 %)	Gegengewicht reduziert (40 %)
	kg	kg
Aufzug 800 kg	1.100	1.020
Aufzug 1.275 kg	2.138	2.010

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Endenergiebedarf bezogen auf das Bauteil:

Tabelle 30: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Aufzug – Endenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude

Variante	Endenergiebedarf ¹	Einsparung im Vergleich zu Variante 1
	kWh/a	kWh/a
Variante 1	41.212	0
Variante 2 (Gewichtsreduktion)	33.126	8.086
Variante 3 (Rückgewinnung)	21.545	19.667
Variante 4 (Gewichtsreduktion + Rückgewinnung)	17.155	24.057

¹ Werte vom Hersteller berechnet

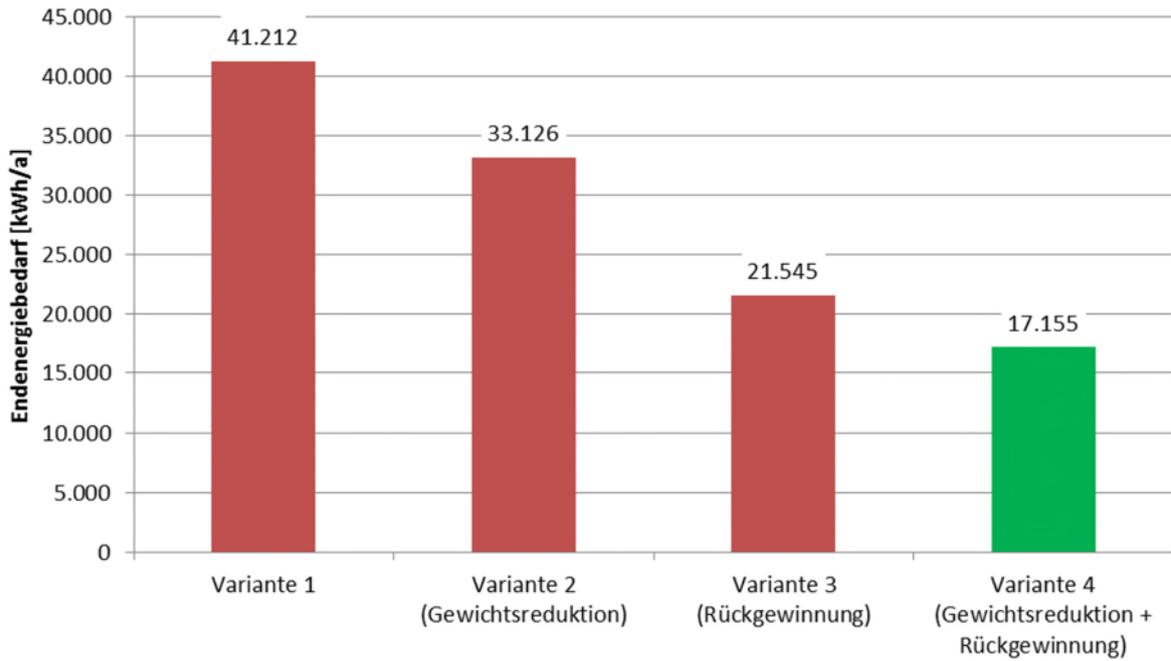


Abbildung 72: Grafische Gegenüberstellung Varianten Aufzug – Endenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Primärenergiebedarf bezogen auf das Bauteil:

Tabelle 31: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Aufzug – Primärenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude

Variante	Primärenergiebedarf	Einsparung im Vergleich zu Variante 1
	kWh/a	kWh/a
Variante 1	107.975	0
Variante 2 (Gewichtsreduktion)	86.790	21.185
Variante 3 (Rückgewinnung)	56.448	51.527
Variante 4 (Gewichtsreduktion + Rückgewinnung)	44.946	63.029

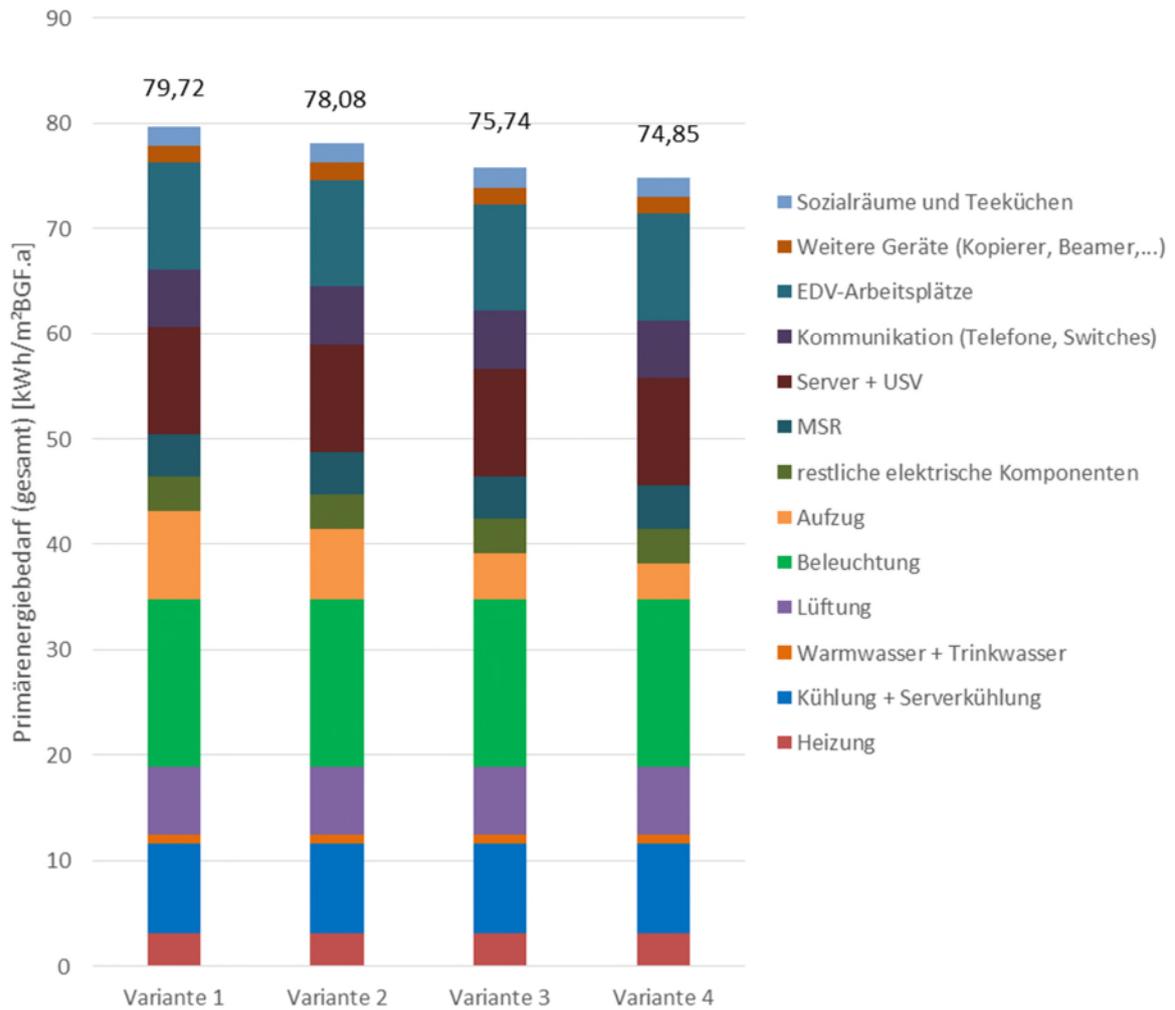


Abbildung 73: Analyse des Einsparpotenzials des Aufzugs am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für das gesamte Gebäude

Im Zuge der Bewertung des Einsparpotenzials wurde ein Gebäudemodell (dynamische Simulation) zur Optimierung, Analyse der Performance und zur Durchführung der Risikobeurteilung erstellt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 3 zusammengefasst.

Exkurs: wirtschaftliches Einsparpotenzial Aufzug

Die Kosten für den Aufzug stellen sich wie folgt laut Angebot des Bestbieters dar:

Tabelle 32: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Aufzug – Kosten bezogen auf den Bauteil

Variante	Gesamtkosten	Mehrkosten im Vergleich zu Variante 1
	Euro (exkl. USt)	Euro (exkl. USt)
Variante 1	236.912	0
Variante 2 (Gewichtsreduktion)	241.962	5.050
Variante 3 (Rückgewinnung)	247.030	10.118
Variante 4 (Gewichtsreduktion + Rückgewinnung)	252.080	15.168

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten wird die Annuitätenmethode angewandt, welche die Gesamtkosten über die Lebensdauer als jährliche Kosten darstellt. Die Randbedingungen dazu sind in Kapitel 2.8.3 dargestellt.

Lebensdauer des Aufzugs gemäß [NDK06]: 20 – 30 Jahre, gewählt 25 Jahre

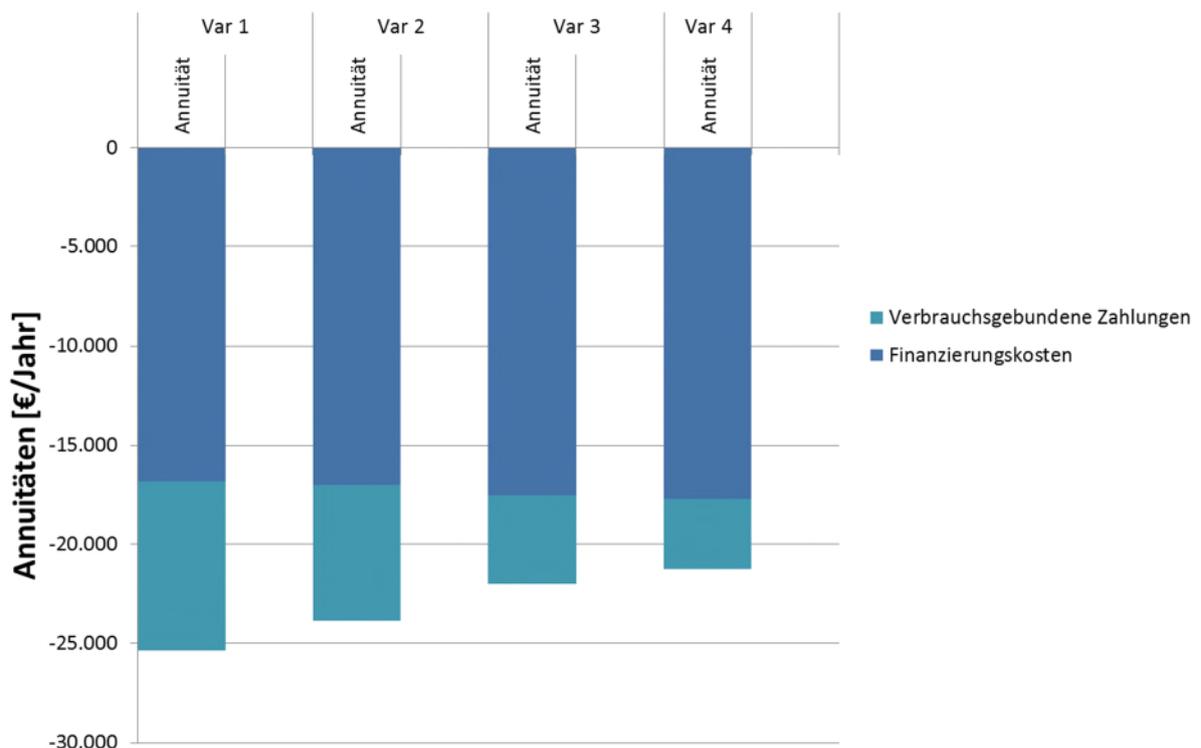


Abbildung 74: Grafische Gegenüberstellung des Aufzugs Variante 1 (Standard), Variante 2 (Gewichtsreduktion), Variante 3 (Rückgewinnung) und Variante 4 (Gewichtsreduktion + Rückgewinnung) – Annuitätenvergleich bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude

Das wirtschaftliche Einsparpotenzial bei der Gesamtannuität beträgt 4.102 Euro/a.

Aufgrund der dargestellten energetischen und wirtschaftlichen Betrachtungen wurde der Aufzug im Plus-Energie-Bürogebäude als Variante 4 (Klasse A, Rückgewinnung, Gewichtsreduktion) ausgeführt.

4.3.7 MSR

4.3.7.1 Planungsprozess und Parameterfestlegung

Die MSR-Planung hat insbesondere die Aufgabe, alle für den energieeffizienten Gebäudebetrieb erforderlichen Prozessparameter optimal festzulegen.

Es hat sich herausgestellt, dass eine eigenständige MSR-Planung sinnvoll ist, da durch die Haustechnikplanung, wie auch bei anderen Standard-Büro-Projekten, keine belastbare MSR-Planung durchgeführt wird.

Zentraler Punkt im Planungs- und Optimierungsprozess der MSR und Gebäudetechnik war es, die korrekten Prozessparameter zu finden. Dafür wurden im Vorfeld und in allen Planungsphasen dynamische Simulationen durchgeführt. Weiters wurde ein externes Review der MSR-Planung durchgeführt und Parameter, Prozesse und Abläufe gemeinsam mit dem PlanerInnenteam optimiert.

Für eine hohe Regelgüte bei den Komfortparametern und einen energieeffizienten Betrieb ist es notwendig, die bauphysikalischen und anlagentechnischen Qualitäten des Gebäudes zu berücksichtigen und adäquat zu nutzen und bei den Regelalgorithmen zu berücksichtigen. Standard-Werte für z.B. Heizkurven sind für Plus-Energie-Gebäude nicht geeignet.

4.3.7.2 Optimierung der Steuerungsgeräte

Um den Energieverbrauch der Steuerungsgeräte (Bus-Geräte) zu reduzieren, wurden folgende Grundsätze verfolgt:

- Auswahl von MSR-Geräten mit minimalem Eigenverbrauch
- Verwendung von MSR-Geräten, welche über die Busleitung mit Spannung versorgt werden.
- Auswahl von Bewegungsmelder (inkl. Lichtfühler) mit minimalem Eigenverbrauch

Folgende Komponenten werden vom zentralen Bus-System angesteuert:

- Heizung / Kühlung (Bauteilaktivierung, Steuerung über Raumbediengerät und Temperaturfühler)
- Lüftungsanlage (Steuerung über Raumbediengerät und Bewegungsmelder / CO₂-Sensor)
- Beleuchtung (alle Bereiche, Steuerung über Raumbediengerät und Bewegungsmelder mit integriertem Lichtfühler)
- Sonnenschutz (220 V Steuerung, Steuerung über Raumbediengerät und Sonnen- und Windwächter)

- Bewegungsmelder mit integriertem Lichtfühler
- Zähler für das Monitoring

Im Plus-Energie-Bürogebäude wird jeder Raum über die ecos500 Raumautomationsstation gesteuert. Sie ermöglicht die raumweise Raumtemperaturregelung, Lüftungssteuerung, Beleuchtungssteuerung und Jalousiesteuerung.

Bei der Überprüfung der Komponente wurde festgestellt, dass durch einen einfachen Eingriff bei Umgehung des Trafos und direkter Speisung mit 12-24 V statt mit 230 V eine extreme Reduktion der Leistungsaufnahme von 4,6 W auf 1,6 W möglich war.¹² Bei 130 Stück, die im Gebäude eingebaut sind, würde das eine Einsparung von 3.420 kWh pro Jahr ergeben.

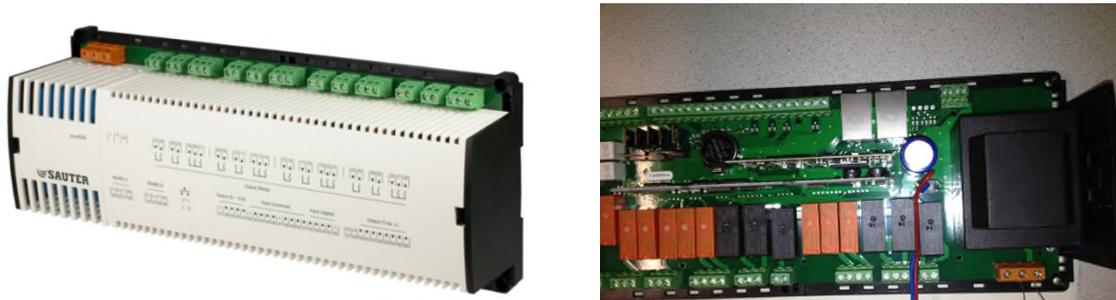


Abbildung 75: ecos500 Raumautomationsstation – Produktbild und modifizierte Variante (Quelle Produktbild: Sauter AG, Quelle Foto: Schöberl & Pöll GmbH)

Eine Modifizierung für das gegenständliche Projekt war aus Zeit- und Gewährleistungsgründen nicht mehr möglich. Nach intensivem Austausch mit dem Hersteller wurde großes Interesse an sparsamen MSR Komponenten gezeigt, ein energieeffizienter Nachfolger des ecos500 mit 24 V Anspeisung bei gleichen Anschaffungskosten ist bereits in Entwicklung und wird voraussichtlich 2014/2015 für zukünftige Büroprojekte auf den Markt kommen. Als zusätzliches Feature des neuen ecos ist angedacht, dass dieser gezielt einzelne Komponenten in den Standby versetzen bzw. wieder aktivieren kann.

4.3.7.3 24 V Netz

Im Plus-Energie-Bürogebäude der TU Wien gibt es ein 24 V Netz (AC) zur Versorgung von 24-V-Komponenten. Ziel von 24 V Netzen ist die Zentralisierung der notwendigen Netzteile zur gemeinsamen Versorgung der Komponenten. Ein Netzteil versorgt viele Komponenten, was die Effizienz des Netzteils steigert. Viele ineffiziente Standardnetzteile, welche üblicherweise in den Komponenten verbaut sind, können durch ein zentrales effizientes Netzteil ersetzt werden.

Diese Thematik wurde bereits in anderen Forschungsprojekten aufgegriffen. Das Projekt „LowEnergyHaustechnik“ [SCH14] zeigt anhand von vier Komponenten, wie eine Umstellung auf 24 V möglich ist und wie groß die Stromeinsparungen sind. Am Beispiel des in [SCH14]

¹² Bei der Leistungsaufnahmemessung war kein Relais aktiviert. Jedes zusätzliche Relais bedeutet für beide Varianten eine Leistungszunahme von 0,225 W pro aktiviertem Relais.

dokumentierten Umbaus einer Sonnenschutzsteuerung zeigt sich das große Einsparpotenzial.

Als wesentliche Energieverbrauchsquelle der Sonnenschutzsteuerung wurde der Transformator für die Generierung der Niederspannung identifiziert. Da die Versorgung mit 24 V DC erfolgen soll, wurde der vorhandene Transformator entfernt und durch eine Gleichrichterschaltung mit entsprechender Schutzschaltung ersetzt. Dadurch konnte die Standby-Leistung von 1,2 auf 0,1 W reduziert werden. [SCH14]

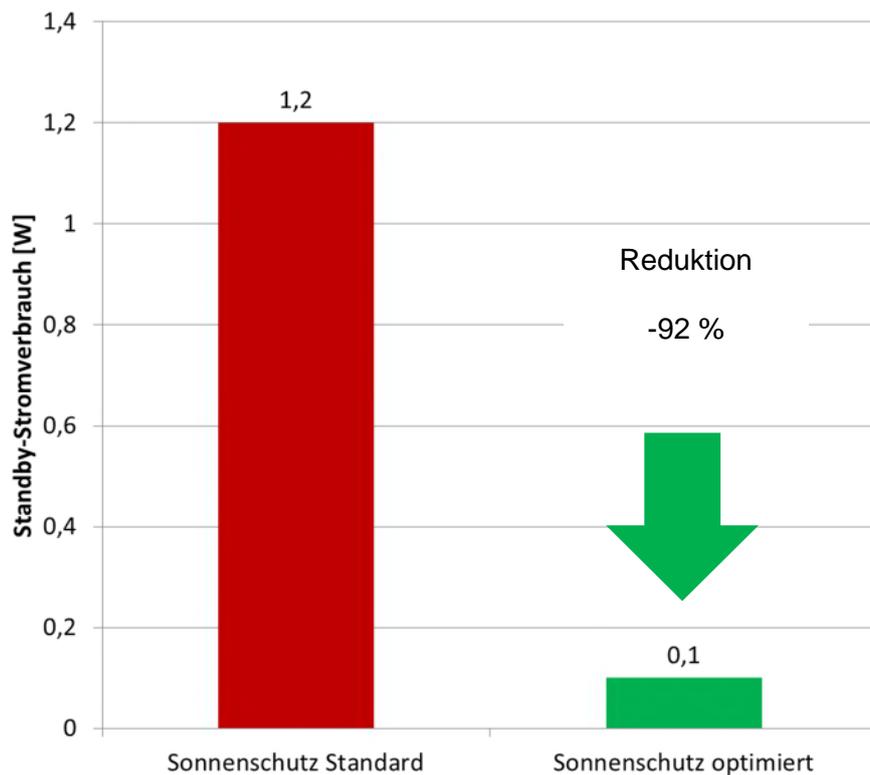


Abbildung 76: Gegenüberstellung der Standby-Verbräuche vor und nach Optimierung der Sonnenschutzsteuerung [SCH14]

4.3.7.4 Bewegungsmelder

Im gesamten Gebäude wurden 550 Bewegungsmelder mit Lichtsensor eingebaut. Der Lichtsensor ermöglicht die tageslichtabhängige Steuerung der Beleuchtung, siehe Kapitel 4.3.5.1.

Handelsübliche Bewegungsmelder weisen einen Standby-Verbrauch von 0,8 bis 2 W auf. Die Neuentwicklung eines hocheffizienten Bewegungsmelders mit minimalstem Standby-Verbrauch wurde im Rahmen dieses Projekts eingebaut.



Abbildung 77: Neuentwicklung: hocheffiziente Bewegungsmelder (Quelle: Robert Mudri, Machine Vision)

Eckdaten der neu entwickelten Bewegungsmelder:

24 V Version

- Erfassungsbereich 5 Meter / 90°
- Versorgungsspannung 5 V - 40 V
- Stromverbrauch < 500 A
- Leistung < 0,01 W

230 V Version

- Grunddaten wie 24V-Version
- Leistung < 0,05 W

Der neuentwickelte Bewegungsmelder ist im Projekt „LowEnergyHaustechnik“ [SCH14] dokumentiert.

Exkurs: energetisches Einsparpotenzial Bewegungsmelder

Bewegungsmelder werden in Bürogebäuden mittlerweile standardmäßig zur bedarfsgerechten Regelung der Beleuchtung eingesetzt.

Für das Plus-Energie-Bürogebäude wurden folgende Ausführungsvarianten untersucht:

- Variante 1: Bewegungsmelder mit 1,5 W Standby
- Variante 2: hochenergieeffizienter Bewegungsmelder mit 0,05 W Standby (24 V AC)

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Endenergiebedarf bezogen auf das Bauteil:

Tabelle 33: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Bewegungsmelder – Endenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude

Variante	Endenergiebedarf	Einsparung im Vergleich zu Variante 1
	kWh/a	kWh/a
Variante 1	7.227	0
Variante 2 (hocheffizient)	241	6.986

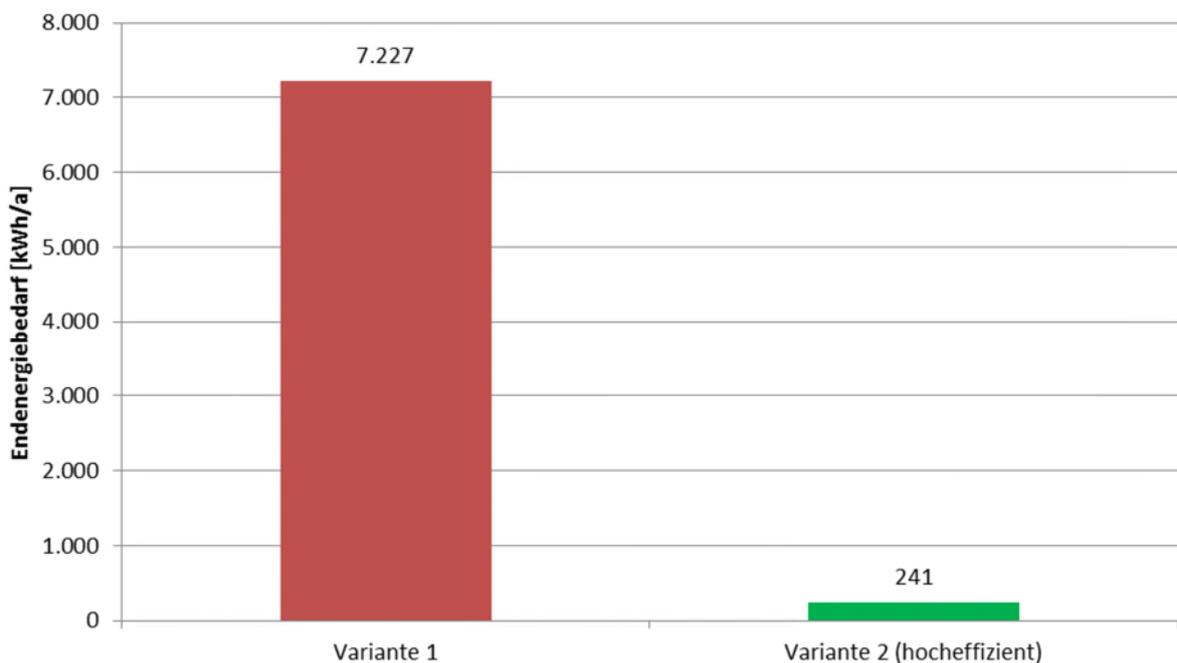


Abbildung 78: Grafische Gegenüberstellung Varianten Bewegungsmelder – Endenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Primärenergiebedarf bezogen auf den Bauteil:

Tabelle 34: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Bewegungsmelder – Primärenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude

Variante	Primärenergiebedarf	Einsparung im Vergleich zu Variante 1
	kWh/a	kWh/a
Variante 1	18.935	0
Variante 2 (hocheffizient)	631	18.304

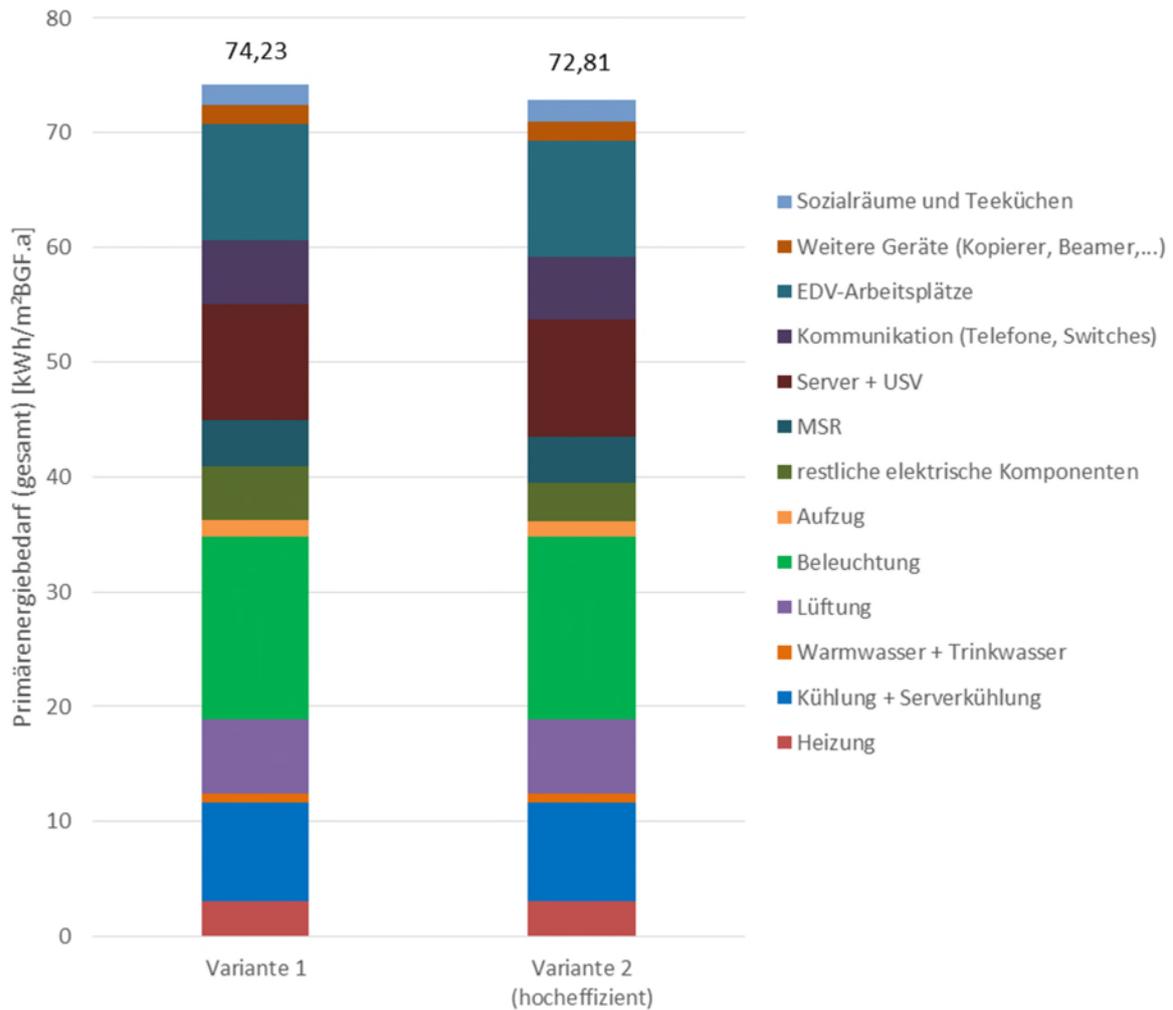


Abbildung 79: Analyse des Einsparpotenzials der Bewegungsmelder am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für das gesamte Gebäude

Im Zuge der Bewertung des Einsparpotenzials wurde ein Gebäudemodell (dynamische Simulation) zur Optimierung, Analyse der Performance und zur Durchführung der Risikobeurteilung erstellt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 3 zusammengefasst.

Exkurs: wirtschaftliches Einsparpotenzial Bewegungsmelder

Die Kosten für die Bewegungsmelder stellen sich wie folgt laut Angebot des Bestbieters dar:

Tabelle 35: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Bewegungsmelder – Kosten bezogen auf den Bauteil

Variante	Gesamtkosten	Mehrkosten im Vergleich zu Variante 1
	Euro (exkl. USt)	Euro (exkl. USt)
Variante 1	41.800	0
Variante 2 (hocheffizient)	63.250	21.450

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten wird die Annuitätenmethode angewandt, welche die Gesamtkosten über die Lebensdauer als jährliche Kosten darstellt. Die Randbedingungen dazu sind in Kapitel 2.8.3 dargestellt.

Lebensdauer der Bewegungsmelder gemäß [NDK06]: 10 – 20 Jahre, gewählt 15 Jahre

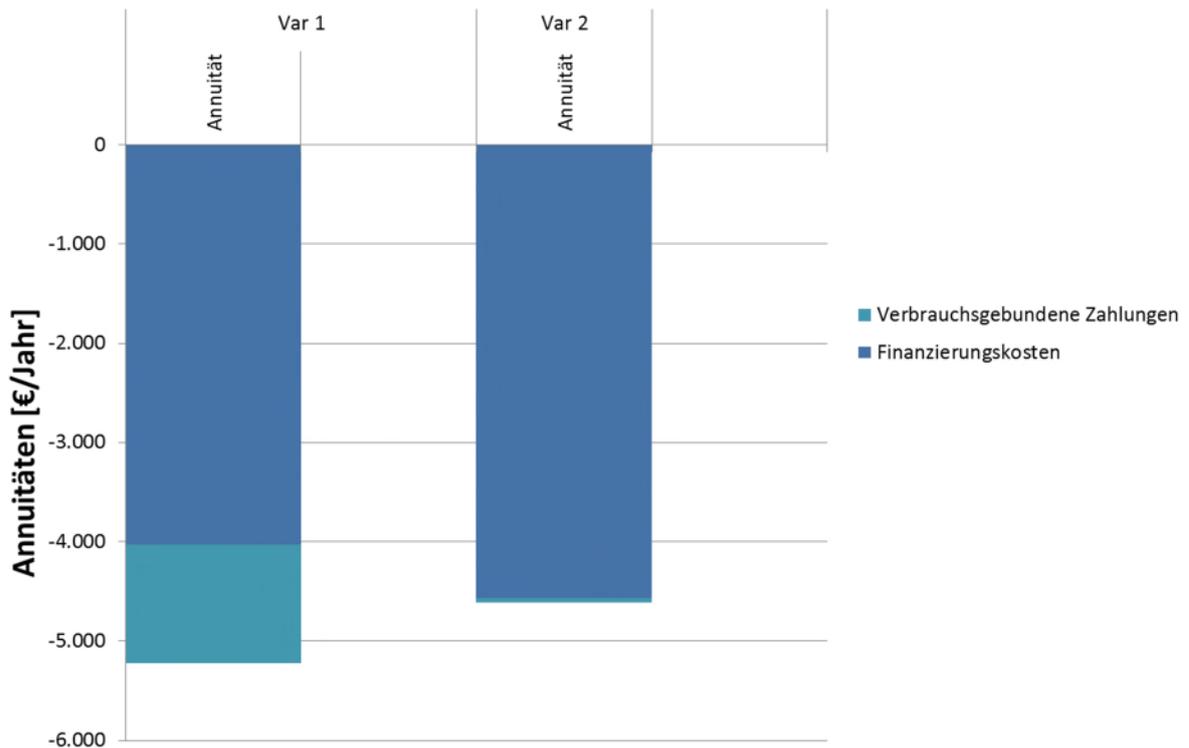


Abbildung 80: Grafische Gegenüberstellung der Bewegungsmelder Variante 1 (Standard), Variante 2 (hocheffizient) – Annuitätenvergleich bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude

Das wirtschaftliche Einsparpotenzial bei der Gesamtannuität beträgt 611 Euro/a.

Aufgrund der dargestellten energetischen und wirtschaftlichen Betrachtungen wurden die Bewegungsmelder im Plus-Energie-Bürogebäude als Variante 2 ausgeführt.

4.4 Nutzung

4.4.1 Server und USV

Im zentralen Serverraum des Gebäudes sind die Daten- und Simulationsserver für die Institute situiert. Die Server sind in Serverracks eingebaut und werden über Kühleinheiten gekühlt. Die Kühleinheiten werden von der zentralen hocheffizienten Kältemaschine versorgt. Die Abwärme aus den Servern wird mittels durchströmender Luft abgeführt, auf das Kühlwasser übertragen und der Serverabwärmenutzung zugeführt bzw. rückgekühlt.

Die eingesetzten Kühleinheiten haben folgende Vorteile:

- Regelung der Kühleinheiten nach der Ablufttemperatur, dadurch wird ein Betrieb im Teillastbetrieb möglich, statt üblichen 700 W bei Vollast werden nur etwa 170 W benötigt. Durch die Drehzahlregelung können die Ventilatoren exakt mit jener Menge betrieben werden, die benötigt wird, um den Server optimal zu kühlen.
- Warm- und Kaltgangbereiche, dadurch keine Durchmischung von kalter und warmer Luft und optimale Effizienz bei der Kühlung

Die USV-Anlage für den zentralen Serverraum im Plus-Energie-Bürogebäude stellt die unterbrechungsfreie Stromversorgung sicher.

Für die USV wurden unterschiedliche Varianten und Ausbaustufen diskutiert und auf ihre Wirtschaftlichkeit und Leistung geprüft. Zur Auswahl stand eine modulare USV, welche schrittweise erweitert werden kann und ein Vollausbau von Beginn an von 120 kW. Eine modulare USV war vonseiten des ZID (Zentraler Informatikdienst der TU Wien) nicht möglich, da von Anfang an ein Vollausbau auf 120 kW möglich sein muss. Die Mehrkosten von ca. 45.000 Euro sprachen auch gegen eine modulare Variante.

Untersucht wurden im Folgenden zwei unterschiedliche Hersteller für den Vollausbau der USV:

Tabelle 36: Gegenüberstellung unterschiedlicher USV-Varianten für den Vollausbau

Variante	Gesamtkosten	Effizienz
	Euro (exkl. USt)	-
Hersteller A, USV 120 kW	53.170	95 % (Wert gemessen)
Hersteller B, USV 120 kW	57.744	96,3 % (Wert berechnet, bzw. auf Basis von Messergebnissen hochgerechnet)

Die USV arbeitet nach dem Doppelwandlerprinzip, was einerseits die höchste Versorgungssicherheit bedeutet, andererseits werden die Gleich- und Wechselrichter durchgehend verwendet, was auch einen ständigen „Verlust“ bedeutet, auch wenn die Batterien vollgeladen sind. Dabei kommt es bei Anlage A zu einem hochgerechneten Mehrverbrauch von ca. 3.500 kWh. Es wurde Anlage A ausgeführt, da der Hersteller über gemessene Werte verfügt und Hersteller B keine gemessenen Werte nachliefern konnte.

4.4.2 EDV-Konzept, Bürogeräte und Teeküchengeräte

Im Zuge des Projekts wurde ein EDV-Konzept entwickelt. Das EDV-Konzept beinhaltet folgende Eckpunkte:

- Konzept (EDV-Geräte, Server, Telefone, Drucker, Kaffeemaschinen)
- Kriterien für Tausch der bestehenden Bürogeräte von Instituten, die das Gebäude nutzen werden
- Geräteliste mit effizienten Bürogeräten

- Erhebung der bestehenden Geräte mittels Interview mit Instituten, die das Gebäude nutzen werden

Das EDV-Konzept regelt die Migration der bestehenden Geräte mit einem größtmöglichen Ersatz durch hochenergieeffiziente Geräte. Der Austausch der bestehenden Geräte wird durch festgelegte Kriterien für das gesamte Gebäude stufenweise von 2014 bis 2017 realisiert. Durch den stufenweisen Austausch wird erreicht, dass erst kürzlich angeschaffte Geräte nur ersetzt werden, wenn sie die Energieeffizienzkriterien maßgeblich überschreiten.

Das 9. Obergeschoß wird zur Gänze mit hochenergieeffizienten Geräten ausgestattet. Anhand dieses Geschoßes soll gleich nach Inbetriebnahme gezeigt werden, dass der Plus-Energie-Standard nach Migrationsende erreicht wird.

Der Zentrale Informatikdienst der TU Wien bietet für den Austausch der bestehenden Geräte hocheffiziente 10-Watt-Computer¹³ an. Die Computer erfüllen die hohen Anforderungen an die Rechenleistung von wissenschaftlichen Arbeitsplätzen bei höchster Energieeffizienz. Nach ausführlichen Benchmarks, Tests und Stromverbrauchsmessungen wird dieser Computer mittlerweile für alle 5.500 MitarbeiterInnen der TU Wien angeboten.

Die einziehenden Institute der TU Wien haben sehr viele Arbeitsplatz-Simulationsrechner in Verwendung. Der zentrale Server wird diese Arbeitsplatz-Simulationsrechner ersetzen. Die auftretende Abwärme kann dort zentral effizient gekühlt und durch die Serverabwärmenutzung der Bauteilaktivierung im Winter zugeführt werden. Durch die geringe Abwärme und der geringeren Geräusentwicklung der effizienten Bürogeräte wird ein angenehmeres Klima am Arbeitsplatz geschaffen.

In den Teeküchen kommen hocheffiziente A+++ Haushaltsgeräte (Kühlschrank, Geschirrspüler, Mikrowellen, Kaffeemaschinen, Kochplatten) zum Einsatz, welche den bestmöglichen Energieverbrauch aufweisen.

4.5 Fotovoltaik

4.5.1 Anlagengröße

Die gesamte Fotovoltaikanlage am Hochhaus erreicht 328,4 kWp und weist eine gesamte Modulfläche von 2.199 m² auf.

Die Fotovoltaik am Dach hat eine Leistung von 97,8 kWp und 618 m².

Die Fotovoltaik in der Fassade hat eine Leistung von 230,6 kWp und 1.581 m² und ist die größte gebäudeintegrierte Fotovoltaik Anlage Österreichs.

Der gesamte simulierte Jahresertrag ergibt 248.804 kWh/a.

¹³ c't Heft 13/2013

Der produzierte Strom wird direkt im Gebäude verwendet, der restliche überschüssige Strom wird zur Gänze am Areal Getreidemarkt durch die Nachbargebäude der TU Wien verbraucht.

4.5.2 Dach

Die Fotovoltaik wurde auf dem Dach mit 15° und südlicher Orientierung errichtet. Die Module wurden als Glas-Folien-Module ausgeführt und auf dem Dach mit einem Standardmontagesystem auf dem Stahlunterbau montiert. Der Schnee fällt im Fall des Abrutschens auf das unter der Stahlkonstruktion befindliche Flachdach. Das restliche Modulfeld vor der Traufe wird mit einem Schneeschild versehen.



Abbildung 81: Fotovoltaikanlage am Dach (Foto: Schöberl & Pöll GmbH)

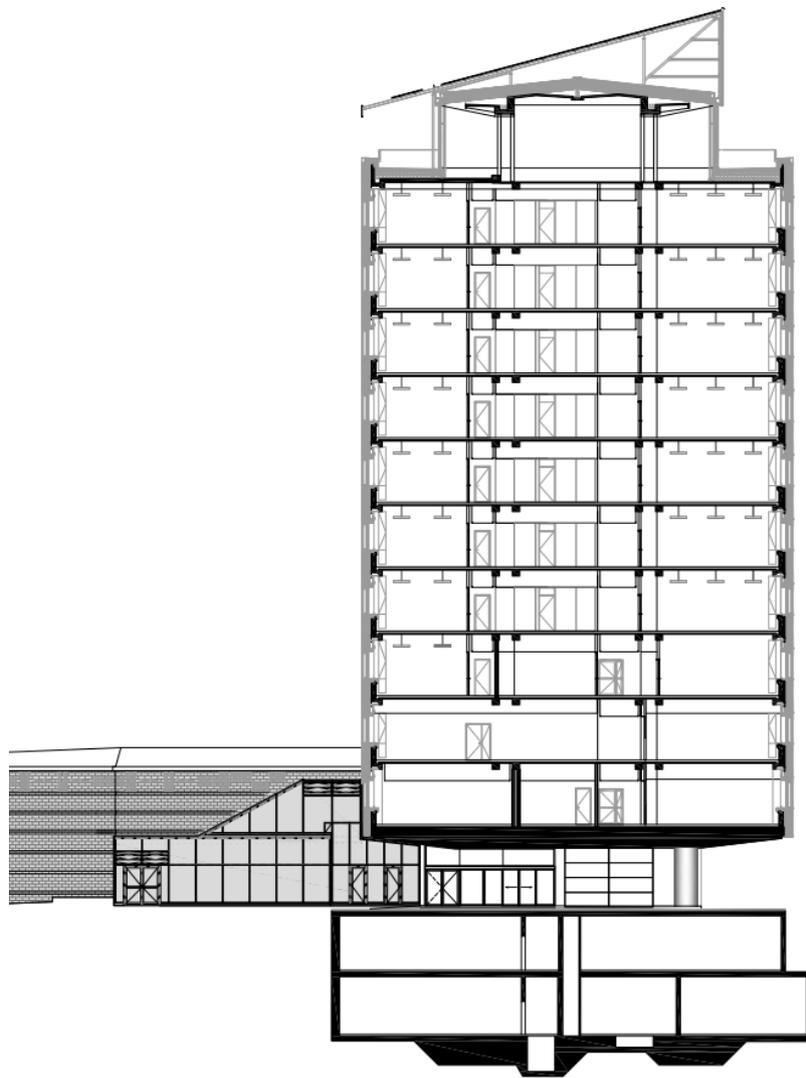


Abbildung 82: Gebäudeschnitt, Dach-Fotovoltaik mit Unterkonstruktion (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer)

4.5.3 Fassade

Die gebäudeintegrierte Fotovoltaik wurde an den südlichen und südöstlichen Fassadenflächen angebracht. Es wurden rahmenlose Module (Glas-Glas-Laminat) eingesetzt. Es werden Module mit monokristallinen Solarzellen eingesetzt. Die eingesetzten Wafer weisen einen Wirkungsgrad von 19 % auf (Hersteller: Neo Solar Power, Black 19+). Für das Stiegenhaus an der Südost-Fassade werden die Fotovoltaikmodule als Isoliergläser ausgeführt.



Abbildung 83: Fotovoltaikanlage in der Süd-Fassade (Foto: Schöberl & Pöll GmbH)

Im Planungsprozess hat sich gezeigt, dass eine Aufteilung der Modulfläche in der Fassade in drei Teilflächen, siehe Abbildung 84, günstiger in der Anschaffung ist und einen höheren Ertrag ermöglicht. Da die Wafer feste Abmessungen haben, wurde eine optimale Modulgröße gefunden, welche die maximale Anzahl an Wafern pro Modul ermöglicht. In der folgenden Abbildung wird das System der gebäudeintegrierten Fotovoltaik an der Fassade gezeigt. Oberhalb und unterhalb des Fensterbandes befinden sich die Fotovoltaikmodule, im Bereich des Fensterbandes sitzt die Prallscheibe.

Die folgende Abbildung stellt das System für die Simulation dar: getrennte Belüftung von Fotovoltaik und Prallscheibe, horizontal versetzte Lüftungsöffnungen

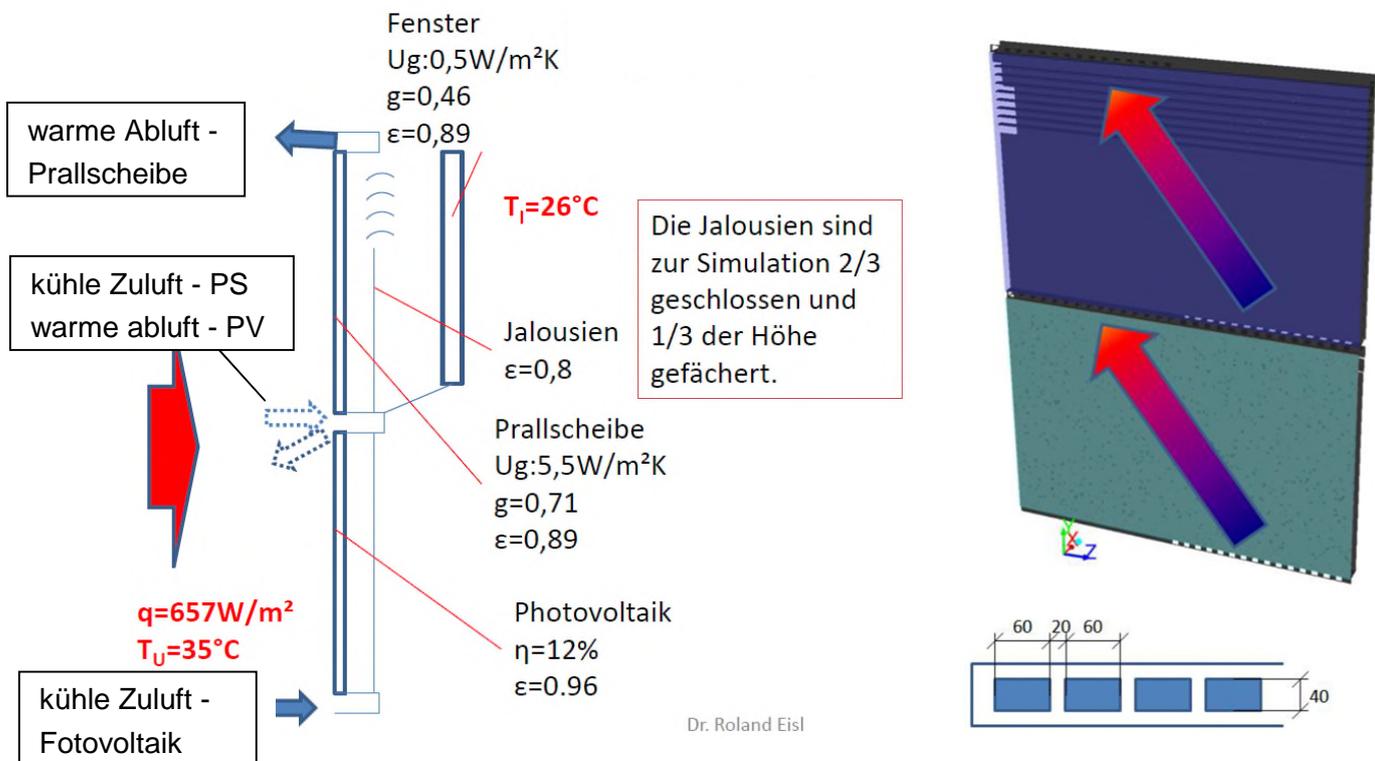


Abbildung 85: Modellbildung CFD Simulation (Rechenlauf 4, Quelle: [EIS12], bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH)

Die mittlere Temperatur im Bereich der Fenster liegt bei ca. 58°C . Es sind jeweils in den oberen rechten Ecken die Temperaturspitzen (ca. $68 - 70^\circ\text{C}$) erkennbar. Diese ergeben sich durch die stagnierende Strömung in diesen Bereichen. Der Wärmestrom durch das Fenster ist in diesem extremen Fall ca. 324 W .

In der ausgeführten Variante (Rechenlauf 4) wurde gezeigt, dass die durchschnittlichen Temperaturen im Bereich hinter der Prallscheibe um ca. 5°C niedriger ausfallen als beim Referenzfall (Rechenlauf 1, kleinere Belüftungsöffnungen).

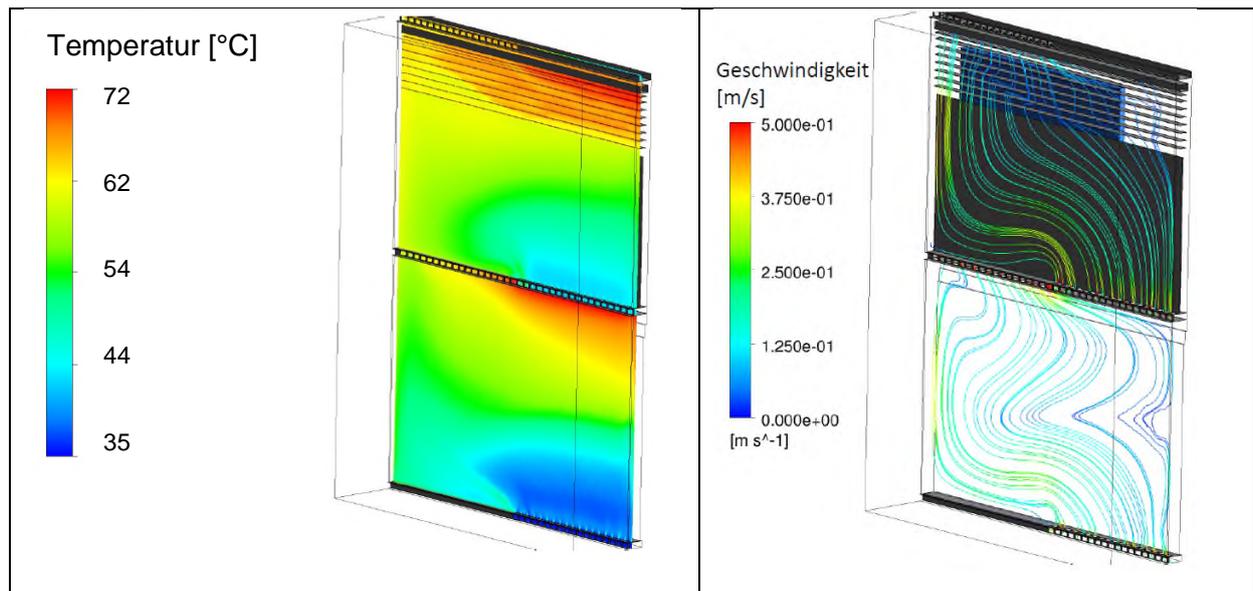


Abbildung 86: Ergebnisse CFD-Simulation (Rechenlauf 4, heißer Augusttag Quelle: [EIS12], bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH)

Die Simulation zeigt, dass eine getrennte Hinterlüftung von Fotovoltaik-Modulen und Prallscheibe mit maximierten Lüftungsöffnungen sinnvoll ist. Als wichtiges Detail in der Simulation erwies sich, dass der Abstand der Jalousienhalterung von den Entlüftungsöffnungen von 20 mm auf 40 mm erhöht werden musste.

4.5.5 Brandschutz Fotovoltaik Fassade

Im Zuge der Planung wurde für die Fotovoltaik-Elemente in der Fassade eine Brandprüfung gemäß ÖNORM B 3800-5 [ONO13] durchgeführt und positiv abgeschlossen. Es wurde keine optische Brandweiterleitung und kein Herabfallen von großen Teilen ($> 0,4 \text{ m}^2$, $> 5 \text{ kg}$) während der Prüfung beobachtet.



Abbildung 87: Foto vom Prüfverlauf, Auszug Prüfgutachten IBS - Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung GmbH

Im Brandfall wird die Fotovoltaikanlage durch das SolarEdge-System, siehe Kapitel 4.5.6, automatisch stromlos geschaltet. Dafür wurde das System mit der Brandmeldezentrale ge-

koppelt. Die PV-Module geben nach Abschaltung nur mehr eine geringe Spannung von 1 Volt aus. Zusätzlich wurde ein Feuerwehrausschalter vorgesehen.

4.5.6 Leistungsoptimierung und Monitoring

Es wurde ein System zur Optimierung und zum Leistungs-Monitoring auf Modulebene sowie zur verbesserten Wartungsmöglichkeit am Dach und in der Fassade eingesetzt. Jedes Modul verfügt über einen Leistungsoptimierer. Die Module mit Leistungsoptimierer werden in Serie zu Strängen verschalten und zu den zugehörigen Wechselrichtern geführt. Sowohl die Leistungsoptimierer als auch die Wechselrichter wurden von SolarEdge ausgeführt. Die Wechselrichter weisen einen Standby-Verbrauch in der Nacht von ca. 2,5 W auf. Die Leistungsoptimierer weisen eine Effizienz zwischen 98,8 und 95,5 % auf. Dies bedeutet, dass 1,2 bis 0,5 % des produzierten Stroms durch Umwandlungsverluste nicht genutzt werden können. Bei 250 W Modulen sind dies 1,3 bis 3 W pro Modul.



Abbildung 88: Leistungsoptimierer – Anordnung in der Fassade (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

Durch das System können die Module auf einem Strang unabhängig voneinander arbeiten und beeinflussen sich nicht gegenseitig. Kommt es beispielsweise zu einer Verschattung eines Moduls, wird dieses Modul weggeschaltet und nicht der ganze Strang. Die restlichen Module im Strang können weiter den Maximalertrag ohne Beeinflussung des verschatteten Moduls liefern.

4.6 Abwärmenutzung Serverraum

Eine effiziente Kältemaschine bzw. ein Free Cooling versorgen den Serverraum, das Audi-max und das Plus-Energie-Bürogebäude mit Kälte.

Im Serverraum sind Server, IT-Infrastruktur und die USV-Anlage situiert, wobei die maximale Last 120 kW beträgt. Die wassergekühlten Server werden prinzipiell von der zentralen Kältemaschine mit Kühlenergie versorgt.

Im Sommer wird die Abwärme aus dem Serverraum durch die Kältemaschine über Rückkühler rückgekühlt. In diesem Zeitraum wird die Serverabwärme nicht benötigt.

Im Winterbetrieb, bzw. Übergangszeit wird die Wärmeenergie aus den Servern zur Versorgung der Fußbodenheizung verwendet. Dadurch, dass die Server auch im Winter voll in Betrieb sind, steht die Wärmeenergie ausreichend zur Verfügung. Die Wärme wird über das Verteilsystem an das Gebäude abgegeben, der dadurch abgekühlte Rücklauf stellt zugleich den Vorlauf für die Serverkühlung dar. Im Gebäude können diese niedrigen Vorlauftemperaturen für die Bauteilaktivierung aufgrund der Passivhausqualität verwendet werden.

Wird die Wärme der Server im Gebäude nicht benötigt oder wird zu viel produziert, wird der warme Rücklauf aus den Servern über eine Free-Cooling-Einheit (120 kW Wärmetauscher) wieder abgekühlt und der daraus resultierende kältere Vorlauf den Servern wieder zugeführt.

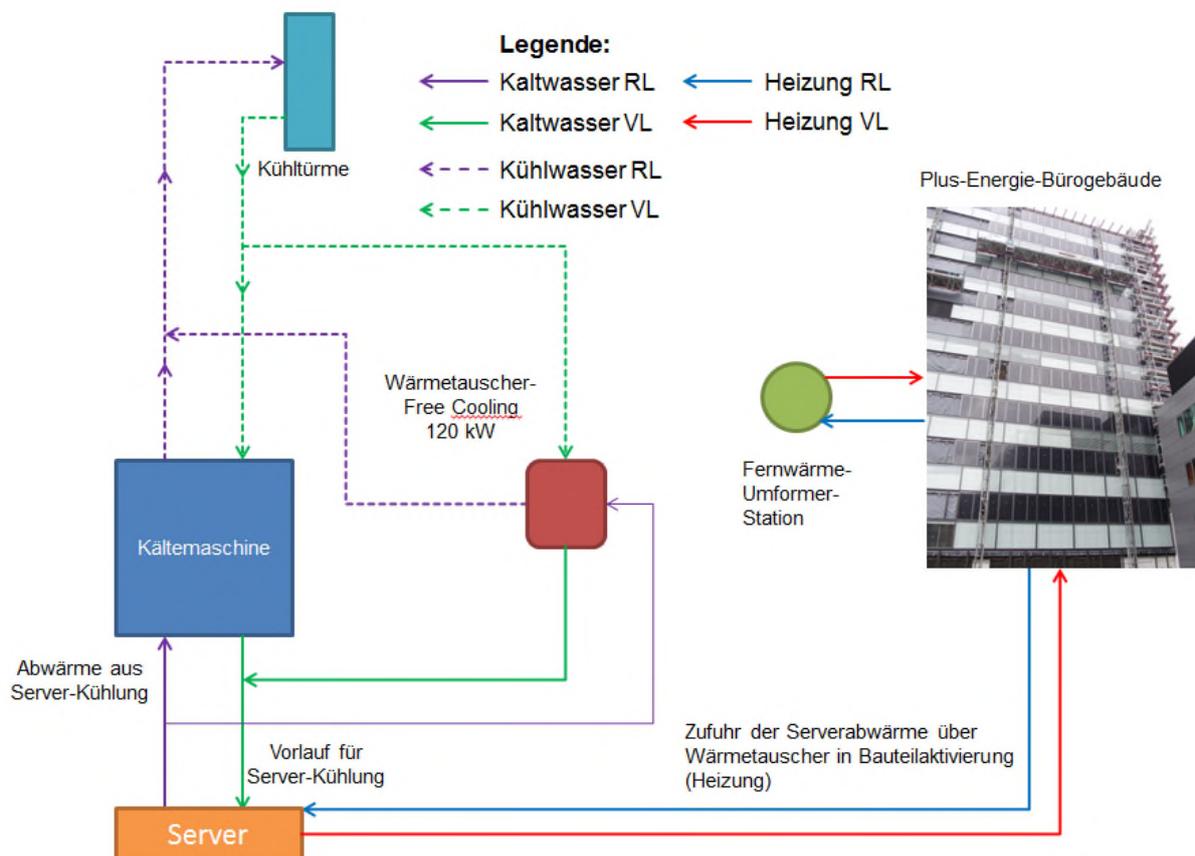


Abbildung 89: vereinfachtes Schema Serverabwärmenutzung

In Abbildung 90 ist ersichtlich, dass nahezu der gesamte Heizenergiebedarf durch die Abwärmenutzung abgedeckt werden kann. Dies gilt ab einem Teilausbau¹⁴ von 50 kW der Server und ist abhängig von der Vorlauftemperatur für die Bauteilaktivierung bzw. Rücklauftemperatur aus der Serverkühlung. Bei einer Vorlauftemperatur von 28 °C müssen durch die Fernwärme zusätzlich 221 kWh/a zur Heizung des Gebäudes zugeführt werden, bei einer Vorlauftemperatur von 26 °C zusätzlich 2.235 kWh/a.

Die Nutzung der Serverabwärme bei einer Vorlauftemperatur von 24 °C ist technisch schwer umsetzbar, da die angestrebte Raumtemperatur in der Heizperiode zwischen 22 und 24 °C liegt. Aus diesem Grund wurde bei diesem Projekt eine Vorlauftemperatur von 26 °C oder mehr angestrebt.

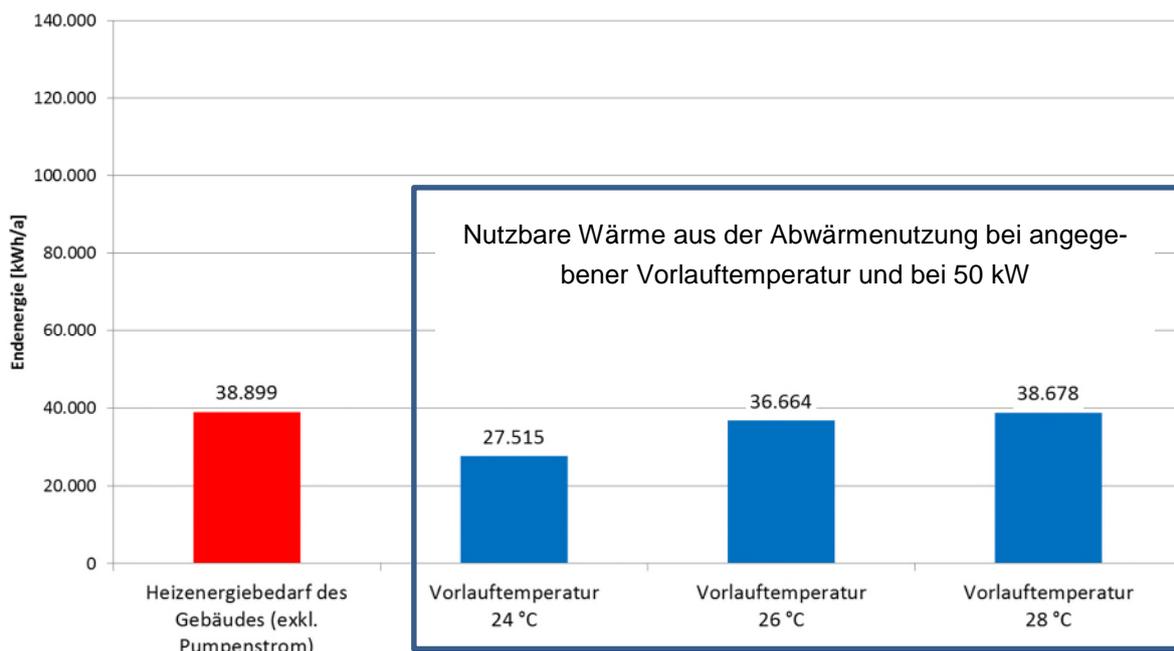


Abbildung 90: Darstellung des dynamisch simulierten Heizenergiebedarf¹⁵ des Plus-Energie-Büros (3.-10. Obergeschoß) und nutzbare Wärme aus der Serverabwärmenutzung bei unterschiedlichen Vorlauftemperaturen und einem Ausbau des Serverraums von 50 kW

Exkurs: energetisches Einsparpotenzial Serverabwärmenutzung

Durch die Serverabwärmenutzung wird dem Gebäude zusätzlich Wärme zugeführt. Zur Bewertung des Einsparpotenzials durch eine Abwärmenutzung des Serverraums und dessen Integration in die Energiebereitstellung wurden für das Plus-Energie-Bürogebäude folgende Ausführungsvarianten untersucht:

- Variante 1: keine Nutzung der Serverabwärme
- Variante 2: Nutzung der Serverabwärme mittels Wärmetauscher und Zufuhr in die Bauteilaktivierung bei einer Vorlauftemperatur von 26 °C

¹⁴ Der Vollausbau mit 120 kW wird in 2 Jahre erwartet (Stand 2014).

¹⁵ exkl. Pumpenstrom, der Pumpenstrom für die Beheizung des Gebäudes wird mit und ohne Serverabwärmenutzung gleich groß angesetzt (3.557 kWh/a) und wird in der Abbildung 90 nicht miteinbezogen.

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Heizenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme:

Tabelle 37: Tabellarische Gegenüberstellung Variante Serverabwärmenutzung – Heizenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Variante	Heizenergiebedarf	Einsparung im Vergleich zu Variante 1
	kWh/a	kWh/a
Variante 1	42.456	0
Variante 2 (Abwärmenutzung)	5.792 ¹⁶	36.664

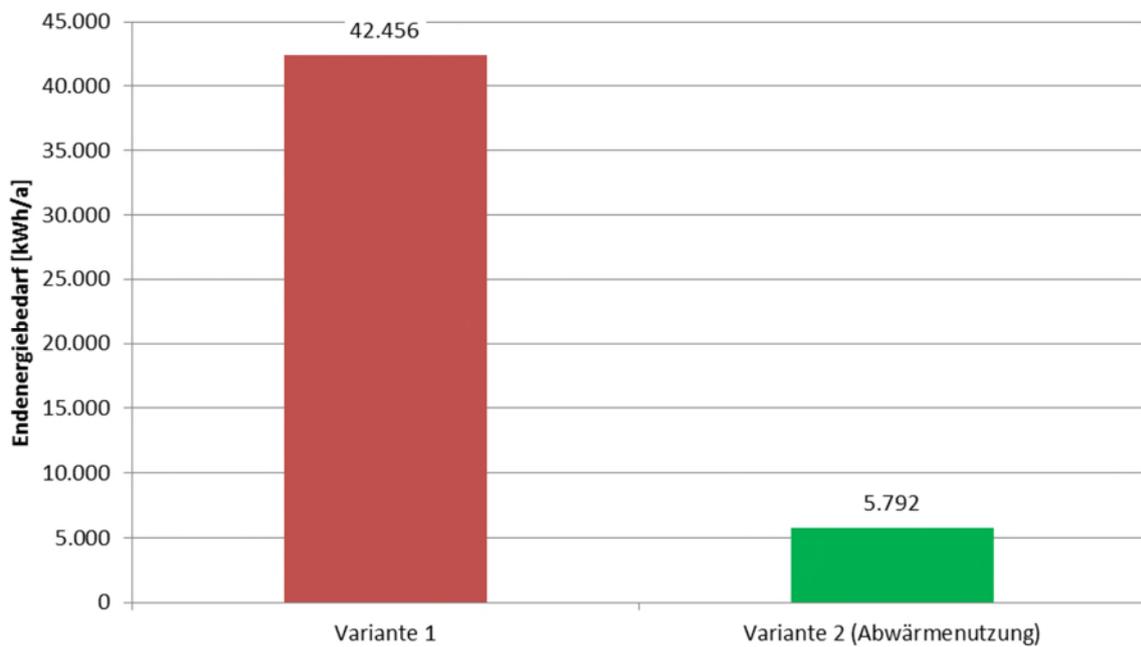


Abbildung 91: Grafische Gegenüberstellung Variante Serverabwärmenutzung - Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

¹⁶ inkl. Pumpenstrom (3.557 kWh/a)

Gegenüberstellung der Varianten und Angabe Primärenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme:

Tabelle 38: Tabellarische Gegenüberstellung Variante Serverabwärmenutzung – Primärenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürgeschoße

Variante	Primärenergiebedarf	Einsparung im Vergleich zu Variante 1
	Heizwärme	Heizwärme
	kWh/a	kWh/a
Variante 1	22.156	0
Variante 2 (Abwärmenutzung)	10.057	12.099

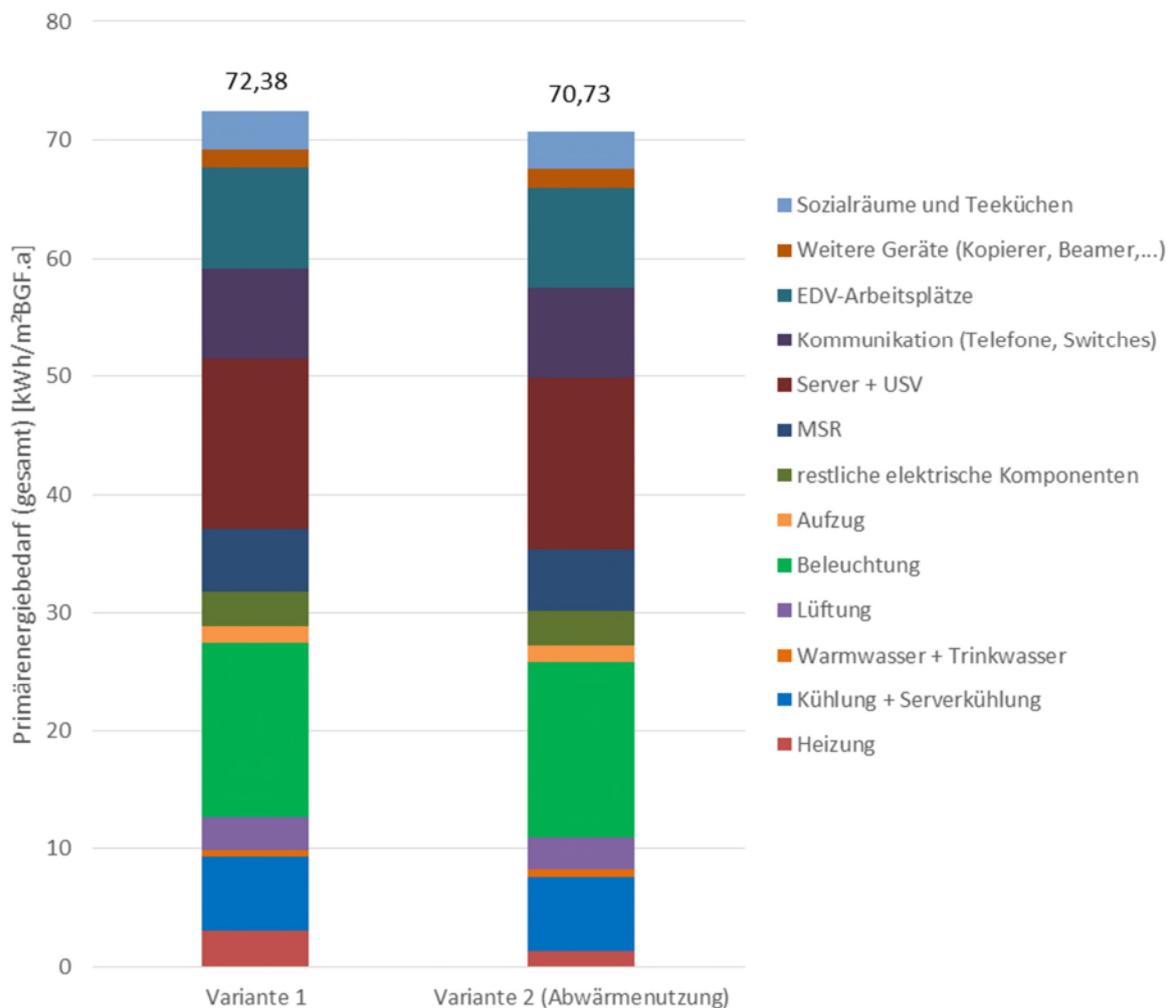


Abbildung 92: Analyse des Einsparpotenzials der Serverabwärmenutzung am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für die Bürgeschoße

Im Zuge der Bewertung des Einsparpotenzials wurde ein Gebäudemodell (dynamische Simulation) zur Optimierung, Analyse der Performance und zur Durchführung der Risikobeurteilung erstellt. Die Ergebnisse sind im Kapitel 3 zusammengefasst.

Exkurs: wirtschaftliches Einsparpotenzial Serverabwärmenutzung

Die Kosten für die Serverabwärmenutzung stellen sich wie folgt laut Nachtragangebot der ausführenden Firma dar:

Tabelle 39: Tabellarische Gegenüberstellung Variante Serverabwärmenutzung – Kosten bezogen auf die Maßnahme

Variante	Gesamtkosten	Mehrkosten im Vergleich zu Variante 1
	Euro (exkl. USt)	Euro (exkl. USt)
Variante 1	0	0
Variante 2 (Abwärmenutzung)	37.053	37.053

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten wird die Annuitätenmethode angewandt, welche die Gesamtkosten über die Lebensdauer als jährliche Kosten darstellt. Die Randbedingungen dazu sind in Kapitel 2.8.3 dargestellt.

Lebensdauer der Serverabwärmenutzung (Wärmetauscher) gemäß [NDK06]: 15-25 Jahre, gewählt 25

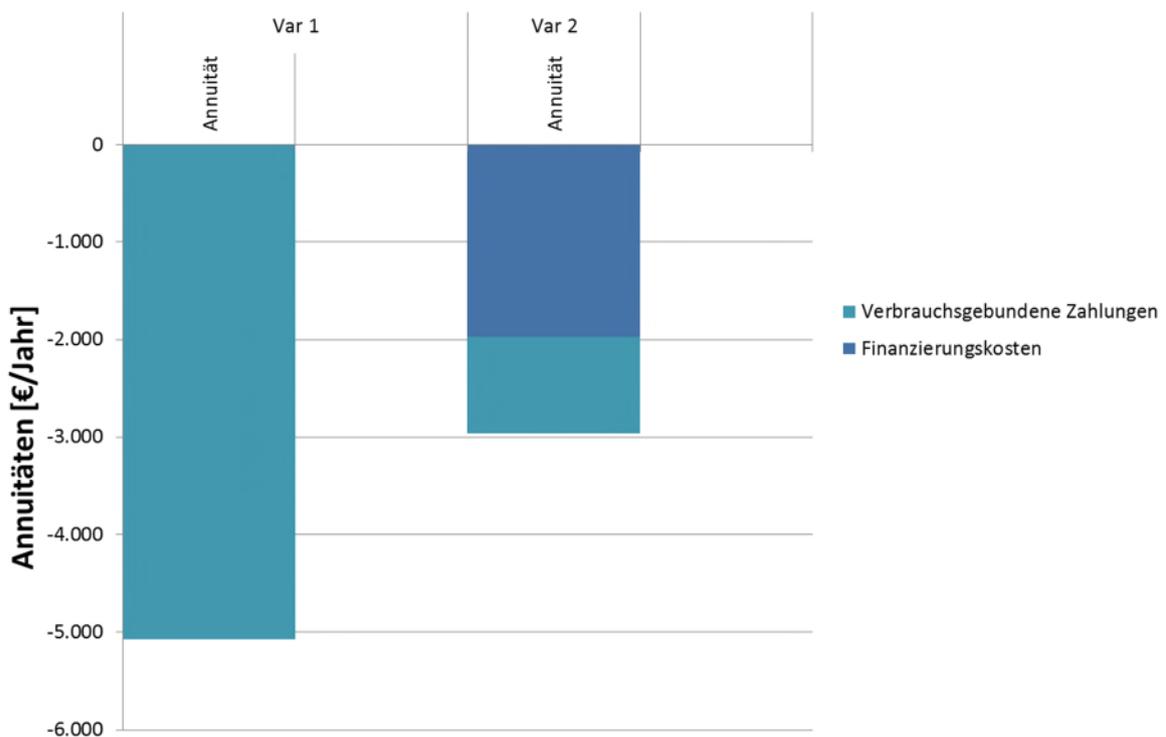


Abbildung 93: Grafische Gegenüberstellung Variante Serverabwärmenutzung – Annuitätenvergleich bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße

Das wirtschaftliche Einsparpotenzial bei der Gesamtannuität beträgt 2.113 Euro/a.

Aufgrund der dargestellten energetischen und wirtschaftlichen Betrachtungen wurde die Serverabwärmenutzung (Variante 2) im Plus-Energie-Bürogebäude ausgeführt.

4.7 Energierückgewinnung Aufzug

Die Energierückgewinnung der Aufzüge wurde durch einen regenerativen Antrieb realisiert. Bremsst die Kabine ab, wird der Antrieb als Generator genutzt, mit dessen Hilfe die Bewegungsenergie der Kabine in elektrischen Strom umgewandelt wird.

Durch die Energierückgewinnung sollen 15.971 kWh/a bzw. 48 % des Gesamtjahresstromverbrauchs der Aufzugsanlagen bei Berücksichtigung der Gegengewichtsreduktion rückgewonnen und ins Gebäude gespeist werden, siehe Kapitel 4.3.6. Im Monitoring werden die Aufzüge erfasst, um diese vom Hersteller berechneten Werte zu verifizieren.



Abbildung 94: regenerativer, getriebeloser Aufzugsantrieb (Quelle: Ziehl-Abegg SE)

5 Bauwerkskosten und Mehrkosten

5.1.1 Bauwerkskosten

Bei dem Projekt handelt es sich um eine Generalsanierung, wo das Gebäude im Zuge des Umbaus auf den Rohbauzustand zurückgeführt wurde. Die Prognose der Bauwerkskosten zwei Monate vor Bauende für die Sanierung des Bauteils BA „Chemiehochhaus“ zum Plus-Energie-Bürogebäude liegt bei 19,4 Millionen Euro (exkl. USt., Stand Juni 2014, für 13.500 m² Nutzfläche, 1.437 Euro/m²Nutzfläche). Die Kosten beinhalten auch die Fotovoltaik und die EDV-Infrastruktur wie Serverkästen. Die Kosten sind ohne Abzug der Fördermittel angegeben. Die gesamten Bauwerkskosten gliedern sich wie folgt:

• Fassade	2.946.000 EUR
• Baumeisterarbeiten	4.151.043 EUR
• Innenausbau	3.363.150 EUR
• E-Technik	2.040.000 EUR
• HKS	1.714.722 EUR
• Lüftung	1.494.951 EUR
• Fotovoltaik	825.000 EUR
• MSR	760.944 EUR
• Beleuchtung	724.400 EUR
• EDV-Infrastruktur	586.000 EUR
• Aufzug	485.000 EUR
• Dachkonstruktion inkl. Stahlbau für PV	313.200 EUR

5.1.2 Mehrkosten

Im Folgenden werden die relevanten Kosten für das Passiv- und Plus-Energie-Bürogebäude gegenüber einem heute üblichen Bürobau aufgelistet:

Tabelle 40: Tabellarische Übersicht Kosten für das Plus-Energie-Bürogebäude, Gebäudehülle und Haustechnik, Stand Juni 2014

Gebäudebereich	Kosten	Mehrkosten	Mehrkosten an den Bauwerkskosten
	Euro (exkl. USt)	Euro (exkl. USt)	%
Passivhaus-Fassade (exkl. Sonnenschutz)	2.854.368	471.353 ¹	2,4%
Kernlüftung	53.973	-35.963	-0,2%
Bauteilaktivierung inkl. Estricharbeiten	142.797	-61.879	-0,3%
Kältemaschine (exkl. Anteil Audimax)	79.153	42.827	0,2%
Bürolüftungsanlagen	711.142	310.329	1,6%
LED-Beleuchtung	518.634	306.609	1,6%
Bewegungsmelder	41.800	21.450	0,1%

¹ Mehrkosten auf Basis von [BK110], Code 337.41.81 und einer Fassadenfläche von 4.766 m²

Tabelle 41: Tabellarische Übersicht Kosten für das Plus-Energie-Bürogebäude, Energieerzeugung, Stand Juni 2014

Gebäudebereich	Kosten	Mehrkosten	Mehrkosten an den Gesamtbauwerkskosten
	Euro (exkl. USt)	Euro (exkl. USt)	%
Fotovoltaikanlage Dach	151.246	151.246	0,8%
Fotovoltaik Fassade	550.496	392.396	2,0%
Serverabwärmennutzung	37.053	37.053	0,2%
Aufzug mit Energierückgewinnung	252.080	15.168	0,1%

6 Ergebnis Primärenergiebilanz

6.1 Primärenergiebilanz - Planungsphase

In der Planungsphase wurden Berechnungen, dynamische Simulationen durchgeführt und Komponentenlisten aller Stromverbraucher gemeinsam mit den PlanerInnen erstellt. Diese wurden in eine Primärenergiebilanz zusammengefasst und den Erträgen gegenübergestellt. Die Grundlagen zur Berechnung der Primärenergiebilanz sind in Kapitel 2.7 zu finden.

Aufgrund der Übersichtlichkeit wird die berechnete Primärenergie in folgende Gruppen zusammengefasst, siehe auch Kapitel 2.7:

- Heizung
- Kühlung + Serverkühlung
- Warmwasser + Trinkwasser
- Lüftung
- Beleuchtung
- Aufzug
- restliche elektrische Komponenten
- MSR
- Server + USV
- Kommunikation (Telefon, Switches)
- EDV-Arbeitsplätze
- Weitere Geräte (Kopierer, Beamer, ...)
- Sozialräume und Teeküchen

In den jeweiligen Gruppen ist der gesamte nicht erneuerbare Primärenergiebedarf inkludiert, beispielsweise werden bei der Heizung der Pumpenstrom, die Bereitstellungsverluste, die Verteilverluste und die Regelung mitbilanziert.

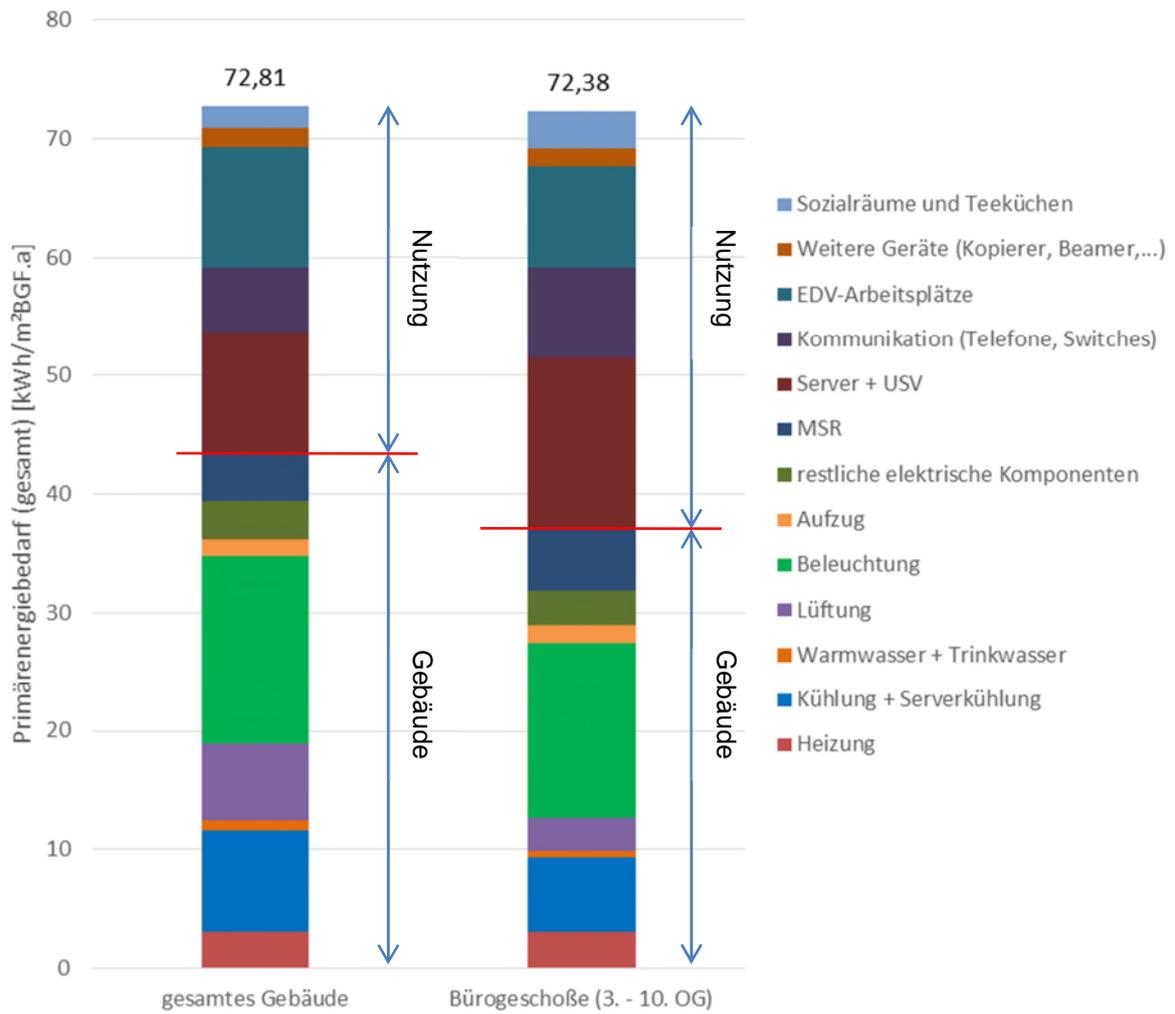


Abbildung 95: Planungsphase Aufgliederung der gesamten Primärenergie bezogen auf die Bruttogrundfläche, betrachtet für die Bürogeschoße und für das gesamte Gebäude

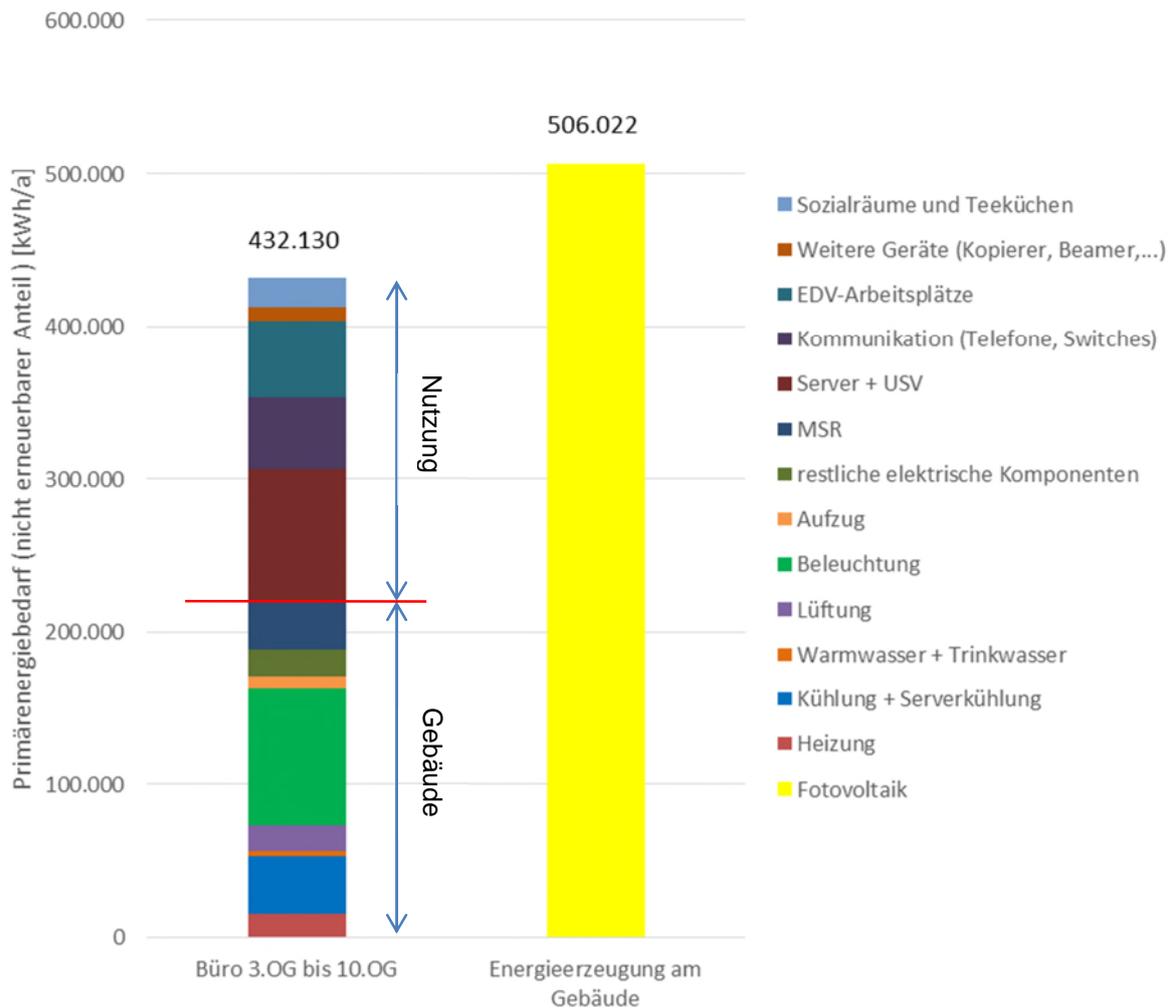


Abbildung 96: Planungsphase Aufgliederung der nicht erneuerbaren Primärenergie betrachtet für die Bürogeschosse, Bedarf und Energieerzeugung

6.2 Primärenergiebilanz - Ausführungsphase

In der Ausführungsphase wurden die Berechnungen, dynamische Simulationen und Komponentenlisten fortgeführt und mit den ausgeschriebenen und eingebauten Komponenten und Systemen aktualisiert. Diese wurden in eine Primärenergiebilanz zusammengefasst und den Erträgen gegenübergestellt. Die Grundlagen zur Berechnung der Primärenergiebilanz sind in Kapitel 2.7 zu finden.

In der folgenden Grafik wird zwischen universitärer Nutzung und Standard-Büronutzung unterschieden. Bei der universitären Nutzung werden im Gegensatz zur Standard-Büronutzung hochleistungsfähige Simulationsrechner verwendet. Die Aufteilung der berechneten Primärenergie erfolgt in Gruppen, wie schon in Kapitel 6.1 beschrieben.

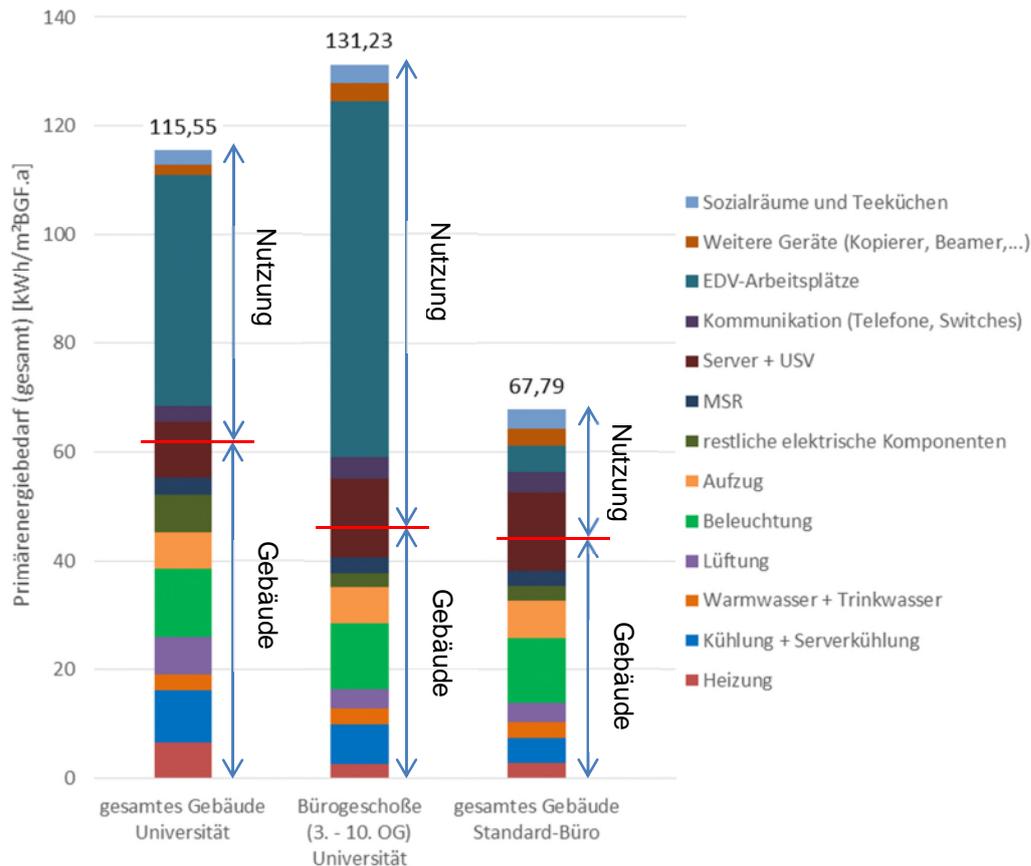


Abbildung 97: Ausführungsphase Aufgliederung der gesamten Primärenergie bezogen auf die Bruttogrundfläche, betrachtet für die Bürogeschoße und für das gesamte Gebäude für universitäre Nutzung mit Simulationsrechnern und Standard-Büronutzung

Der Primärenergiebedarf für das gesamte Gebäude (Universität) beträgt 115,55 kWh/(m².BGF.a) bzw. 67,79 kWh/(m².BGF.a) für das gesamte Gebäude mit Standard-Büro-Nutzung. Daraus ist ersichtlich, wie groß der Anteil der Simulationsrechner ist. Die großen Energieverbraucher im Bürobau sind alle elektrischen Verbraucher bzw. Beleuchtung, Kühlung und Lüftung. Der Strombedarf der EDV-Arbeitsplätze, Server, USV, Teeküchen usw. schlägt mit 29,53 kWh/(m².BGF.a) zu Buche (gesamtes Gebäude, Standard-Büro). Das entspricht 44 % des gesamten Primärenergiebedarfs.

Die gesamte erzeugte Endenergie durch die drei Energieerzeuger ist wie folgt:

- Fotovoltaik Fassade: 146.360 kWh/a (314.674 kWh/a nicht erneuerbare Primärenergie)
- Fotovoltaik Dach: 102.444 kWh/a (220.255 kWh/a nicht erneuerbare Primärenergie)
- Abwärmenutzung Server: 36.664 kWh/a (2.200 kWh/a nicht erneuerbare Primärenergie)
- Aufzug Energierückgewinnung: 15.971 kWh/a (34.338 kWh/a nicht erneuerbare Primärenergie)

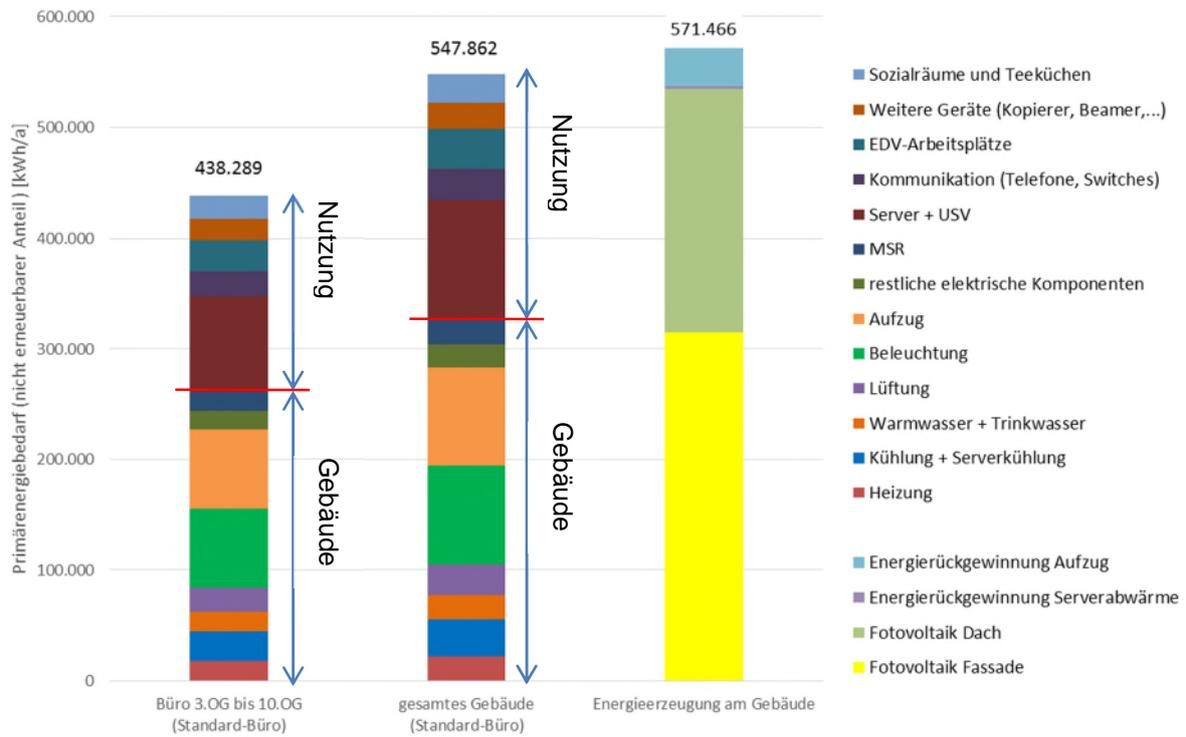


Abbildung 98: Ausführungsphase Aufgliederung der nicht erneuerbaren Primärenergie, Bedarf und Energieerzeugung, Standard-Büro-Nutzung

7 Ergebnis Gebäudezertifikat TQB

Für das Plus-Energie-Bürogebäude am Getreidemarkt wurde eine Gebäudezertifizierung nach TQB durchgeführt. Es wurden 983 Punkte erreicht.



Abbildung 99: Ergebnis der Gebäudezertifizierung nach TQB

8 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Das vorrangige Ziel des Projekts, die Demonstration des Plus-Energie-Standards, konnte erreicht werden. Im Planungsprozess stellte sich heraus, dass die extreme Optimierung des gesamten Energieverbrauchs der Kernpunkt bei Plus-Energie-Bürogebäuden ist. Durch die Reduzierung des Energieverbrauchs auf ca. 10 % des Bestandsgebäudes ist eine Abdeckung des Primärenergiebedarfs am Standort durch die Fotovoltaik, die Serverabwärmenutzung und die Energierückgewinnung des Aufzugs möglich.

Die wichtigsten gewonnenen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Plus-Energie-Standard ist bei einer Optimierung aller Gebäudebereiche und der Möglichkeit zur Energieerzeugung möglich.
- Zentraler Aspekt ist die Mitsprache und Mitarbeit des ForscherInnenteams in allen Planungsstadien (z.B. Ausschreibung) und in allen Gebäudebereichen gemeinsame mit den PlanerInnenteams und dem Bauherrn.
- Eine Kernlüftung in Gebäuden mit Bauteilaktivierung ist technisch möglich und erhöht zusätzlich die Behaglichkeit im Sommer.
- Effiziente Büro- und Teeküchengeräte zentral zur Erreichung des Plus-Energie-Standards
- Abdeckung eines Großteils des Heizenergiebedarfs durch Serverabwärmenutzung bei sehr guter Gebäudehülle und Bauteilaktivierung möglich
- Eine bedarfsgerechte Steuerung der Lüftung inkl. Feuchterückgewinnung mit Doppelrotor steigert die Behaglichkeit und führen zu einer hohen Reduktion des Lüftungsstromverbrauchs.
- LED-Deckenleuchten mit bis zu 110 lm/W Leuchteneffizienz
- Kleinkomponenten wie z.B. Bewegungsmelder, Sonnenschutzsteuerungen usw. können durch Umbau auf 24 V bzw. durch effiziente Teilkomponenten energetisch optimiert werden.
- Zentraler Punkt bei der MSR Planung ist die Festlegung für Plus-Energie-Gebäude geeignete Prozessparameter durch dynamische Simulationen.
- Im Projekt hat sich gezeigt, dass es bei zukünftigen Bürogebäuden zu einem Paradigmenwechsel von 230 auf 24 V Netze kommen wird, um die Energieeffizienz zu steigern. Ein 24 V Netz wurde im Projekt realisiert.
- Ergebnisse sind relevant für alle Büroprojekte, da viele Aspekte auf andere Büroprojekte übertragen werden können.

9 Ausblick und Empfehlungen

Aus dem Projekt ergaben sich im Planungs- und Ausführungsprozess folgende Empfehlungen und Punkte für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeit:

- Einheitliche Gewerke und übergreifende Planungstools würden die unterschiedlichen Projektphasen, die Kommunikation und das gemeinsame Arbeiten mit allen Beteiligten erleichtern.
- Planungsarbeit in Workshops ist effizienter und zielführender als vernetzte Planung.
- Weiterentwicklung von 24 V Netzen in Bürogebäuden
- Weiterentwicklung von Elektro-Komponenten zur Reduktion der Standby-Verluste und direkte Koppelungsmöglichkeiten an 24 V Netz

Vom neuen Veranstaltungsraum im 11. Stock des Plus-Energie-Bürogebäudes wird sich ein Panoramaausblick über Wien, insbesondere über die innere Stadt, bieten:



Abbildung 100: Ausblick vom Veranstaltungsraum des Plus-Energie-Bürogebäudes (Foto: Schöberl & Pöll GmbH)

10 Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis

10.1 Literaturverzeichnis

- [ASV11] Arbeitsstättenverordnung (AStV)
<http://www.arbeitsinspektion.gv.at/astv/astv.htm>
(abgerufen am 07.11.2011)
- [BED12] Bednar, Thomas; Hanic Radoslav; Holzer, Tamara; et al.: Strategische Optimierung der Luftfeuchtereulation bei Lüftungsanlagen zur Reduktion des Energieeinsatzes für Be- und Entfeuchtungsanlagen. Projektbericht im Rahmen der Programmlinie „Energie Systeme der Zukunft“, Wien 2012
- [BIN11] bing maps. Getreidemarkt, Wien
<http://www.bing.com/maps>
(abgerufen am 03.11.2011)
- [BKI10] BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.): BKI Baukosten 2010, Teil 2: Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente. BKI Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH, Stuttgart 2010
- [DIN05] DIN EN 13363-2: Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen - Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades, Teil 2: Detailliertes Berechnungsverfahren, Deutsches Institut für Normung, Berlin 2005
- [DIN11] DIN EN 410: Glas im Bauwesen - Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen, Deutsches Institut für Normung, Berlin 2011
- [EIS12] Eisl, Roland: Endbericht Strömungssimulation der Hinterlüftung der Fassade der TU Wien Bauteil BA. ENRAG GMBH, Wien 2012
- [COF14] COFELY – QUANTUM, Datenblatt
http://www.cofely.info/uploads/media/Quantum-Broschuere_01.pdf
(abgerufen am 05.05.2014)
- [IEA10] Annex 53, (2010) Total Energy Use in Buildings: Analysis & Evaluation Methods, The International Energy Agency (IEA), 2010
- [KLI12] klima:aktiv Bauen und Sanieren, KRITERIENKATALOG BÜROGEBÄUDE SANIERUNG, Version 2.0, September 2012. Lebensministerium und Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien 2012

- [NDK06] Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen und Anlagenteile 2006, Hauptverband der allgemein beeideten und gerichtlich zertifizierten Sachverständigen Österreichs, Landesverband Steiermark und Kärnten, Graz 2006
- [OIB11] OIB – Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz. Ausgabe: Oktober 2011 Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien 2011
- [ONO03] ÖNORM EN 12237: Lüftung von Gebäuden - Luftleitungen - Festigkeit und Dichtheit von Luftleitungen mit rundem Querschnitt aus Blech. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2003.
- [ONO07] ÖNORM EN 15251: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2007.
- [ONO12] ÖNORM B 8110-3: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2012.
- [ONO13] ÖNORM B 3800-5: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 5: Brandverhalten von Fassaden, Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2013.
- [PLUS13] Bednar, Thomas; Rosenberger, Robert; Schöberl, Helmut et al.: Entwicklung des ersten rechtssicheren Nachweisverfahrens für Plusenergiegebäude durch komplette Überarbeitung der ÖNORMEN. Projektbericht im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“, Wien 2013
- [PRO09] Pröglhof, C.: On Patterns Of Control-Oriented Human Behavior In Office Environments., Technische Universität Wien, Dissertation, Wien 2009
- [REI11] Reiß, B.; Schöberl, H.; Bednar, T. et al.: Marktreifes Plus-Energie-Büro. Projektbericht im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“, Wien 2011
- [SCH14] Schöberl, Helmut; Hofer, Richard; Mudri, Robert: Hochenergieeffiziente Präsenzmelder und Endverbrauchstechnologien – LowEnergyHaustechnik. Projektbericht im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“, Veröffentlichung im August 2014, Wien 2014
- [TSI14] Handbuch, PANDA – System (Positive and Negative Duct Accreditation) http://www.tsi.com/uploadedFiles/Site_Root/Products/Literature/Manuals/PANDA_Light_PAN341_Mnl_6007682-DE-web.pdf
(abgerufen am 11.06.2014)
- [VDI09] VDI 4707: Aufzüge. Energieeffizienz. Verein Deutscher Ingenieure, Berlin 2009

- [WIE14] Techniknovelle 2012, Konversionsfaktoren Wien Energie Fernwärme, MA 37
<https://www.wien.gv.at/wohnen/baupolizei/pdf/merkblatt-waermeschallschutz-2013.pdf>
(abgerufen am 5.5.2014)
- [BED10] Bednar, Thomas; "Plus-Energie-Gebäude" Wenn Gebäude mehr Energie liefern als verbrauchen (ergänzt); Perspektiven, Heft 1_2 (2010)

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Primärenergiebilanz des TU Wien Chemiehochhauses am Getreidemarkt vor Sanierung, für universitäre Nutzung mit Simulationsrechner und Standard-Büronutzung	9
Picture 2: primary energy balance of the TU Vienna „Chemiehochhaus“ on the Getreidemarkt before renovation, for university usage with simulation computers and for standard office usage	11
Abbildung 3: Areal Getreidemarkt - Lage in der Stadt Wien (Quelle: Stadt Wien - ViennaGIS, überarbeitet von Schöberl & Pöll GmbH).....	14
Abbildung 4: Areal Getreidemarkt - Nutzung vor Sanierung (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer, bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH).....	15
Abbildung 5: Areal Getreidemarkt - Chemiehochhaus und Audimax vor der Sanierung (Quelle: [BIN11] bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH).....	16
Abbildung 6: Chemiehochhaus - Regelgeschoß vor der Sanierung – 5. OG (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer).....	17
Abbildung 7: Plus-Energie-Bürogebäude - Regelgeschoß nach der Sanierung (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer).....	18
Abbildung 8: Areal Getreidemarkt – Nutzung nach der Sanierung (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer, bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH)	19
Abbildung 9: Kenngrößen für Plus-Energie: Netto-Primärenergiebedarf inkl. Nutzung [PLUS13].....	22
Abbildung 10: Darstellung Bilanzgrenzen für Plus-Energie-Gebäude [IEA10].....	23
Abbildung 11: Darstellung der Bilanzgrenzen	26
Abbildung 12: Gegenüberstellung der Endenergie des Stroms für das Chemiehochhaus Bestand und das Plus-Energie-Gebäude in kWh/a (Daten 2008, 2009: TU Wien Gebäude und Technik)	28
Abbildung 13: Gegenüberstellung der Endenergie der Heizung für das Chemiehochhaus Bestand und das Plus-Energie-Gebäude in kWh/a (Daten 2008, 2009, 2010: TU Wien Gebäude und Technik).....	28
Abbildung 14: Grundrisse der zwei untersuchten Räume. Links: Zweipersonenbüro Orientierung Südwest. Rechts: Dreipersonenbüro Orientierung Nordost; (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer (Entwurfspläne vom 12.12.2011), bearbeitet durch TU Wien, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz)	31
Abbildung 15: Innere Lasten der verschiedenen Büros für den Heizfall (Worst Case: 1 Person anwesend)	32
Abbildung 16: Verlauf der Temperatur, der solaren und inneren Gewinne für den Fall 1	33
Abbildung 17: Verlauf der Temperatur, der solaren und inneren Gewinne für den Fall 4	34
Abbildung 18: Vergleich der Minimaltemperatur am Auslegungstag der verschiedenen Fälle und variablen Büros	35
Abbildung 19: Innere Lasten der verschiedenen Büros und Ausstattungen für den Kühlfall..	36
Abbildung 20: Verlauf der Temperatur, der solaren und inneren Gewinne für den Fall 1	38
Abbildung 21: Verlauf der Temperatur, der solaren und inneren Gewinne für den Fall 8	39

Abbildung 22: Vergleich der Maximaltemperatur am Auslegungstag der verschiedenen Fälle und variablen Büros	40
Abbildung 23: vertikaler Fassadenschnitt im Fensterbereich (Quelle: MA-TEC Stahl- und Alubau GesmbH, bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH)	43
Abbildung 24: Anschlussdetail Fassade mit thermischer Entkopplung (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH).....	44
Abbildung 25: Verlauf der Temperatur-Isothermen im Anschlussdetail Zwischenwand auf Abfangdecke, darunter Außenluft (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)	45
Abbildung 26: Grafische Gegenüberstellung Varianten Vakuumdämmung – Heizenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude.....	46
Abbildung 27: Analyse des Einsparpotenzials der Vakuumdämmung am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für das gesamte Gebäude	47
Abbildung 28: Grafische Gegenüberstellung der Vakuumdämmung Variante 1 (2,5 cm) und Variante 2 (5 cm) – Annuitätenvergleich bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude	48
Abbildung 29: Grafische Gegenüberstellung Varianten Verglasung– Endenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für die Bürogeschoße	50
Abbildung 30: Analyse des Einsparpotenzials der Verglasung am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für die Bürogeschoße	51
Abbildung 31: Grafische Gegenüberstellung der Verglasung Variante 1 (Ug 0,58) und Variante 2 (Ug 0,53)– Annuitätenvergleich bezogen auf den Bauteil, für die Bürogeschoße.....	52
Abbildung 32: Plus-Energie-Bürogebäude - Regelgeschoß mit Kernlüftungsschächten (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer), bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH.....	53
Abbildung 33: Glastrennwände (Foto: Schöberl & Pöll GmbH)	54
Abbildung 34: Prinzipskizze der geschoßweisen Kernentlüftung (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer), bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH	55
Abbildung 35: Grafische Gegenüberstellung Variante Kernlüftung – Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße.....	56
Abbildung 36: Analyse des Einsparpotenzials der Kernlüftung am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für die Bürogeschoße	57
Abbildung 37: Grafische Gegenüberstellung der Kernlüftung Variante 1 (ohne Kernlüftung) und Variante 2 (mit Kernlüftung) – Annuitätenvergleich bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße	58
Abbildung 38: Anlaufstromverhalten im Vergleich von konventionellen Antrieben und der eingesetzten Kältemaschine (QUANTUM) am Getreidemarkt. Es treten keine Anlaufstromspitzen bei Initialisierung auf. [COF14]	60
Abbildung 39: Leistungsdaten (COP= Coefficient of Performance, bezeichnet das Verhältnis von Kälteleistung (kW) zu aufgenommener (elektrischer) Antriebsleistung unter Prüfbedingungen) laut Herstellerdatenblatt im Teillastbereich für QUANTUM X060, Leistungsdaten bei 12/7 °C und 30/35 °C gemäß ARI550/590, Circa-Angaben, luftgekühlt bei 35 °C Außentemperatur gemäß ARI550/590 (Quelle: [COF14], Darstellung Schöberl & Pöll GmbH)	60

Abbildung 40: Gegenüberstellung der Pumpen, Leistungsaufnahme bei unterschiedlichen Förderströmen.....	61
Abbildung 41: Gegenüberstellung Investitions- und Stromkosten für die konventionelle Kältedämmung und die ausgeführte Kältedämmung im Plus-Energie-Bürogebäude, Betrachtungszeitraum 20 Jahre.....	62
Abbildung 42: Grafische Gegenüberstellung Varianten Kältemaschine – Endenergiebedarf bezogen auf die Kältemaschine, betrachtet für das gesamte Gebäude	63
Abbildung 43: Analyse des Einsparpotenzials der Kältemaschine am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für das gesamte Gebäude	64
Abbildung 44: Grafische Gegenüberstellung der Kältemaschine Variante 1 (Standard) und Variante 2 (hocheffiziente Kältemaschine) – Annuitätenvergleich bezogen auf die Kältemaschine betrachtet für das gesamte Gebäude	66
Abbildung 45: Gegenüberstellung Ventilatorenstrom und Wärmerückgewinnung (Quelle: Siegfried Manschein GesmbH, bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH)	69
Abbildung 46: Berechnung der Gesamtlüftungsrate und Darstellung der Gebäudekategorien nach ÖNORM EN 15251 [ONO07]	70
Abbildung 47: durchschnittliche stündliche Belegung mit Standardabweichung für das Freihaus, TU Wien [PRO09].....	71
Abbildung 48: durchschnittliche stündliche Belegung mit Standardabweichung für den UNIQA-Tower, Wien [PRO09]	71
Abbildung 49: Gegenüberstellung der Daten aus [PRO09] für das Freihaus und der Daten aus der Befragung, Basis 8 bis 18 Uhr (Quelle: [PRO09] und TU Wien, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz).....	72
Abbildung 50: Gegenüberstellung Ventilatoren für Anlage A05 (Quelle: Siegfried Manschein GesmbH, bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH)	73
Abbildung 51: Jahresverlauf der relativen Luftfeuchte bei unterschiedlichen Rotationswärmetauscheranordnungen und unterschiedlichen Regelungsstrategien	74
Abbildung 52: Unterschreitung verschiedener Luftfeuchtwerte während der Arbeitszeit (2600 Stunden pro Jahr).....	74
Abbildung 53: Strombedarf der Lüftungsanlagen A05, A06 und WC bei unterschiedlichen Rotationswärmetauscheranordnungen und unterschiedlichen Regelungsstrategien	76
Abbildung 54: Primärenergiebedarf der Lüftungsanlagen A05, A06 und WC bei unterschiedlichen Rotationswärmetauscheranordnungen und unterschiedlichen Regelungsstrategien	76
Abbildung 55: Schematischer Aufbau Doppelrotor in Serie ([BED12] bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH)	77
Abbildung 56: Gegenüberstellung Jahresstromverbrauch Brandschutzklappen, Angaben für ein Stück	79
Abbildung 57: Messinstrument Panda Light für die Luftdichtheitsmessung der Luftleitungen [TSI14]	80
Abbildung 58: Messung Zuluftkanal 7. OG vor und nach Abdichtung im Über- und Unterdruck	81

Abbildung 59: Messung Abluftkanal 7. OG vor und nach Abdichtung im Über- und Unterdruck	81
Abbildung 60: Grafische Gegenüberstellung Varianten Lüftungsanlage – Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße.....	83
Abbildung 61: Analyse des Einsparpotenzials der Lüftungsanlage am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für die Bürogeschoße	84
Abbildung 62: Grafische Gegenüberstellung der Lüftungsanlage Variante 1 (Standard) und Variante 2 (bedarfsgerechte hocheffiziente Büro-Lüftungsanlage mit Doppelrotor) – Annuitätenvergleich bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße.....	85
Abbildung 63: LED-Deckenleuchten mit Bewegungsmelder am Akustiksegel im Plus-Energie-Bürogebäude (Foto: Schöberl & Pöll GmbH).....	86
Abbildung 64: Raffstore, unten geschlossen, oben horizontale Stellung (Foto: Schöberl & Pöll GmbH)	88
Abbildung 65: Randbedingungen zur Berechnung der Tageslichtsituation (Bildquelle: Metal Design Engineering GmbH).....	88
Abbildung 66: Tageslichtquotient Raum 1 – ohne Sonnenschutz (Quelle: Ingenieurbüro J. Gerstmann)	89
Abbildung 67: Tageslichtquotient Raum 1 – Sonnenschutz geschlossen ohne Tageslichtnutzung (Quelle: Ingenieurbüro J. Gerstmann).....	89
Abbildung 68: Tageslichtquotient Raum 1 – Sonnenschutz geschlossen mit Tageslichtnutzung (Quelle: Ingenieurbüro J. Gerstmann).....	90
Abbildung 69: Grafische Gegenüberstellung Varianten Beleuchtung – Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße.....	91
Abbildung 70: Analyse des Einsparpotenzials der Beleuchtung am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für die Bürogeschoße	92
Abbildung 71: Grafische Gegenüberstellung der Beleuchtung Variante 1 (Standard), Variante 2 (88 lm/W) und Variante 3 (110 lm/W) – Annuitätenvergleich bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße	93
Abbildung 72: Grafische Gegenüberstellung Varianten Aufzug – Endenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude	96
Abbildung 73: Analyse des Einsparpotenzials des Aufzugs am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für das gesamte Gebäude	97
Abbildung 74: Grafische Gegenüberstellung des Aufzugs Variante 1 (Standard), Variante 2 (Gewichtsreduktion), Variante 3 (Rückgewinnung) und Variante 4 (Gewichtsreduktion + Rückgewinnung) – Annuitätenvergleich bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude	98
Abbildung 75: ecos500 Raumautomationsstation – Produktbild und modifizierte Variante (Quelle Produktbild: Sauter AG, Quelle Foto: Schöberl & Pöll GmbH).....	100
Abbildung 76: Gegenüberstellung der Standby-Verbräuche vor und nach Optimierung der Sonnenschutzsteuerung [SCH14].....	101
Abbildung 77: Neuentwicklung: hocheffiziente Bewegungsmelder (Quelle: Robert Mudri, Machine Vision).....	102

Abbildung 78: Grafische Gegenüberstellung Varianten Bewegungsmelder – Endenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude	103
Abbildung 79: Analyse des Einsparpotenzials der Bewegungsmelder am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für das gesamte Gebäude	104
Abbildung 80: Grafische Gegenüberstellung der Bewegungsmelder Variante 1 (Standard), Variante 2 (hocheffizient) – Annuitätenvergleich bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude.....	105
Abbildung 81: Fotovoltaikanlage am Dach (Foto: Schöberl & Pöll GmbH)	108
Abbildung 82: Gebäudeschnitt, Dach-Fotovoltaik mit Unterkonstruktion (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer).....	109
Abbildung 83: Fotovoltaikanlage in der Süd-Fassade (Foto: Schöberl & Pöll GmbH)	110
Abbildung 84: Fassade Süd – System und Aufteilung der Fotovoltaikmodule (Quelle: MDE GmbH, bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH).....	111
Abbildung 85: Modellbildung CFD Simulation (Rechenlauf 4, Quelle: [EIS12], bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH).....	112
Abbildung 86: Ergebnisse CFDS-Simulation (Rechenlauf 4, heißer Augusttag Quelle: [EIS12], bearbeitet durch Schöberl & Pöll GmbH)	113
Abbildung 87: Auszug Prüfgutachten, Foto vom Prüfverlauf (Quelle: IBS – Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung GmbH).....	113
Abbildung 88: Leistungsoptimierer – Anordnung in der Fassade (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)	114
Abbildung 89: vereinfachtes Schema Serverabwärmenutzung	115
Abbildung 90: Darstellung des dynamisch simulierten Heizenergiebedarf des Plus-Energie- Büros (3.-10. Obergeschoß) und nutzbare Wärme aus der Serverabwärmenutzung bei unterschiedlichen Vorlauftemperaturen und einem Ausbau des Serverraums von 50 kW ..	116
Abbildung 91: Grafische Gegenüberstellung Variante Serverabwärmenutzung - Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße.....	117
Abbildung 92: Analyse des Einsparpotenzials der Serverabwärmenutzung am Gesamtsystem - Primärenergiebedarf, betrachtet für die Bürogeschoße.....	118
Abbildung 93: Grafische Gegenüberstellung Variante Serverabwärmenutzung – Annuitätenvergleich bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße.....	119
Abbildung 94: regenerativer, getriebeloser Aufzugsantrieb (Quelle: Ziehl-Abegg SE).....	120
Abbildung 95: Planungsphase Aufgliederung der gesamten Primärenergie bezogen auf die Bruttogrundfläche, betrachtet für die Bürogeschoße und für das gesamte Gebäude	124
Abbildung 96: Planungsphase Aufgliederung der nicht erneuerbaren Primärenergie betrachtet für die Bürogeschoße, Bedarf und Energieerzeugung	125
Abbildung 97: Ausführungsphase Aufgliederung der gesamten Primärenergie bezogen auf die Bruttogrundfläche, betrachtet für die Bürogeschoße und für das gesamte Gebäude für universitäre Nutzung mit Simulationsrechnern und Standard-Büronutzung	126
Abbildung 98: Ausführungsphase Aufgliederung der nicht erneuerbaren Primärenergie, Bedarf und Energieerzeugung, Standard-Büro-Nutzung.....	127
Abbildung 99: Ergebnis der Gebäudezertifizierung nach TQB	128

Abbildung 100: Ausblick vom Veranstaltungsraum des Plus-Energie-Bürogebäudes (Foto: Schöberl & Pöll GmbH)	130
Abbildung 101: Gebäudeschnitt (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer, bearbeitet durch TU Wien, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz) 143	
Abbildung 102: Sensorpositionen im Grundriss, exemplarisch im 9.OG (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer, bearbeitet durch TU Wien, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz).....	144
Abbildung 103: Gebäudeschnitt (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer, bearbeitet durch TU Wien, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz) 145	
Abbildung 104: Produktionsraten CO ₂ am Beispiel der Messung vom 16.03.2012.....	146
Abbildung 105: Auswertungsdetails am Beispiel der Messung vom 01.03.2012, Bereich Aufenthaltsraum 2.OG.....	147
Abbildung 106: Auswertung des ZUL-Volumenstroms am Beispiel der Messung vom 01.03.2012, Bereich Aufenthaltsraum 2.OG	148
Abbildung 107: Auswertung des ZUL-Volumenstroms für die Phasen 1 und 2 vom 16.03.2012 in der Zeit zwischen 8:45 und 10:20.....	149
Abbildung 108: Auswertung des ZUL-Volumenstroms für die Phase 3 vom 16.03.2012 in der Zeit zwischen 10:30 und 13:00.....	150
Abbildung 109: Auswertung des ZUL-Volumenstroms für die Phase 4 vom 16.03.2012 in der Zeit zwischen 12:55 und 14:30.....	151
Abbildung 110: Auswertung des ZUL-Volumenstroms für die Phase 5 vom 16.03.2012 in der Zeit zwischen 14:40 und 15:30.....	152
Abbildung 111: Auswertung 7.2.2011 – Stehleuchten 300 lux	154
Abbildung 112: Auswertung 8.9.2011 – Deckenleuchten.....	155
Abbildung 113: Darstellung Messaufbau A-Wertmessung und Foto Fensterelement während Messung.....	156
Abbildung 114: Energie- und Monitoringkonzept im Plus-Energie-Bürogebäude	158

10.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Parameter für Wirtschaftlichkeitsberechnungen	29
Tabelle 2: Eingangswerte Fall 1	33
Tabelle 3: Eingangswerte Fall 4	34
Tabelle 4: Eingangswerte Fall 1	38
Tabelle 5: Eingangswerte Fall 8	39
Tabelle 6: Berechnung der Werte bei Prallscheibe und Fenster (Quelle: Ingenieurbüro J. Gerstmann)	43
Tabelle 7: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Vakuumdämmung – Heizenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude.....	46
Tabelle 8: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Vakuumdämmung – Primärenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude	46
Tabelle 9: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Vakuumdämmung – Kosten bezogen auf den Bauteil	47
Tabelle 10: Details zu den Glasvarianten 1 und 2 (Quellen: Ingenieurbüro J. Gerstmann, Petschenig glastec GmbH).....	49
Tabelle 11: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Verglasung – Endenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für die Bürogeschoße	50
Tabelle 12: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Verglasung – Primärenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für die Bürogeschoße	51
Tabelle 13: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Verglasung – Kosten bezogen auf den Bauteil	52
Tabelle 14: Tabellarische Gegenüberstellung Kernlüftung – Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße	56
Tabelle 15: Tabellarische Gegenüberstellung Kernlüftung – Primärenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße	57
Tabelle 16: Tabellarische Gegenüberstellung Variante Kernlüftung - Kosten bezogen auf die Maßnahme	58
Tabelle 17: Gegenüberstellung Pumpen – Stromverbrauch und Kosten für jeweils 5 Stück .	61
Tabelle 18: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Kältemaschine – Endenergiebedarf bezogen auf die Kältemaschine, betrachtet für das gesamte Gebäude	63
Tabelle 19: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Kältemaschine – Primärenergiebedarf bezogen auf die Kältemaschine, betrachtet für das gesamte Gebäude	64
Tabelle 20: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Kältemaschine – Kosten bezogen auf die Kältemaschine	65
Tabelle 21: Luftdichtheitsklassen von A (schlechteste) bis D (beste) gemäß ÖNORM EN 12237 [ONO03]	80
Tabelle 22: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Lüftungsanlage – Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße.....	82
Tabelle 23: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Lüftungsanlage – Primärenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße	83

Tabelle 24: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Lüftungsanlage – Kosten bezogen auf die Maßnahme	84
Tabelle 25: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Beleuchtung – Endenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße.....	91
Tabelle 26: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Beleuchtung – Primärenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße.....	91
Tabelle 27: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Beleuchtung – Kosten bezogen auf die Maßnahme	92
Tabelle 28: Tabellarische Gegenüberstellung Aufzüge – Vergleich der Anforderung der VDI 4707 [VDI09] für Energieeffizienzklasse A mit ausgeführter Variante	94
Tabelle 29: Tabellarische Gegenüberstellung Aufzüge - Gegengewicht	95
Tabelle 30: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Aufzug – Endenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude	95
Tabelle 31: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Aufzug – Primärenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude	96
Tabelle 32: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Aufzug – Kosten bezogen auf den Bauteil	98
Tabelle 33: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Bewegungsmelder – Endenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude	103
Tabelle 34: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Bewegungsmelder – Primärenergiebedarf bezogen auf den Bauteil, betrachtet für das gesamte Gebäude	103
Tabelle 35: Tabellarische Gegenüberstellung Varianten Bewegungsmelder – Kosten bezogen auf den Bauteil.....	104
Tabelle 36: Gegenüberstellung unterschiedlicher USV-Varianten für den Vollausbau	106
Tabelle 37: Tabellarische Gegenüberstellung Variante Serverabwärmenutzung – Heizenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße.....	117
Tabelle 38: Tabellarische Gegenüberstellung Variante Serverabwärmenutzung – Primärenergiebedarf bezogen auf die Maßnahme, betrachtet für die Bürogeschoße	118
Tabelle 39: Tabellarische Gegenüberstellung Variante Serverabwärmenutzung – Kosten bezogen auf die Maßnahme	119
Tabelle 40: Tabellarische Übersicht Kosten für das Plus-Energie-Bürogebäude, Gebäudehülle und Haustechnik, Stand Juni 2014	122
Tabelle 41: Tabellarische Übersicht Kosten für das Plus-Energie-Bürogebäude, Energieerzeugung, Stand Juni 2014.....	122

11 Anhang Messergebnisse und Monitoring

11.1 Kernlüftung Messungen

11.1.1 Aufgabenstellung und Grundlagen

Das Potenzial der Kernlüftung wurde im Zuge der Planung messtechnisch für die Sanierung des „Chemiehochhauses“ zum Plus-Energie-Bürogebäude am Getreidemarkt durch die TU Wien Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz ermittelt und dokumentiert.

Die Kernentlüftung durchspült den Stiegenhaus- und Gangbereich nachts mit kühler Außenluft. Zum Zweck der Kernentlüftung kann geschoßweise an der Ostfassade ein Fenster mittels Stellmotor automatisch geöffnet werden. Je Geschoß bildet dieses Fenster die Zuluftöffnung, während die eingeströmte und im Gebäude erwärmte Luft über zwei vertikale Schächte mit einem Gesamtquerschnitt von rund 2,4 m² wieder abgeführt wird, siehe auch Kapitel 4.2.

11.1.2 Situationsbeschreibung und Messanlage

Gebäude

Zum Zeitpunkt der Messung stand bereits einer der zwei Abluft-Schächte zur Verfügung. Der Schacht des Gebäudes wurden im 2. OG, im 6.OG und später auch im 9. OG durch Durchbrüche nutzbar gemacht (2. OG: 1,2*0,8 m², 6.OG: 1.2*0,75 m², 9.OG: 1,2*0,6 m². Ein Bestandsfenster (ca. 1,15 m²) im Gangbereich sowie ein Fenster in einem Büro (ca. 1,85 m²) dienten je Stockwerk bei der Messung als Zuluft-Öffnung.

Schnitt 2-2



Schnitt 1-1

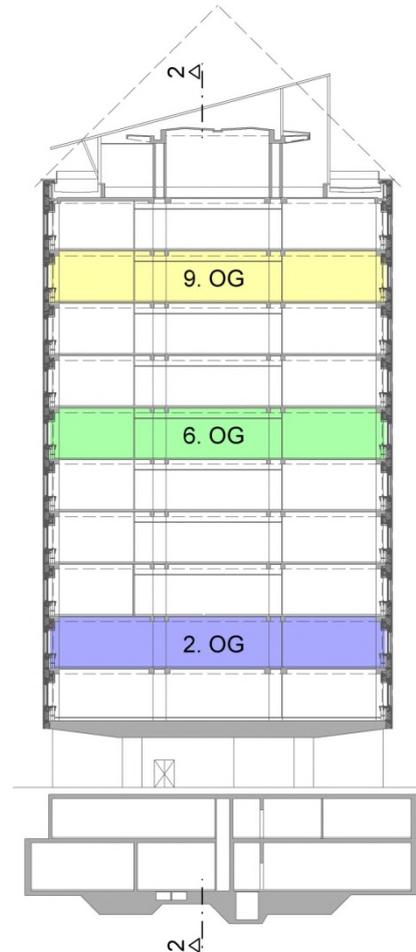


Abbildung 101: Gebäudeschnitt (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer, bearbeitet durch TU Wien, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz)

Messanlage

Die Messungen wurden mit CO₂ als Tracergas durchgeführt. Dieses wurde vor den Messungen in Form von Trockeneis angeliefert und im Zuge der Messung durch gesteuerte Energiezufuhr in den gasförmigen Zustand übergeführt.

Die Ausbreitung des Tracergases sowie die zeitliche Veränderung der Gaskonzentration an den Messstellen gibt Aufschluss über die gesuchten Volumenströme.

Folgende Messgeräte / Sensoren kamen zum Einsatz:

- PC mit Win 7 und der Anwendung Labview
- 3 Multiplexer Agilent 34970A
- 60 CO₂-Sensoren Sauter EGQ222F001
- 12 Temperatur- und Feuchtesensoren Vaisala humichips 17204 HM
- 6 Temperatursensoren Heraeus PT1000 M 222
- 6 Wiegezellen Sartorius MP51/100 kg C3

Die Sensoren wurden vor deren Einsatz kalibriert (Temperatursensoren) bzw. deren Abweichung vom Mittelwert gemessen (CO₂-Sensoren).

Die Sensoren wurden im Sommer 2011 auf die Stockwerke 2.OG und 6.OG verteilt, wobei jene Sensoren, die für das 9.OG vorgesehen waren, für detaillierte Messungen im 6. OG eingesetzt waren. Im Frühjahr 2012, als auch das 9.OG für die Messungen zur Verfügung stand, wurden die Sensoren gleichmäßig und regelmäßig auf alle drei Stockwerke verteilt. Die Sensorpositionen wurden im Verlauf der Messungen optimiert und das Augenmerk darauf gelegt, dass die Konzentrationen in Messquerschnitten (Türen, Durchbrüche ...) gemessen wurden.

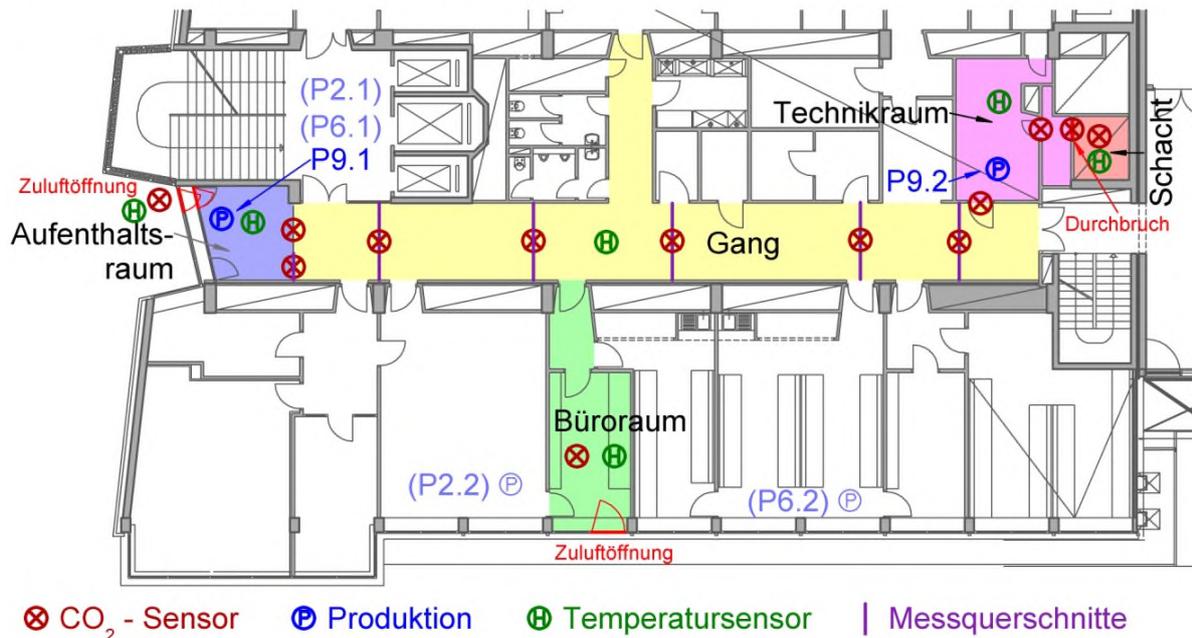


Abbildung 102: Sensorpositionen im Grundriss, exemplarisch im 9.OG (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer, bearbeitet durch TU Wien, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz)

Sensoranordnung für alle Geschoße:

Außen:

- 1 CO₂-Sensor außen vor der Zuluftöffnung beim Aufenthaltsraum

Aufenthaltsraum:

- 3 CO₂-Sensoren in unterschiedlichen Höhen im Messquerschnitt zum Gang
- 1 CO₂-Sensor in der Öffnung zur abgehängten Decke über dem Gang
- 1 PT1000 Temperatursensor
- CO₂-Produktion P2.1, P6 und P9.1 mit Wiegeelement

Büroraum:

- 5 CO₂-Sensoren auf ca. 2 m Höhe
- 1 PT1000 Temperatursensor

Gang:

- 5 CO₂-Sensoren, je 1 in den Messquerschnitten
- 1 Humichip Temperatursensoren in Raummitte

Technikraum:

- 1 CO₂-Sensor in der Tür zum Gang

- 1 CO₂-Sensor in der Tür vor dem Durchbruch
- 1 CO₂-Sensor im Durchbruch zum Schacht
- 1 Humichip Temperatursensor in Raummitte

Schacht:

- 1 CO₂-Sensor 1,0 m über dem Durchbruch
- 1 CO₂-Sensor 1,0 m unter dem Durchbruch
- 1 Humichip Temperatursensor 1,0 m unter dem Durchbruch

Geschoßspezifische Anordnung:

- 2 Humichip Temperatursensoren an der Südfassade im 2. OG und 6. OG
- 1 Humichip Temperatursensor vor der Zuluftöffnung beim Aufenthaltsraum im 9. OG

Bürraum 2. OG:

- Produktion P2.2 mit Wiegeelement im 2. OG

Technikraum 9. OG:

- Produktion P9.2 mit Wiegeelement im 9. OG

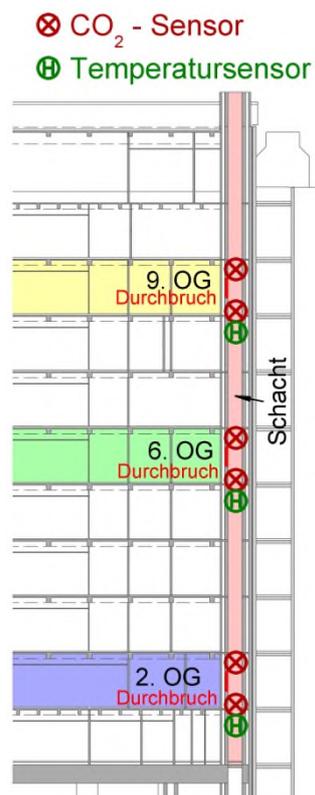


Abbildung 103: Gebäudeschnitt (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer, bearbeitet durch TU Wien, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz)

Das Tracergas wurde als Trockeneispellets angeliefert und in XPS-Boxen gefüllt, die an den sechs Wiegezellen hingen. Somit standen maximal sechs Quellen gleichzeitig zur Verfügung. Die Produktionsrate der Quellen wurde geregelt, indem die Heizstäbe in den Boxen, deren Leistung maximal 2 kW betrug, elektronisch gepulst wurden. So konnten stabile Raten erzeugt werden (siehe Abbildung 104, Diskontinuitäten entstehen beim Befüllen der Boxen und beim Umstellen der Quellen).

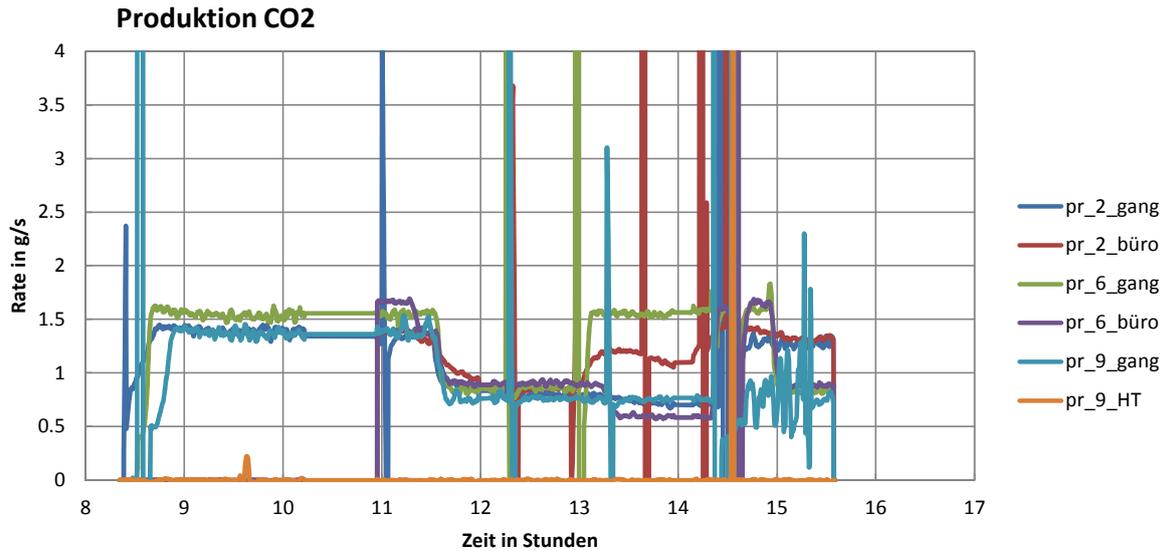


Abbildung 104: Produktionsraten CO₂ am Beispiel der Messung vom 16.03.2012

11.1.3 Anzahl der durchgeführten Messungen

Insgesamt wurden sechs Messungen am Objekt durchgeführt, davon drei Messungen im Sommer 2011 (18.08.2011, 22.08.2011 und 25.08.2011), welche im Wesentlichen zur Erkenntnis führten, dass die geplanten Messungen bei Betrieb der noch vorhandenen Lüftungsanlagen aufgrund der Anzahl an unbekannter Pfade nicht möglich sind.

Weitere drei Messungen wurden im Frühjahr 2012 (16.02.2012, 01.03.2012 und 16.03.2012) durchgeführt, als der Betrieb im Objekt bis auf wenige Zimmer ausgesiedelt war, sämtliche Lüftungsanlagen stillgelegt und unerwünschte Luftpfade abgeklebt werden konnten.

11.1.4 Auswertung der Messungen

Die Auswertung der Messdaten erfolgte über die CO₂-Massenbilanz, die für einen Raum mit dem Volumen V_r aufgestellt wurde. Die Innenluft weist die Dichte ρ auf, die sich im Rahmen dieses Modells weder mit der Temperatur noch mit der CO₂-Konzentration c_i ändert und somit konstant ist. Innerhalb des Raumes befindet sich eine Quelle p_i , die gasförmiges CO₂ mit der Rate \dot{p}_i emittiert. Das Tracergas ist jederzeit ideal mit der Raumluft durchmischt, durch beliebige Öffnungen ist der Raum mit der Umgebung verbunden. Die Umgebungsluft weist eine CO₂-Konzentration von c_a auf und die Dichte der Umgebungsluft entspricht jener der Innenluft. Auf diese Weise konnte der gesuchte Luft-Massenstrom \dot{m} über nachfolgenden Zusammenhang ermittelt werden, indem der Zeitverlauf der CO₂-Masse im Raum bilanziert wird:

$$V_r \cdot \rho \cdot \dot{c}_i = \dot{p}_i + \dot{m} \cdot (c_a - c_i) \quad (1)$$

V_r	Raumvolumen in m ³
ρ	Dichte der Luft innen und außen in kg/m ³ , Annahme $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$
\dot{c}_i	zeitlicher Verlauf der CO ₂ -Innenkonzentration in g/kg s
\dot{p}_i	zeitlicher Verlauf der CO ₂ -Produktion in g/s
\dot{m}	zeitlicher Verlauf Luft-Massenstroms in kg/s
c_a, c_i	CO ₂ -Konzentration der Luft außen / innen in g/kg

Der Luft-Massenstrom \dot{m} kann in obiger Gleichung durch den Luft-Volumenstrom und die Dichte der Luft $\dot{V} \cdot \rho$ ersetzt werden. Da die Dichte der Luft im vorliegenden Modell als konstant betrachtet wird, kann diese in weiterer Folge aus der Bilanz gekürzt werden, wodurch folgender Ausdruck entsteht:

$$V_r \cdot \dot{c}_i = \frac{\dot{p}_i}{\rho} + \dot{V} \cdot (c_a - c_i) \quad (2)$$

und umgestellt, der gesuchte Volumenstrom in m^3/s durch

$$\dot{V} = \frac{V_r \cdot \dot{c}_i - \frac{\dot{p}_i}{\rho}}{(c_a - c_i)} \quad (3)$$

ausgedrückt werden kann.

Dieser Volumenstrom an einer Öffnung hängt gemäß (3) einerseits von dem im Raum gemessenen Konzentrationsverlauf \dot{c}_i und dem Volumen V des Raumes sowie andererseits von der Produktionsrate \dot{p}_i ab. Darüber hinaus hängt der berechnete Volumenstrom auch von der in die Gleichung eingesetzten Konzentration der Umgebungsluft c_a ab. Bei der Auswertung muss somit aufgrund von qualitativen Überlegungen (Simulation von Luftstromnetzwerken bzw. insbesondere Messung von Temperaturverläufen) klar sein, in welche Richtung die Luft strömt, d. h. strömt die Luft tatsächlich von außen mit der Umgebungskonzentration von rund 380 ppm nach innen.

Theoretisch können Volumenströme auch bei Abwesenheit einer internen CO_2 -Quelle, also $\dot{p}_i = 0$, ausgewertet werden, indem die Abnahme der CO_2 -Konzentration als Funktion des Volumenstroms gemessen wird.

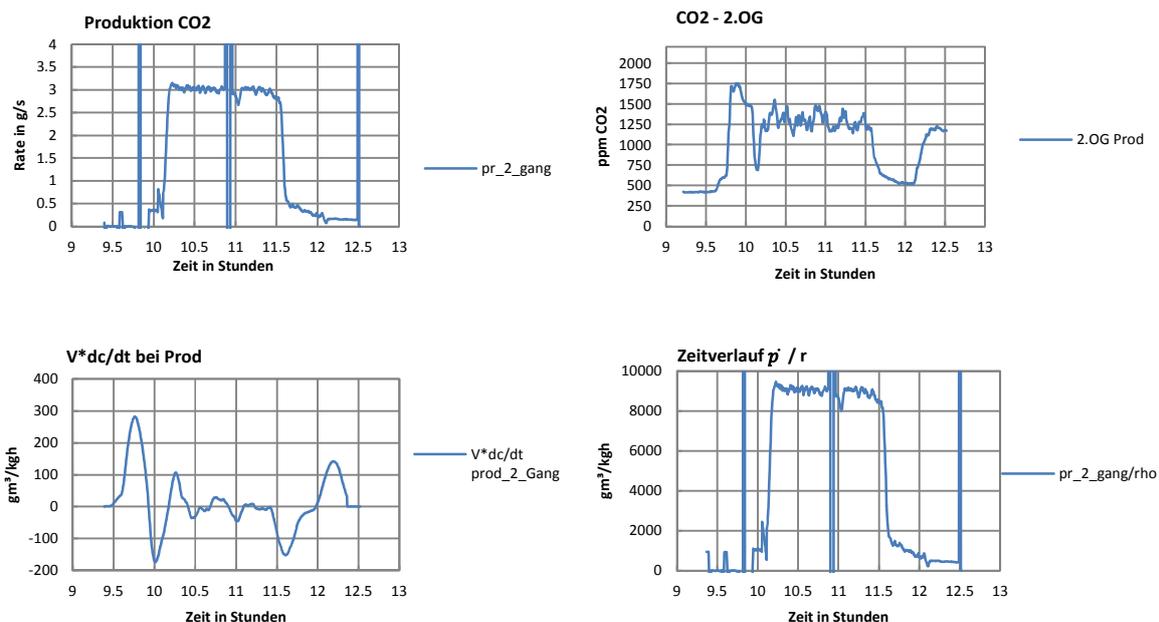


Abbildung 105: Auswertungsdetails am Beispiel der Messung vom 01.03.2012, Bereich Aufenthaltsraum 2.OG

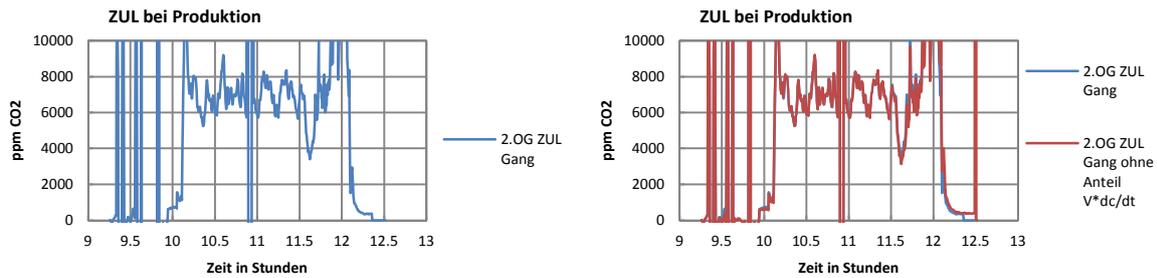


Abbildung 106: Auswertung des ZUL-Volumenstroms am Beispiel der Messung vom 01.03.2012, Bereich Aufenthaltsraum 2.OG

Praktisch bleibt diese Auswertung jedoch ohne zuverlässige Aussage, was am Beispiel einer Messung vom 01.03.2012 an Abbildung 105 und Abbildung 106 gezeigt wird.

Die CO₂-Quelle im Aufenthaltsraum im 2.OG wurde um 11:32 abgeschaltet (Abbildung 105, oben links), wodurch die CO₂-Konzentration in diesem Bereich durch die einströmende Frischluft exponentiell abnahm (Abbildung 105, oben rechts). Während bei laufender CO₂-Produktion der Anteil $V_r \cdot c_i$ von Gleichung (3) nahezu verschwand, (Abbildung 105, unten links), reichten nach Abschalten der Quelle geringe Konzentrationsschwankungen im Raum aus, um diesen Anteil $V_r \cdot c_i$ stark schwanken zu lassen. Gleichzeitig nahm jener Summand im Zähler von Gleichung (3), in welchen die Produktion einfließt, nach Abschalten der Quelle deutlich ab (Abbildung 105, unten rechts) und die Auswertung des ZUL-Volumenstroms (Abbildung 106, links) ließ keine plausiblen Ergebnisse zu. Der Betrieb einer CO₂-Quelle ist somit essenziell für die plausible Auswertung einer Messung.

Abbildung 105 unten zeigt darüber hinaus, dass der Anteil $\frac{\dot{p}_i}{\rho}$ bei Betrachtung von Räumen mit einem Volumen für übliche Büronutzung oder von Erschließungsgängen und bei Anwesenheit einer CO₂-Quelle im Raum gegenüber dem Anteil $V_r \cdot c_i$ um drei bis vier Zehnerpotenzen größer ist, weshalb bei der Auswertung des Volumenstromes unter Vernachlässigung dieses vergleichsweise unbedeutend werdenden Anteils kein wesentlicher Unterschied im Ergebnis gegeben ist (Abbildung 106, rechts) und Gleichung (3) zu

$$\dot{V} = \frac{\frac{\dot{p}_i}{\rho}}{(c_a - c_i)} \quad (4)$$

vereinfacht werden kann.

11.1.5 Auswertung der Abschlussmessungen vom 16.03.2012

Die Messungen vom 16.03.2012 wurden in der Zeit zwischen 8:45 und 15:35 mit CO₂-Produktionen in den Aufenthaltsbereichen am Gang in allen drei Geschossen sowie in den Büros im 2. und im 6. OG durchgeführt.

Phase 1, 8:45 bis 9:45: Am Beginn der Messungen waren sämtliche Türen zu den Büros geschlossen und die Quellen in diesen Räumen deaktiviert. Die Quellen wurden nur in den drei Aufenthaltsbereichen an den Gängen mit 50 % der maximalen Leistung betrieben, aufgrund der Erfahrungen der vorangegangenen Messungen sowie aufgrund von Ergebnissen

von Berechnungen an einem Simulationsmodell wurden folgende Fensteröffnungen bei den Fenstern zu den Aufenthaltsbereichen eingestellt:

- **2. OG Produktion Gang**, Fenster Gang offen mit 7.5 cm, ergibt $0,075 \cdot (2,2+0,7) = 0,22 \text{ m}^2$
- **6. OG Produktion Gang**, Fenster Gang offen mit 12 cm, ergibt $0,12 \cdot (2,2+0,7) = 0,35 \text{ m}^2$
- **9. OG Produktion Gang**, Fenster Gang offen mit 56 cm, ergibt $0,56 \cdot (2,2+0,7) = 1,34 \text{ m}^2$

Die Fensteröffnungen wurden somit von unten nach oben erhöht, um auch im 9. OG noch eine ZUL-Strömung in das Gebäude messen zu können.

In Phase 1 wurden folgende Produktionsraten und ZUL-Volumenströme gemessen:

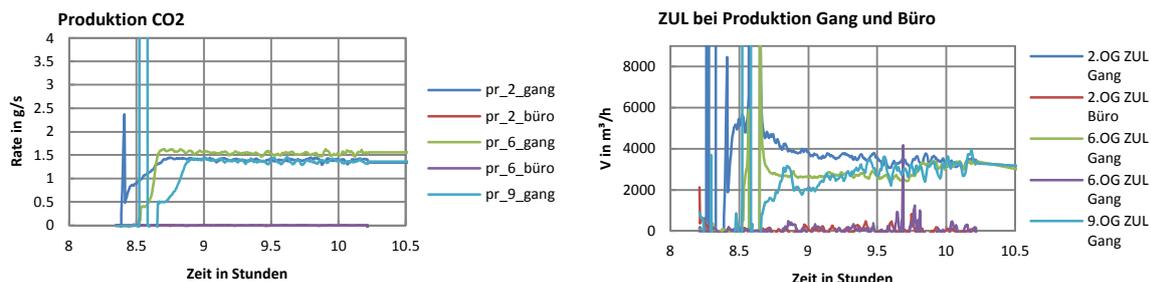


Abbildung 107: Auswertung des ZUL-Volumenstroms für die Phasen 1 und 2 vom 16.03.2012 in der Zeit zwischen 8:45 und 10:20

Mit der stabilen Produktion konnten ZUL-Volumenströme ausgewertet werden, die mit dem Rechenmodell gut übereinstimmen.

Phase 2, 9:45 bis 10:20: Die Fensteröffnungsflächen wurden im Vergleich zu Phase 1 verändert, um die Volumenströme im 2. und 6. OG zu verändern und die Auswirkungen in der Messung zu überprüfen. Die restlichen Einstellungen blieben unverändert. Folgende Fensteröffnungen wurden bei den Fenstern zu den Aufenthaltsbereichen eingestellt (die Veränderungen gegenüber der vorangegangenen Phase sind jeweils fett dargestellt):

- **2. OG Produktion Gang**, Fenster Gang offen mit 12 cm, ergibt $0,12 \cdot (2,2+0,7) = 0,35 \text{ m}^2$
- **6. OG Produktion Gang**, Fenster Gang offen mit 18 cm, ergibt $0,18 \cdot (2,2+0,7) = 0,52 \text{ m}^2$
- 9. OG Produktion Gang, Fenster Gang offen mit 56 cm, ergibt $0,56 \cdot (2,2+0,7) = 1,34 \text{ m}^2$

Abbildung 107 zeigt den Effekt der veränderten Fensterstellung ab 9:45 im gemessenen Volumenstrom im 6. OG.

Phase 3, 10:55 bis 13:00: Die CO₂-Produktionen in den Büros im 2. und 6. OG wurden mit 50 % der Maximalleistung aktiviert und die Türen dieser beiden Räume zu den Gängen geöffnet. Da die Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen bereits nachließen (siehe Abbildung 108 unten links) und somit die Volumenströme zurückgingen, wurden die Leistungen aller Quellen um 11:35 auf 25% der Maximalleistung reduziert, um die CO₂-Konzentrationen in den Messräumen nicht über die Messgrenze von 2000 ppm ansteigen zu lassen. Ab 10:55 waren folgende Fensterstellungen eingestellt (die Veränderungen gegenüber der vorangegangenen Phase sind jeweils fett dargestellt):

- 2. OG Produktion Gang, Fenster Gang offen mit 12 cm, ergibt $0,12 \cdot (2,2+0,7) = 0,35 \text{ m}^2$
- **2. OG Produktion Büro**, Fenster Büro offen mit 6 cm, ergibt $0,06 \cdot (2,2+1,25) = 0,21 \text{ m}^2$
- 6. OG Produktion Gang, Fenster Gang offen mit 18 cm, ergibt $0,18 \cdot (2,2+0,7) = 0,52 \text{ m}^2$

- **6. OG Produktion Büro**, Fenster Büro offen mit 8 cm, ergibt $0,08 \cdot (2,2+1,25) = 0,28 \text{ m}^2$
- 9. OG Produktion Gang, Fenster Gang offen mit 56 cm, ergibt $0,56 \cdot (2,2+0,7) = 1,34 \text{ m}^2$

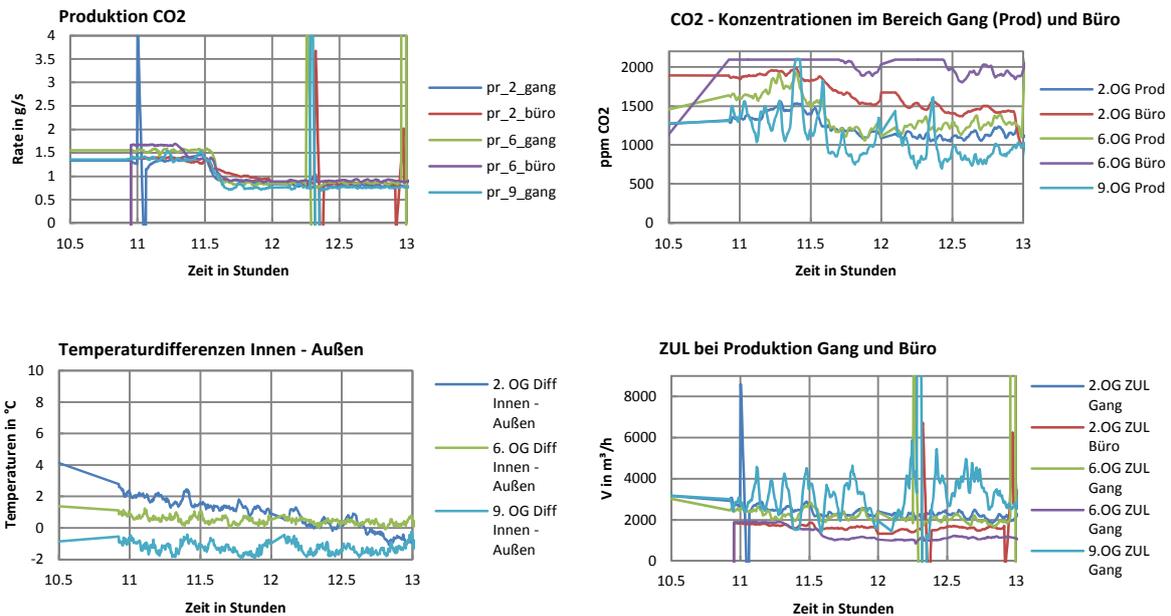


Abbildung 108: Auswertung des ZUL-Volumenstroms für die Phase 3 vom 16.03.2012 in der Zeit zwischen 10:30 und 13:00

Der thermische Auftrieb nahm aufgrund der an der besonnten Fassade ansteigenden Außentemperatur bei den Fenstern zu den Aufenthaltsbereichen ab. Die in Abbildung 108 dargestellte Differenz zwischen der Außen- und der Innentemperatur gibt einen Hinweis, die angegebene Differenz hängt von der gewählten Innentemperatur ab. Im vorliegenden Fall wurde ein Mittelwert über die im Geschöß verteilten Temperatursensoren als Innentemperatur angesetzt. Die schwächer werdende Strömung führte besonders im 9.OG zu stark schwankenden Innenkonzentrationen und in weiterer Folge zu einer stark schwankenden, nicht plausiblen ZUL-Strömung. Die ZUL-Volumenströme der restlichen 4 Öffnungen ließen sich auswerten und sind mit dem simulierten Werten vergleichbar. Am Konzentrationsverlauf im Büro im 6.OG ist der geringe ZUL-Volumenstrom zu erkennen, der sich auch in der Auswertung in Abbildung 108 unten rechts zeigt.

Phase 4, 12:55 bis 14:30: Weitere Veränderungen wurden vorgenommen, sodass folgende Fensterstellungen gegeben waren (die Veränderungen gegenüber der vorangegangenen Phase sind jeweils fett dargestellt):

- 2. OG Produktion Gang, Fenster Gang offen mit 12 cm, ergibt $0,12 \cdot (2,2+0,7) = 0,35 \text{ m}^2$
- **2. OG Produktion Büro**, Fenster Büro offen mit 50 cm, ergibt $0,5 \cdot (2,2+1,25) = 1,73 \text{ m}^2$
- **6. OG Produktion Gang**, Fenster Gang offen mit 50 cm, ergibt $0,5 \cdot (2,2+0,7) = 1,45 \text{ m}^2$
- 6. OG Produktion Büro, Fenster Büro offen mit 8 cm, ergibt $0,08 \cdot (2,2+1,25) = 0,28 \text{ m}^2$
- 9. OG Produktion Gang, Fenster Gang offen mit 56 cm, ergibt $0,56 \cdot (2,2+0,7) = 1,34 \text{ m}^2$

Im Verlauf dieser Phase wurde die Leistung der CO₂-Produktionen gemäß Abbildung 109 angehoben (2. OG Produktion Büro und 6. OG Produktion Gang), um dem erwarteten Volumenstrom ausreichende Konzentrationen zu bieten, bzw. abgesenkt (6. OG Produktion Büro). Unmittelbar nach der Veränderung wurde in beiden Zonen, in denen um ca. 13:00 Uhr die Fenster weiter geöffnet werden, ein deutlich höherer Volumenstrom gemessen, der in

etwa auch dem im Simulationsmodell errechneten Volumenstrom entspricht. Gleichzeitig war zu beobachten, wie der Volumenstrom im 6.OG Büro noch weiter zurückging. Diese Reduktion im Volumenstrom ist auf den Widerstand des Fensters im Büro, der in Relation zum Widerstand des weit geöffneten Fensters im Gangbereich größer geworden ist, zurückzuführen.

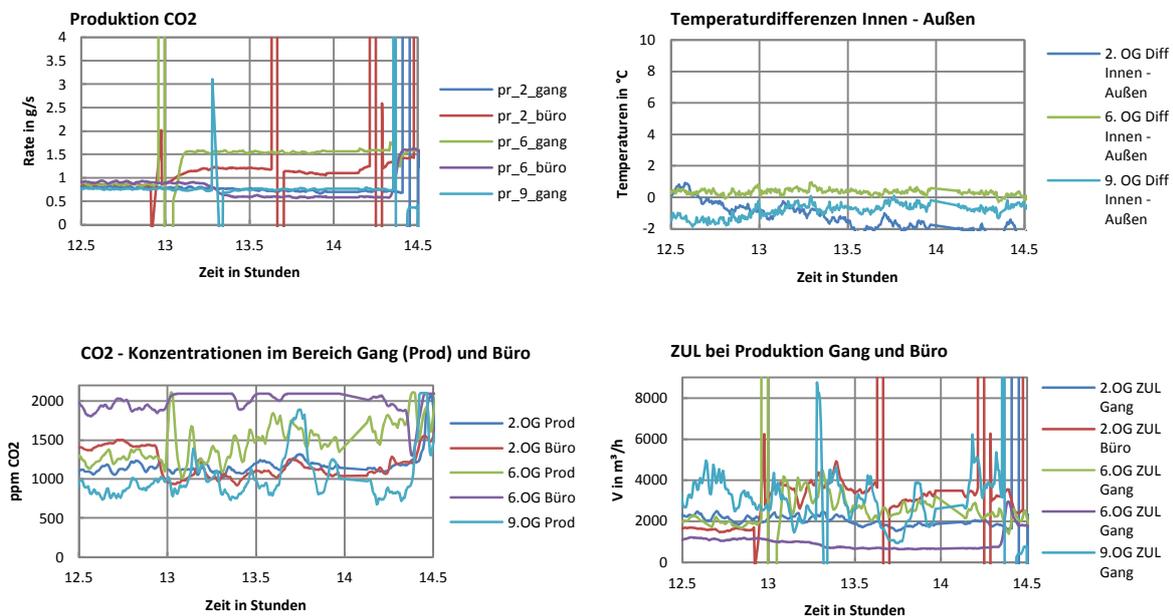


Abbildung 109: Auswertung des ZUL-Volumenstroms für die Phase 4 vom 16.03.2012 in der Zeit zwischen 12:55 und 14:30

Phase 5, 14:40 bis 15:30: Weitere Veränderungen wurden vorgenommen, sodass folgende Fensterstellungen gegeben waren (die Veränderungen gegenüber der vorangegangenen Phase sind jeweils fett dargestellt):

- **2. OG Produktion Gang**, Fenster Gang offen mit 50 cm, ergibt $0,5 \cdot (2,2 + 0,7) = 1,45 \text{ m}^2$
- **2. OG Produktion Büro**, Fenster Büro offen mit 74 cm, ergibt $0,5 \cdot (2,2 + 1,25) = 2,55 \text{ m}^2$
- 6. OG Produktion Gang, Fenster Gang offen mit 50 cm, ergibt $0,5 \cdot (2,2 + 0,7) = 1,45 \text{ m}^2$
- **6. OG Produktion Büro**, Fenster Büro offen mit 74 cm, ergibt $0,5 \cdot (2,2 + 1,25) = 2,55 \text{ m}^2$
- 9. OG Produktion Gang, Fenster Gang offen mit 56 cm, ergibt $0,56 \cdot (2,2 + 0,7) = 1,34 \text{ m}^2$

Die Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen nahmen weiter ab, sodass die Auswertung des Volumenstromes unzuverlässiger wurde und der anliegende Winddruck zur treibenden Kraft wurde. Am Beginn dieser Phase nahm der gemessene ZUL-Volumenstrom im 2. OG beim weit geöffneten Fenster im Büro deutlich zu, während im Gang beim Aufenthaltsbereich keine wesentlichen Veränderungen gemessen werden konnten. Ein ähnlicher Anstieg war im 6.OG beim Fenster Büro zu messen. Der weitere Verlauf kann als nicht mehr aussagekräftig ausgeschieden werden.

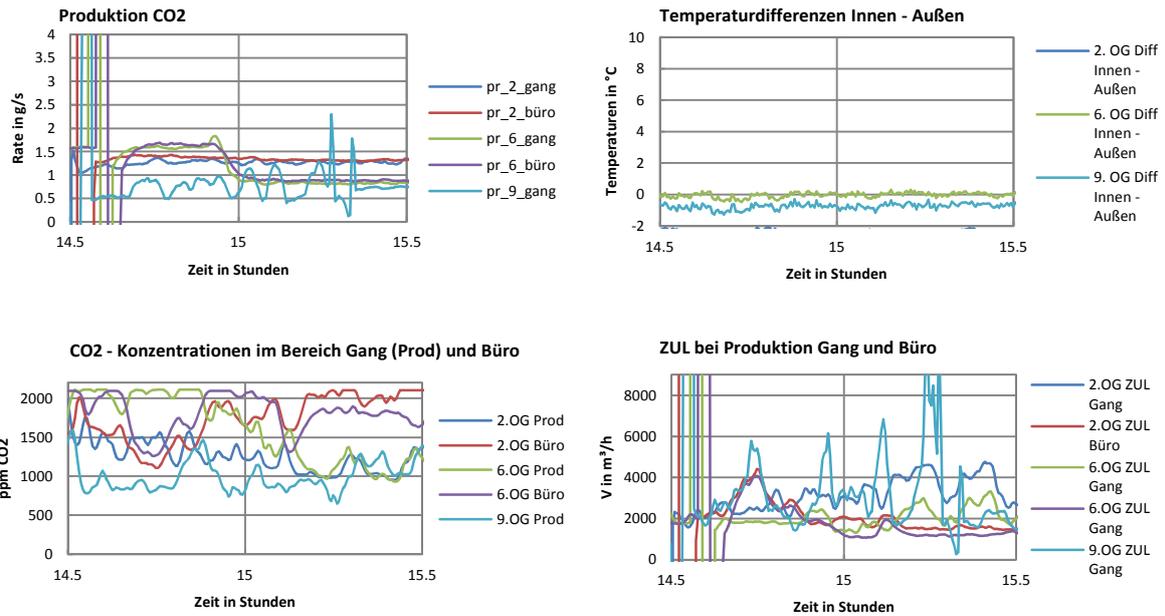


Abbildung 110: Auswertung des ZUL-Volumenstroms für die Phase 5 vom 16.03.2012 in der Zeit zwischen 14:40 und 15:30

11.1.6 Schlussfolgerungen

Aus obigen Messungen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die Messung von Volumenströmen in großvolumigen Bauten ist möglich, was bisher eine sehr schwierige Aufgabe war.
- Eine Vergleichbarkeit mit den berechneten Werten aus einem Simulationsmodell ist gegeben.
- Zu geringe Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen führen zu instabilen Strömungen, deren Messung mit der vorliegenden Methode nicht mehr zuverlässig möglich ist.

11.2 Beleuchtung Messungen

11.2.1 Aufgabenstellung und Grundlagen

In der Entwurfsphase des Projekts wurde die Effizienz von Stehleuchten untersucht und der Energieverbrauch mit der installierten Deckenleuchte verglichen. Die Leistungsmessungen wurden in einem Raum der TU Wien, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz durchgeführt.

Die untersuchten Stehleuchten benötigen im Maximum 128 W (Zumtobel CAPA) bzw. 127 W (Zumtobel MINIMUM LITE). Bei den Stehleuchten wurden folgende Standby-Werte gemessen:

- CAPA - SL1: zwischen 0,61 und 0,70 W¹⁷
- CAPA - SL2: zwischen 0,11 und 0,19 W
- Minium Lite 1 – SL3: zwischen 0,32 und 0,35 W
- Minium Lite 2 – SL4: zwischen 0,30 und 0,32 W

Dies bedeutet 1,6 W Dauerleistung für den Raum durch den Standby-Verbrauch.

Die Deckenleuchten sind in zwei Kreisen aufgeteilt. Der vordere Kreis mit 4 Leuchtstoffröhren und der hintere Kreis mit 8 Leuchtstoffröhren zu je 58 W Lichtleistung. Die Deckenleuchten benötigen kein Standby.

11.2.2 Auswertung eines Tages – Stehleuchte 300 lux

Im Folgenden wird die Auswertung der Leistungsaufnahme der Stehleuchten im Laufe eines Tages dargestellt und erläutert.

Die Beleuchtungsstärke der Stehleuchten ist für diese Variante auf 300 lux einreguliert. In der folgenden Abbildung sind die Leistungsaufnahmen der vier verschiedenen Stehleuchten und die Diffus- bzw. Globalstrahlung am 7.2.2011 dargestellt.

¹⁷ Die Abweichung des Standby-Verbrauchs zwischen CAPA –SL 1 und SL 2 kommt laut Hersteller durch einen Produktionsfehler, welcher nach dem Messzeitraum durch einen Austausch der Lampe SL1 behoben wurde.

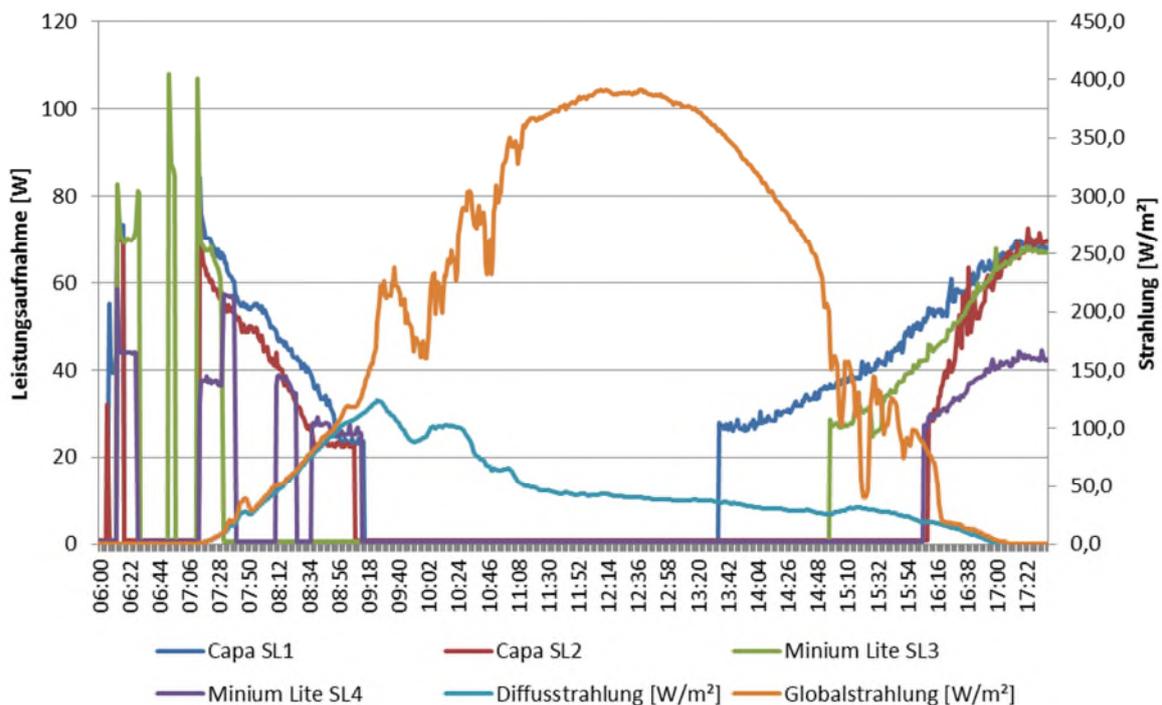


Abbildung 111: Auswertung 7.2.2011 – Stehleuchten 300 lux

In der Abbildung ist zu sehen, dass die Reinigungskraft um ca. 6.00 Uhr den Raum betritt und die NutzerInnen um 7.10 Uhr eintreffen. Mit Steigerung der Diffus- bzw. Globalstrahlung sinkt der Energieverbrauch der Stehleuchten, da sich diese in Abhängigkeit des natürlichen Lichts einregulieren. Die MINIUM LITE SL3 und SL4 schaltet sich öfter ein und aus: Das liegt höchstwahrscheinlich daran, dass an diesem Vormittag die Arbeitsplätze AP5 bis AP8 nicht besetzt waren. Die Abschaltung der Stehleuchten erfolgt nahezu gleichzeitig bei einer Globalstrahlung von ca. 120 W/m². Die Einschaltung der Stehleuchten erfolgt nicht synchron. Dies kann aus der NutzerInnenanwesenheit und an der verschiedenen Empfindlichkeit der Lichtsensoren liegen.

11.2.3 Auswertung Tag – Deckenleuchten

Die Deckenleuchten verfügen über einen keinen Lichtsensor und über keinen Bewegungsmelder. Diese Beleuchtung wird von den NutzerInnen über manuell ein- und ausgeschaltet.

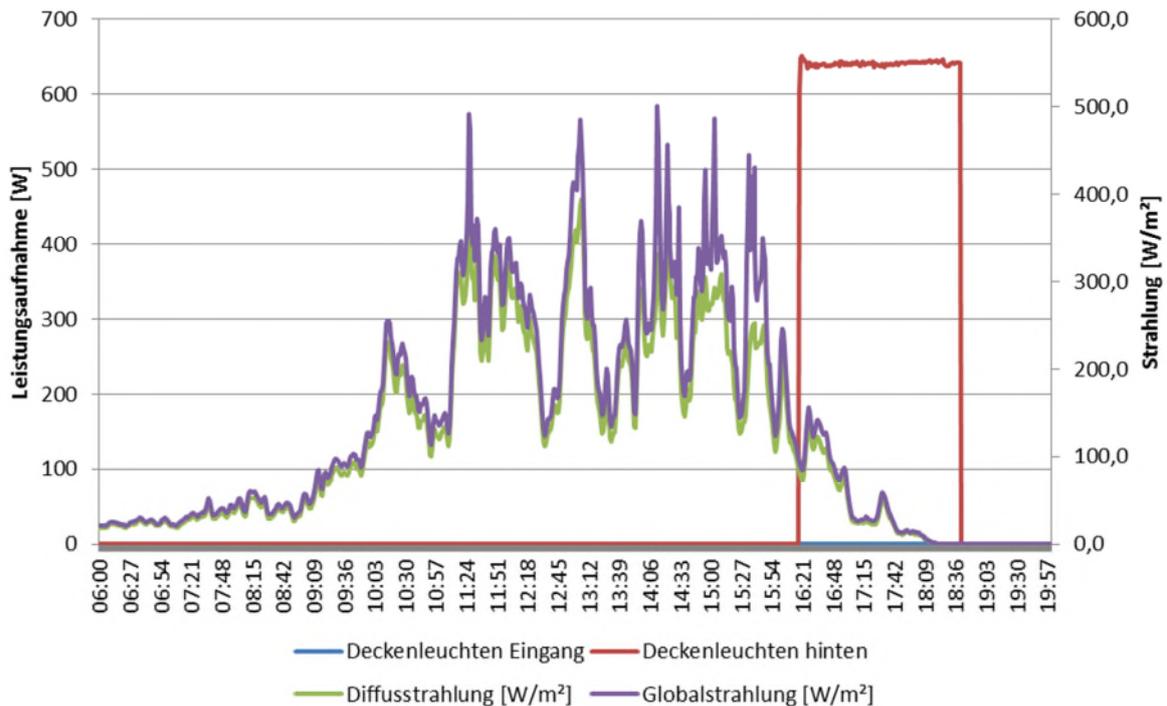


Abbildung 112: Auswertung 8.9.2011 – Deckenleuchten

Die natürliche Belichtung reicht in der Früh aus, sodass keine NutzerIn das Licht eingeschaltet hat. Erst bei einer Strahlung unter 100 W/m² wurde das Licht aktiviert.

11.2.4 Beurteilung und Ausblick

Die Messungen haben ergeben, dass die Deckenbeleuchtung nicht viel mehr Energie als die Stehleuchten verbraucht, obwohl die installierte Leistung in dem Versuchsraum doppelt so hoch ist. Dies liegt an folgenden Punkten:

- Die Stehleuchten schalten sich immer ein, wenn die Beleuchtungsstärke unterschritten wird.
- In diesem Büro arbeiten alle NutzerInnen am Laptop bzw. am Computer. Es wird generell viel am Computer und nicht auf Papier gelesen. Das senkt die Einschaltwahrscheinlichkeit der Deckenbeleuchtung. Die NutzerInnen aktivieren die Deckenleuchten erst spät.
- Die Stehleuchten können nicht komplett abgeschaltet werden. Auch wenn am Nachmittag noch kein künstliches Licht benötigt wird, schaltet sich die Stehleuchte ein.
- Das Einsparpotenzial der Stehleuchten wird auch durch den Erfassungswinkel der eingebauten Bewegungsmelder geschmälert. Nicht benötigte Stehleuchten werden aktiviert, wenn jemand z.B. an einem leeren Platz vorbei geht. Hier gibt es noch Verbesserungsbedarf bei den Herstellern.
- Das Arbeiten mit den Stehleuchten wurde von den meisten NutzerInnen als sehr angenehm beurteilt.

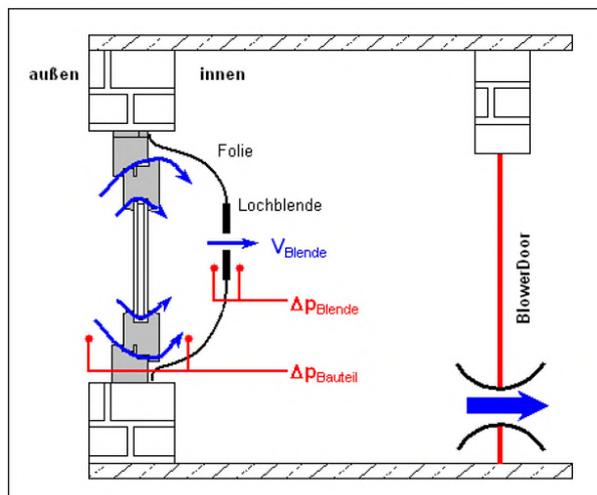
Das grundsätzliche Beleuchtungskonzept aus der Entwurfsphase mit Stehleuchten als Arbeitsplatzbeleuchtung wurde in der Ausschreibungsphase von der TU Wien aus Gründen der Diebstahlsicherheit abgelehnt und daher nicht weiter verfolgt.

11.3 Luftdichtheit der Fassade Messung

Die erste Messung der Luftdichtheit der Fassade wurde am 06.06.2013 am Musterelement im 3.OG mittels der A-Wertmessung durchgeführt. Mit diesem Verfahren konnte die Luftdichtheit des Fensterelements nachgewiesen werden.

Die gemessene Luftdurchlässigkeit liegt bei allen 3 Messungen unter den geforderten $q_{50} = 0,40 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.

- Messung Überdruck 10 mm:
 $q_{50} = 0,363 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2) < q_{50} = 0,40 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$
- Messung Unterdruck 10 mm:
 $q_{50} = 0,319 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2) < q_{50} = 0,40 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$
- Messung Unterdruck 9 mm:
 $q_{50} = 0,286 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2) < q_{50} = 0,40 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$



Schemazeichnung



Fensterelement (Musterfassade) 3.OG

Abbildung 113: Darstellung Messaufbau A-Wertmessung und Foto Fensterelement während Messung

Das gemessene Element entspricht den Anforderungen der Luftdichtheit. Im Zuge dieser Messung konnten keine Stoßstellen vom Fensterband zum Parapetbereich untersucht werden. Die Messung inklusive Stoßstellen wird im Zuge der Messung des gesamten Gebäudes, nach Fertigstellung des Berichtes, bewerkstelligt.

11.4 Monitoringkonzept

Im Plus-Energie-Bürogebäude der TU Wien am Standort Getreidemarkt sind eine Vielzahl von innovativen technischen Lösungen zur Steigerung der Energieeffizienz eingesetzt. Durch ein umfangreiches Monitoring können die Auswirkungen und Planung dieser Lösungen genau überprüft, dokumentiert, nachvollzogen und gegebenenfalls verbessert werden. Weiters können das NutzerInnenverhalten, die genauen Energieflüsse im Gebäude, die Funktionsweise des Gebäudes besser erfasst und Aufschluss und Anreize für weitere Forschungsaktivitäten gegeben werden. Das dreijährige Monitoring des Plus-Energie-Bürogebäudes wird durch die TU Wien (Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz) begleitet und ausgewertet und beginnt am 1. Juli 2014.

Grundsätzlich werden alle wesentlichen Energieströme für Heizung, Kühlung und Strom sowie Wetterdaten und Raumluftqualität zumindest in einem Intervall von 15 Minuten aufgezeichnet.

Das Heizungsmonitoring umfasst neben einem Hauptzähler alle Subzähler am Heizungsverteiler. Zusätzlich werden einzelne repräsentative Abgänge (z.B.: Fußbodenheizung, Abwärmenutzung Serverraum) gesondert gemessen. Durch die Zählung des gesamten Wärmeverbrauchs und der einzelnen Heizungsabgänge kann der Wärmeverbrauch genau zugeteilt werden. Dies gibt Aufschluss über das Verbrauchverhalten und über die Qualität des Heizungssystems in Kombination mit der thermischen Gebäudehülle und dem Wetter.

Das Kältemonitoring umfasst neben zwei Hauptzählern für die Kältemaschine und Free-Cooling Einheit alle Subzähler ausgehend vom zentralen Kälteverteiler. Zusätzlich werden einzelne repräsentative Abgänge (z.B.: Fußbodenkühlung, Deckenkühlung, Serverkühlung) gesondert gemessen. Dadurch kann neben einer genauen Zuteilung der Kälteenergien auch eine Berechnung von Jahresarbeitszahlen und COPs erfolgen (z.B.: Kältemaschine JAZ im Normal-, bzw. Free-Cooling Betrieb).

Beim Monitoring des Stromverbrauches werden neben der gesamten Haustechnik auch detaillierte Messungen bezüglich des NutzerInnenstroms gemacht. Der Stromverbrauch wird grundsätzlich für alle Geschoße gesondert gemessen. Zusätzlich wird der Stromverbrauch in den Geschoßen 4.OG und 9.OG für die Beleuchtung, diverse Steckdosen-Kreise, EDV, Küche, Jalousie, Zutrittskontrolle, Durchlauferhitzer und EDV-Infrastruktur-Raum detailliert gemessen. Alle relevanten Strommengen für den Gebäudebetrieb werden erhoben. Dies betrifft im Wesentlichen Lüftungsanlagen, Pumpenstrom, MSR, Kältemaschine, Free-Cooling, Rückkühler, Server, Aufzüge usw. Darüber hinaus wird der Ertrag der Fotovoltaikanlage gemessen und ausgewertet.

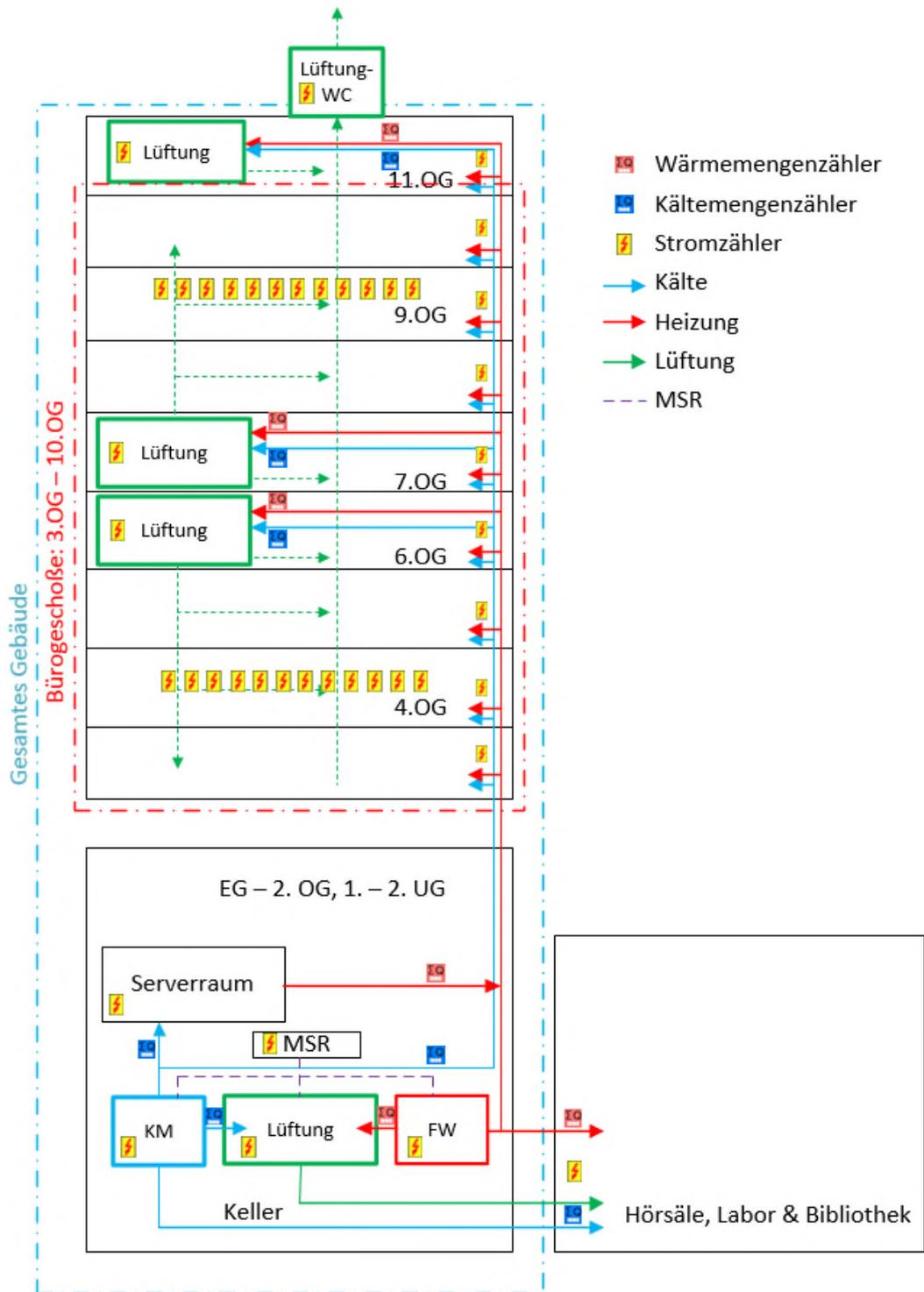


Abbildung 114: Energie- und Monitoringkonzept im Plus-Energie-Bürogebäude