

Neubau Pollmeier Massivholz GmbH

Forschungsvorhaben „Neubau des Verwaltungsgebäudes der
Pollmeier Massivholz GmbH in Creuzburg“
Förderkonzept Solar optimiertes Bauen, Teil 3 des
Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie



Schlussbericht Phase II

Auftraggeber: Zentrum für umweltbewusstes Bauen
Gottschalkstr. 28
34109 Kassel

Bearbeitung: **solaresbauen** GmbH
Dipl.-Ing. Christian Neumann
Dipl.-Ing. Karin Herrmann

Freiburg im März 2004

Auftraggeber: Zentrum für umweltbewusstes Bauen
Herr Laudenbach
Gottschalkstr. 28
34109 Kassel
Tel.: 0561/804-3188
Fax: 0561-804-3187
email: laudenbach@zub-kassel.de

solaresbauen GmbH

Freiburg, den 19.03.2004

Dipl.-Ing. Martin Ufheil
(Geschäftsführer)

Dipl.-Ing. Christian Neumann

Inhalt

Einleitung.....	1
1 Kurzfassung.....	2
2 Das Verwaltungsgebäude der Pollmeier Massivholz GmbH.....	4
2.1 Geometrische Kenndaten des Gebäudes.....	4
2.2 Baukonstruktion	4
2.3 Wärmeschutz	6
2.4 Technikkonzept des Gebäudes	6
2.4.1 MSR/ Gebäudeleittechnik (GLT).....	6
2.4.2 Wärmeversorgung / Wärmeverteilung	7
2.4.3 Strom.....	8
2.4.4 Lüftung	9
2.4.5 Warmwasserbereitung.....	13
2.4.6 Beleuchtung/ Kunstlichtregelung	13
2.4.7 Jalousiesteuerung	13
3 Energiebilanz.....	15
3.1 Messdaten 2002 + 2003.....	15
Wärme.....	15
3.1.2 Strom.....	18
3.2 Vergleich der Messdaten mit der Planung	21
3.3 Vergleich der Messdaten mit den Vorgaben des Forschungsprogramms	23
3.4 Überarbeitung der Simulation	24
4 Detailanalysen	28
4.1 Effizienz Lüftung.....	28
4.1.1 Spezifischer Stromverbrauch Abluft.....	28
4.1.2 Nachtlüftung	29
4.2 Abhängigkeit Heizlast von Solarstrahlung	34
4.3 Regelalgorithmen der Heizung	35
4.3.1 Frostschutz.....	36
4.3.2 Auskühlverluste	36

4.4 Betriebszeit	36
5 Thermische Behaglichkeit.....	39
5.1 Raumtemperaturen im Gebäude	39
5.1.1 Bürogeschosse.....	40
5.1.2 Erdgeschoss.....	43
5.1.3 Atrium.....	44
5.1.4 Einflussgrößen auf die Innentemperatur	45
Quellennachweis	49
Anhang	I
Anhang 1	I
Lageplan und Grundrisse	I
Anhang 2	V
Zonierung der Simulation.....	V
Anhang 3	VI
Berechnung der Kapazität der Radiatorenheizung.....	VI

Einleitung

Die Fa. Pollmeier Massivholz GmbH ist ein exportorientiertes mittelständisches Unternehmen der Holzverarbeitenden Industrie mit insgesamt 400 Mitarbeitern. Für die Hauptverwaltung in Creuzburg (bei Eisenach) hat der Bauherr ein neues Verwaltungsgebäude für bis zu 100 Mitarbeitern errichtet.

Die Konzeption des Gebäudes ist nicht Ergebnis eines Wettbewerbs. Vielmehr wurden die Architekten aufgrund eines vergleichbaren Referenzobjektes unmittelbar vom Bauherrn angesprochen. Das Projektteam selbst hat sich aufgrund einer früheren Zusammenarbeit bei einem ähnlichen Projekt ergeben.

Die Motivation für ein TK3 Demo-Projekt entstand aus dem Wunsch des gesamten Planungsteams sowie des Bauherrn im speziellen ein innovatives Gebäude mit entsprechender Außenwirkung zu errichten.

Dieser Bericht beschreibt die Ergebnisse der 2-jährigen Monitoring Phase des Projektes (Anfang 2002 bis Ende 2003). Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Feststellung der Energiebilanz des Gebäudes und dem Vergleich mit den Planungswerten bzw. den Vorgaben des Forschungsprogramms

1 Kurzfassung

Ziel des Projektes war die Schaffung von optimalen Arbeitsplatzbedingungen hinsichtlich Tages- und Kunstlicht sowie in Bezug auf das zu erwartende Raumklima. Diese Qualität sollte mit einer schlanken Gebäudetechnik und einem Höchstmaß an Energieeffizienz erreicht werden. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein umfangreiches Energiekonzept mit Hilfe von Simulationswerkzeugen erarbeitet, das die Bereiche Wärmeschutz, Raumklima, Tageslicht und Haustechnik abdeckt.

Über den Zeitraum des Monitoring-Projektes – Anfang 2002 bis Ende 2003 wurden die Ziele anhand der Messdaten überprüft. An erster Stelle steht die Überprüfung der Energiebilanz.

Energiebilanz

Die Zielwerte der Planung und des Forschungsprogramms solarbau:MONITOR werden nicht vollständig erreicht. Ursache hierfür ist in erster Linie der erhöhte Heizenergieverbrauch und der erhöhte Energiebedarf für die Beleuchtung auf den Bürogeschossen.

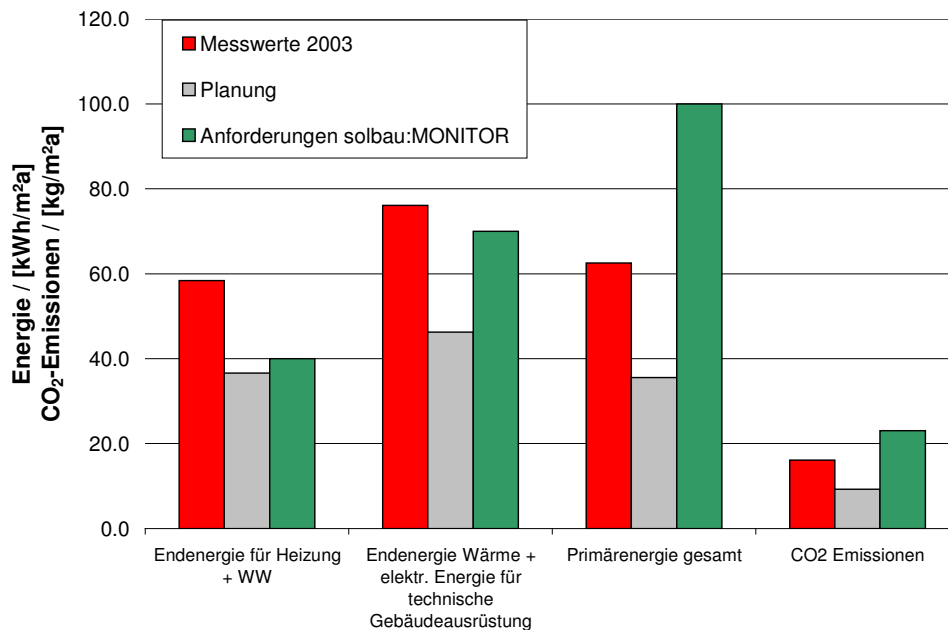


Abb. 1 Endenergie, Primärenergie, CO₂-Emissionen
Vergleich von Messwerten, Planung und Zielen des Forschungsprogramms

Tab. 1 Endenergie, Primärenergie, CO₂-Emissionen
Vergleich von Messwerten, Planung und Zielen des Forschungsprogramms

		2003	Planung	solarbau Monitor
Endenergie für Heizung + WW	kWh/m ² a	58,4	36,6	≤ 40
Endenergie Wärme + elektrische Energie für technische Gebäudeausrüstung	kWh/m ² a	78,3	49,3	≤ 70
Primärenergie gesamt*	kWh/m ² a	65,2	37,0	≤ 100
CO₂-Emissionen**	kg/m ² a	16,1	9,3	≤ 23

* Primärenergiefaktoren entsprechend EnEV, ** Emissionswerte entsprechend GEMIS 4

- Erhöhter Heizenergieverbrauch
Dieser wird hauptsächlich verursacht durch höhere Raumtemperaturen und durch den Einsatz des Sonnenschutzes als Blendschutz bzw. durch vermehrte Lüftung über die Fenster. Da diese Größen in hohem Maße Nutzerabhängig sind, ist eine Optimierung aus technischer Sicht nicht möglich.
- Erhöhter Energiebedarf für Beleuchtung
Aufgrund der Platzierung der Arbeitsplätze und der farblichen Raumgestaltung sind die Betriebszeiten der Beleuchtung gegenüber den Annahmen der Planung deutlich erhöht. Optimierungspotenziale bestehen auch hier nur in geringem Umfang, wenn nicht maßgeblich in die Arbeitsorganisation bzw. die Innenarchitektur eingegriffen werden soll.

Raumklima

Die gemessenen Raumtemperaturen sind aus als angenehm zu bezeichnen. Insgesamt werden in den Büroazonen nur in 150 –300 Stunden im Jahr Raumtemperaturen über 26°C erreicht. Das entspricht 2 bis 3,5 % des Jahres. Die jährlichen Maximaltemperaturen liegen bei 28°C bis 29°C.

Die Luftfeuchte im Winter liegt zum Teil jedoch sehr niedrig, bei Werten um 30%.

Die Effizienz der Nachtlüftung liegt mit einem COP zwischen 8 und 20 sehr hoch und damit deutlich über den Werten von konventionellen Kühlsystemen.

2 Das Verwaltungsgebäude der Pollmeier Massivholz GmbH

Das Gebäude ist mit einer Abweichung von Norden um 22° nach Westen orientiert. Der Standort ist freiliegend ohne Verschattung. Das zentrale, verglaste Atrium wird von drei Geschossen umfasst, die über jeweils eine Treppe auf der Ost- und Westseite und einen Aufzug erschlossen sind. Im 1. und 2. OG befinden sich großzügige Gruppenbüros, die durch teilweise umsetzbare Wandscheiben in Zonen aufgeteilt werden. Um das zentrale Atrium gruppieren sich auf Eingangsebene ein Showroom, nach Norden orientiert, verschiedene Besprechungs- und Schulungsräume nach Osten orientiert, sowie auf der Westseite Serviceräume, ein Haustechnikraum und eine Garküche mit Cafeteria nach Süden. Der Lageplan und die Grundrisse sind im Anhang 1 aufgeführt.

2.1 Geometrische Kenndaten des Gebäudes

Tab. 2 geometrische Kenndaten [2], [3]

Bruttovolumen	16.847 m ³
A/V-Verhältnis	0,32
Nettogrundfläche (beheizt)	3.489 m ²
Hüllflächen	
Außenwand	977 m ²
Boden zu UG / außen	1.258 m ²
Dach	1.420 m ²
Fenster	1.060 m ²

Mit einem A/V-Verhältnis von 0,32 m⁻¹ ist der Baukörper sehr kompakt. Ost- und Westfassade besitzen einen moderaten Fensterflächenanteil von ca. 30%, während die Nord- und Südfassaden einem großzügigen Fensterflächenanteil von ca. 50% vorweisen. Die Büroräume sind zum Atrium hin vollflächig fest verglast. Die beheizte Nettogrundfläche ist Energiebezugsfläche des Gebäudes.

2.2 Baukonstruktion

Das Gebäude ist eine Stahlskelettkonstruktion mit massiven Decken ohne Unterzüge mit Stützen. Die Fassaden bestehen aus vorgefertigten Holzelementen. Auf der Innenseite der Wand sind vorgefertigte Betonplatten zur Erhöhung der inneren Masse vorgesehen. Im Rahmen des innenarchitektonischen Konzepts und zur Verbesserung der

Raumakustik sind diese z. T. mit Stoff bespannt. Die Fassadendämmung ist nicht in den Holzelementen integriert und wurde nachträglich von außen aufgebracht und mit einer vorgehängten Fassade abgeschlossen. Besondere Beachtung galt bei der Konstruktion der Luftdichtheit der Fassade. Ein Blower Door Test mit geschlossenen Schlitzschiebern in der Fassade erbrachte ein gutes Ergebnis von $n_{50}=0,7 \text{ h}^{-1}$.



Abb. 2 Stahlskelettkonstruktion des Gebäudes. Im 1. OG sind bereits die vorgefertigten Wandelemente aus Beton zur Erhöhung der internen Masse des Gebäudes erkennbar.

Das Dach des Atriums besteht aus einer rostartigen Holz-Stahl-Konstruktion, die mit einer Shedverglasung über dem umlaufenden Baukörper schwebt. Das Hauptdach des Gebäudes ist als extensiv begrüntes Flachdach ausgeführt.



Abb. 3 links: Tragkonstruktion des Atriumdachs im Bau,
rechts: Blick vom EG im Atrium auf das Sheddach.

2.3 Wärmeschutz

Die Dämmstärken wurden im Rahmen des Energiekonzeptes nach dem Gesichtspunkt des Preis-Leistungs-Verhältnisses optimiert.

Tab. 3 Dämmstärke und U-Wert der Bauteile

Bauteil	Dämmstärke	U-Wert
Außenwand Erdgeschoss	16 cm	0,199 W/m ² K
Außenwand Bürogeschosse	30 cm	0,129 W/m ² K
Boden gegen Außen	16 cm	0,202 W/m ² K
Boden EG	12 cm	0,263 W/m ² K
Flachdach	24 cm	0,140 W/m ² K
Dach Atrium	24 cm	0,162 W/m ² K
Außenfenster	g-Wert: 0,58	1,4 W/m ² K

Der Nachweis entsprechend der WSVO '95 (zum Zeitpunkt der Erstellung des Gebäudes noch gültig) mit den in Tab. 3 genannten Werten ergibt einen Jahresheizwärmebedarf von 31,16 kWh/m²_Na. Der maximal zulässige Wert von 60,95 kWh/m²_Na wird um 49% unterschritten.

2.4 Technikkonzept des Gebäudes

2.4.1 MSR/ Gebäudeleittechnik (GLT)

Das Gebäude ist mit einer umfassenden Leittechnik ausgestattet. Ein zentraler Rechner fasst die Funktionen aller DDC-Unterstationen durch das zugehörige Datennetz zusammen und ermöglicht eine zentrale Bedienung, Überwachung und Auswertung der Anlagensysteme. Anlagenbilder visualisieren die Betriebszustände, das Zeitschaltprogramm und die einzustellenden Parameter der Anlagen.

Die Datenwerte der GLT werden im 2-Minuten-Takt auf einem Server in einer Oracle Datenbank gespeichert. Das Zentrum für umweltbewusstes Bauen e.V. an der GH Kassel (ZUB) verwaltet die Datenbank. Die Datenspeicherung bis zum 19. Februar 2002 ist sehr unzuverlässig und fehlerhaft. Die Daten können bis dahin zum größten Teil nicht verwendet werden. Durch eine Veränderung der Datenspeicherung der GLT wurden die Daten ab dem 20. Februar 2002 zuverlässig gespeichert. Mehrere Datenpunkte wurden im Laufe des Jahres der Datenbank zugeführt, so dass am Ende des Jahres 2002 die Werte von insgesamt 373 Datenpunkten abgerufen werden können. Zur Aktualisierung der Datenwerte ist jedem der Datenpunkte eine so genannte Rasterklasse hinterlegt. D. h. erst wenn sich der Wert um eine bestimmte Anzahl an Einheiten verändert hat, wird der neue Wert an die GLT weitergegeben.

Ändert sich der Wert innerhalb 2 Minuten nur innerhalb der Rasterklasse, erhält die GLT keine Aktualisierung und der bestehende Wert in der GLT wird auf dem Server gespeichert. Wird das Datennetz durch keine Meldung der Beteiligten beansprucht, werden die Datenwerte durch die GLT abgefragt und unabhängig von den Rasterklassen laufend aktualisiert.

Auf dem Dach des Gebäudes ist eine Wetterstation installiert, die alle relevanten Daten des Klimas erfasst. Da die Anordnung der Sensoren zunächst unvorteilhaft war, so dass sie sich gegenseitig beeinflusst haben, wurde der Wettermast Anfang Juli 2003 umgebaut.

Weiterhin wurde festgestellt, dass die Strahlungswerte des Pyranometers korrigiert werden müssen. Im Rahmen der Diplomarbeit von Jeannette Wapler wurde mit Hilfe eines Strahlungssimulationsprogramms ein Korrekturfaktor von 1,36 für die Strahlungswerte ermittelt [5].

2.4.2 Wärmeversorgung / Wärmeverteilung

Auf dem Gelände der Pollmeier Massivholz GmbH besteht ein ausgedehntes Nahwärmenetz. Die Wärme wird mit Restholz aus der eigenen Produktion erzeugt, so dass die Energie regenerativ und ohne Kostenaufwand für den Brennstoff bereitgestellt wird.

Sieben Wärmemengenzähler erfassen die Wärmeverteilung im Gebäude.

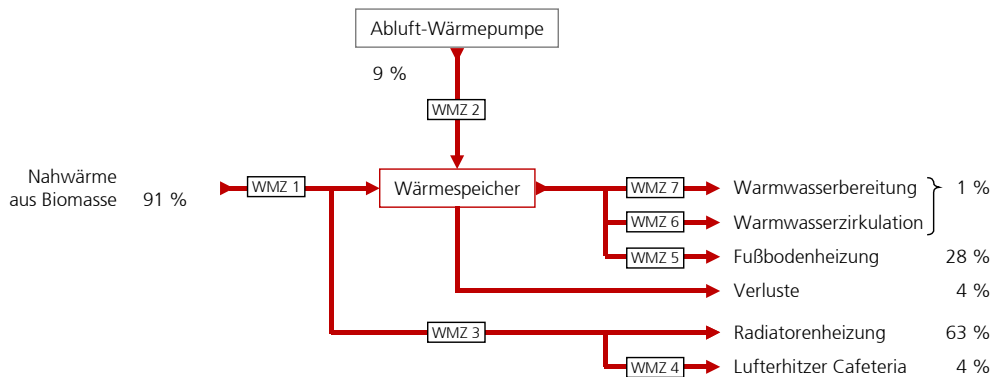


Abb. 4 Wärmeenergieverteilung im Gebäude
(%-Aufteilung entsprechend der Messwerte 2002)

Das Nahwärmenetz und die Abluftwärmepumpe versorgen einen Wärmespeicher mit 950 l Wasserinhalt. Die thermische Warmwasserbereitung und die Fußbodenheizung beziehen ihren Energiebedarf aus dem Wärmespeicher. Die Radiatoren beziehen ihre Wärme direkt aus dem Nahwärmenetz, ebenso wie der an diesen Heizkreis angeschlossenen Lüfterhitzer der Zuluft Cafeteria.

Die Wärmeabgabe erfolgt in den Büroräumen der Obergeschosse über Rippenrohrheizkörper und im EG über eine Fußbodenheizung, die in den

fassadennahen Bereichen von Konvektoren unterstützt wird. In allen Sanitärräumen sind Flächenheizkörper installiert. Basissystem der Radiatoren ist eine einfache Pumpenwarmwasserheizung in Zweirohrausführung. Alle Pumpen sind selbstregelnde Energiesparpumpen. Die Heizkörper verfügen über thermostatische Heizkörperventile. In der GLT sind Heizzeiten, Raumsolltemperaturen und Heizkurven jeweils für Fußbodenheizung und Radiatorenheizung einstellbar.

2.4.3 Strom

Die Pollmeier Massivholz GmbH kann als großes Produktionsunternehmen Strom zu sehr günstigen Konditionen beziehen. Der Tarif liegt sehr deutlich unter den Preisen für private Endkunden. Aus ökonomischer Sicht ist der Preis konkurrenzlos gegenüber einer eigenen Stromproduktion aus regenerativen Energiequellen oder auch aus Kraft-Wärme-Kopplung. Dennoch wurde beim Neubau des Verwaltungsgebäudes eine PV-Anlage ergänzt, die einen geringen Teil des Stromverbrauchs abdeckt.

Neben dem Hauptstromzähler, der den gesamten Stromfluss ins Gebäude erfasst, sind 23 weitere Stromzähler in den Unterverteilungen des Gebäudes installiert (siehe Abb. 5). Ein Ziel dieser Installation ist die Unterteilung des Gesamtverbrauches in folgende Bereiche: Arbeitsmittel, Beleuchtung, EDV/Serverraum, Haustechnik und Küche. Ein weiterer Aspekt der Stromzähler ist die Verbrauchserfassung zur Analyse einzelner Einheiten, wie z.B. Wärmepumpe, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung Serverraum, Kunstlichtregelung usw.

Durch den Aufbau des Versorgungsnetzes und Anordnung der Stromzähler kann nicht jeder gemessene Verbrauch nur einem Bereich zugeordnet werden. So zählt z.B. die Arbeitsplatzbeleuchtung prinzipiell zu dem Bereich Beleuchtung, der Verbrauch wird jedoch mit dem Zähler erfasst der den Stromverbrauch des Stockwerks zählt und wird letztendlich zum Verbrauch der Arbeitsmittel gerechnet. Die genannten Bereiche können demnach nicht klar von einander getrennt werden.

Zwischen der Summe der Messwerte aller Unterzähler und dem Messwert des Hauptzählers, ist eine relativ große Differenz festzustellen. Ursache dafür sind Verbraucher, die durch keinen Unterzähler erfasst werden. Hauptsächlich sind dies Küchengeräte. Der Verbrauch, der nicht durch Unterzähler erfasst wird, wird dem Bereich für Sonstiges zugeordnet.

Das Pförtnerhaus und die Außenbeleuchtung für das Gebäude und den Parkplatz sind an dieses Netz angegliedert. Während der Verbrauch des Pförtnerhauses separat erfasst wird, wurde die Außenbeleuchtung bis Juli 2003 nicht einzeln erfasst, sondern beim Verbrauch der Beleuchtung im EG Ost mitgezählt. Erst Mitte 2003 kann daher die Außenbeleuchtung eindeutig von diesem Verbrauch getrennt werden.

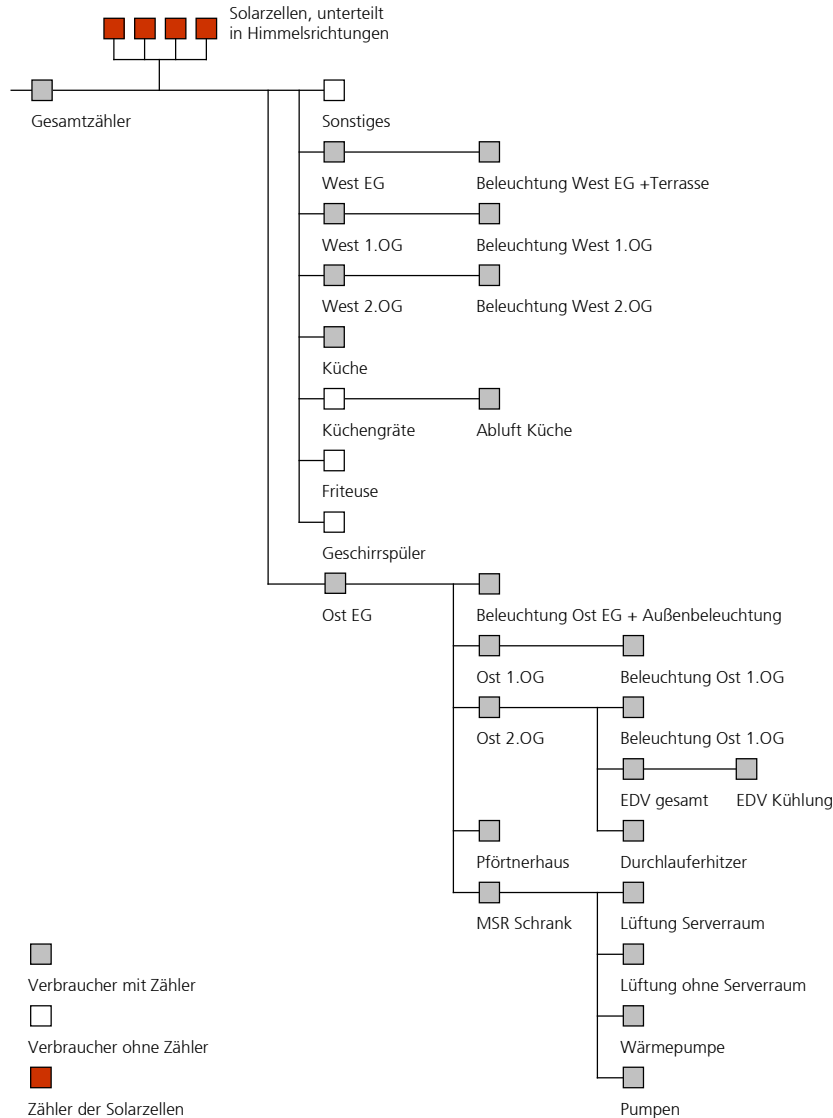


Abb. 5 Schema Stromversorgung

2.4.4 Lüftung

Die Aufgabe des Lüftungssystems ist einerseits die Bereitstellung des hygienisch notwendigen Luftwechsels zur Erhaltung der Luftqualität und andererseits die nächtliche Entwärmung des Gebäudes im Sommer. Die Lüftungseinrichtung ist in 4 Einheiten zu unterteilen: Lüftung Ost, Lüftung West und Lüftung Küche/Cafeteria. Eine weitere Lüftungseinheit ist in Kombination mit einem Umluftkühlgerät zur Kühlung des Serverraums installiert.

2.4.4.1 Abluftsystem Ost und West

Das Lüftungssystem Ost ist eine reine Abluftanlage, die Luft aus den nördlichen Büroräumen und Sanitärräumen im 1. und 2. OG entzieht. Die südlichen Büroräume und Sanitärräume im 1. und 2. OG werden durch das Lüftungssystem West entlüftet. Ebenfalls dadurch entlüftet werden die Cafeteria, die Umkleieräume und die Sanitärräume im Erdgeschoss. Die Fortluft der beiden Einheiten wird jeweils über Dach weggeführt (siehe Abb. 6). Die schematische Darstellung der Luftströmung im Grundriss befindet sich im Anhang 1.

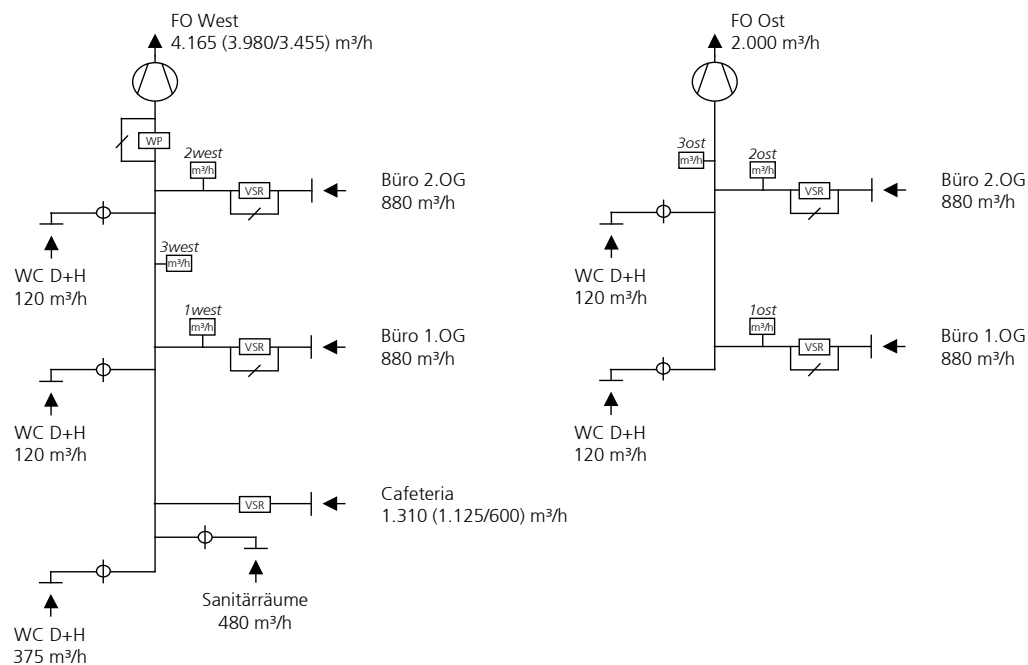


Abb. 6 links: Schema Lüftung West; rechts: Schema Lüftung Ost mit Volumenstromangabe nach Planungsstand

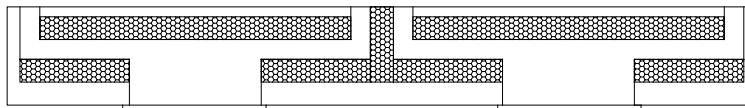
Am Tag wird die Ventilatorleistung nach Konstantdruck vor dem Ventilator geregelt. Durch Mischgas- oder CO₂-Sensoren wird das Stellsignal von den Volumenstromreglern bestimmt und somit der Luftvolumenstrom der Luftqualität angepasst. Mischgas- oder CO₂-Sensoren können alternativ betrieben werden um deren unterschiedliches Verhalten zu untersuchen. Während der Nachtlüftung werden die Abluftventilatoren mit voller Leistung betrieben und die Stell- und Bypassklappen maximal geöffnet. Im Abluftsystem West ist eine Wärmepumpe in einem Bypass installiert, die in der Abluft enthaltene Wärme dem Gebäude wieder zuführt.

Die Frischluft strömt über Zuluftelemente in der Fassade in die Bürogeschosse (siehe Abb. 7) und über Lamellenfenster in die Besprechungsräume und Cafeteria im Erdgeschoss. Die offenen Grundrisse erfordern dabei nur wenige Überströmöffnungen in

Zwischenwänden, wodurch der Druckverlust gering bleibt. Überströmung erfolgt vor allem im Erdgeschoss von den Besprechungsräumen durch die Trennwand in das Atrium und von dort in den Bereich der Cafeteria. Die Zuluftelemente in der Fassade stellen eine spezielle Neuentwicklung dar. Die Elemente sollten sich architektonisch gut in die Fassade integrieren und dabei sowohl lüftungstechnische als auch schalltechnische Anforderungen erfüllen. Auf dem Markt sind verschiedene Zuluftelemente verfügbar, jedoch keines, das alle drei Kriterien erfüllt hätte. So wurden die Zuluftöffnungen als abgewinkelter Flachkanal im Bereich über den Fenstern integriert. Auf der Innenseite befindet sich ein Schlitzschieber, der manuell geöffnet oder geschlossen werden kann. Auf Grund der Anordnung im Raum (siehe Abb. 7) ist eine Veränderung der Stellung des Schlitzschiebers durch den Nutzer auszuschließen und nach einer einmaligen Einregulierung von einem gleichbleibendem Öffnungsgrad auszugehen.



außen



innen

Abb. 7 oben: Position und Detail der Innenseite mit Schlitzschieber des Zuluftelements
unten: horizontaler Schnitt durch das Element mit Schalldämmeinlage.

2.4.4.2 Küchenabluft und Zuluftanlage der Cafeteria

Die Lüftungseinheit Küche/Cafeteria ist eine Kombination aus Zu- und Abluftanlage, in Verbindung mit dem Abluftsystem West.

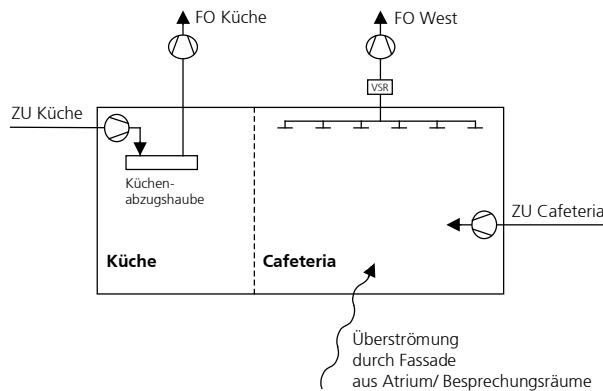


Abb. 8 Schema Lüftung Küche/Cafeteria

Die Küche verfügt über eine Dunstabzugshaube mit integrierter Zuluft. Manuell sind 3 Stufen der Abluft wählbar, die Zuluft stellt sich danach automatisch eine Stufe niedriger ein. Der Ab- und Zuluftvolumenstrom der Cafeteria ist abhängig vom Betrieb der Dunstabzugshaube in der Küche und der Kombination verschiedener Zeitprogramme und einem Präsenztaster. Die Zeitprogramme mit dem Präsenztaster definieren den Nutzungsgrad der Cafeteria und den danach erforderlichen Luftwechsel. Der Zuluftvolumenstrom beträgt nach Planungsstand bis zu 2.000 m³/h und der Abluftvolumenstrom bis zu 1.300 m³/h.

2.4.4.3 Lüftung/ Kühlung Serverraum

Der Serverraum muss wegen der sehr hohen internen Lasten vor Überhitzung geschützt werden. In erster Linie soll dies durch reine Außenluftkühlung geschehen.

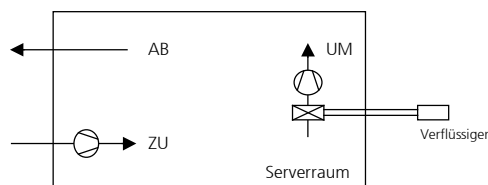


Abb. 9 Schema Lüftung/Kühlung Serverraum

Die Leistungsstufe des Ventilators ist bestimmt durch die Differenz der Raumtemperatur zum Sollwert der Raumtemperatur. Das Umluftkühlgerät geht in Betrieb, wenn die Kühlleistung der Außenluft nicht mehr ausreicht und eine voreingestellte Temperatur überschritten wird.

2.4.5 Warmwasserbereitung

Die Warmwasserbereitung erfolgt in den südlichen Büroräumen und der Küche zentral durch den Wärmespeicher mit Zirkulationsnetz. Es wird der gesamte Wärmeverbrauch der zentralen Warmwasserbereitung und der Wärmeverlust durch Zirkulation erfasst. In den nördlichen Büros sind kleine elektrische Durchlauferhitzer dezentral installiert.

2.4.6 Beleuchtung/ Kunstlichtregelung

Die Büroräume sind in zwei Bereiche unterteilt. An der Außenfassade und der Verglasung zum Atrium entlang befinden sich Verkehrszonen, der gesamte mittlere Bereich ist durch die Arbeitsplatzzone abgedeckt (siehe Anhang 1). Die Verkehrszone wird durch Downlights mit bis zu 300 lux ausgeleuchtet. Im Arbeitsplatzbereich sorgt eine indirekte Grundbeleuchtung für eine mittlere Beleuchtungsstärke von 300 lux. An jedem Arbeitsplatz befindet sich zusätzlich eine individuelle Arbeitsplatzleuchte, die dort eine Mindestbeleuchtungsstärke von 500 lux garantieren kann. Mit Hilfe des Simulationswerkzeugs RADIANCE wurde in der Planungsphase die Beleuchtungsstärkeverteilung berechnet und der Einbau einer Leuchte mit möglichst geringer Lichtleistung ermöglicht.

Tageslichtabhängig werden die Leuchten gedimmt. Im Gebäude sind zwei verschiedene Regelstrategien verwirklicht.

Im 1. OG werden sowohl die Arbeitsplatzzonen als auch die Verkehrszonen über einen zentralen Außenhelligkeitssensor gesteuert. Der Helligkeitssensor ist an der Nordfassade des Gebäudes installiert. Ab einem bestimmten Schwellwert der Außenhelligkeit wird das Kunstlicht linear bis 50% der Leistung gedimmt und danach ausgeschaltet.

Das Kunstlicht an den Arbeitsplatzzonen im 2. OG wird über dezentrale Helligkeitssensoren am Arbeitsplatz geregelt. Der Fühler wird mit Hilfe eines Clips direkt am Leuchtmittel befestigt. Der Sensor nimmt die Helligkeit auf den Schreibtischen wahr und hält diese entsprechend einem eingestellten Sollwert konstant. Dies führt dazu, dass das Kunstlicht bei steigendem Tageslichtanteil gedimmt und schließlich ausgeschaltet wird.

Über einen Taster in den jeweiligen Arbeitsplatzabschnitten, kann die Automatik-Funktion (automatisches Dimmen und Ausschalten) für vier Stunden unterbrochen werden. Somit soll die Zufriedenheit der Nutzer gesteigert werden.

2.4.7 Jalousiesteuerung

Die Fenster der Bürogeschosse werden durch außen liegende Fassadenmarkisen verschattet. Die im Norden vom Gebäude gemessene Außenhelligkeit bestimmt die Freigabe der Jalousiesteuerung. Durch eingestellte Grenzwerte der Windgeschwindigkeit und Außentemperatur sind die Markisen gegen Wind- und Frostscha den gesichert. In jedem Stockwerk können die Jalousien für jede Himmelsrichtung separat

angesteuert werden. Ein Zeitprogramm unterscheidet zwischen An- und Abwesenheit im Büro. Für die Anwesenheit sind Grenzwerte der Raumtemperatur zum Aktivieren und Deaktivieren des Sonnenschutzes einzustellen. Ein weiterer Grenzwert der Raumtemperatur ist für die Aktivierung des Sonnenschutzes bei Abwesenheit anzugeben. Die Einstellung der GLT kann durch manuelle Betätigung des Sonnenschutzes beeinflusst werden. Der aktuelle Zustand des Sonnenschutzes, d.h. ein manueller Eingriff in das System, ist in der GLT nicht ersichtlich.

Im Erdgeschoss wurde aufgrund des Überstandes der darüber liegenden Geschosse auf einen Sonnenschutz verzichtet.

Im Dach des Atriums wurde bislang aus Kostengründen auf einen Sonnenschutz verzichtet. Allerdings ist die Konstruktion für die Nachrüstung eines Sonnenschutzsystems vorbereitet und eine nachträgliche Installation jederzeit möglich.

3 Energiebilanz

Für das Gebäude liegen für das Jahr 2002 und 2003 fast vollständige Messdaten für den Energiebedarf vor. Anhand dieser Daten kann zum einen das Erreichen der Ziele des Forschungsprogramms und zum anderen das Erreichen der Zielwerte aus der Planung überprüft werden.

3.1 Messdaten 2002 + 2003

Für den Beginn des Jahres 2002 fehlen Messdaten. Zuverlässige Verbrauchsdaten der GLT sind erst für den kompletten Monat März vorhanden. Für die Monate Januar und Februar wird der Wärmeverbrauch aus den ermittelten Gradtagszahlen hochgerechnet. Für das Jahr 2003 liegen bis auf einzelne kurze Ausfälle vollständige Messdaten vor.

3.1.1 Wärme

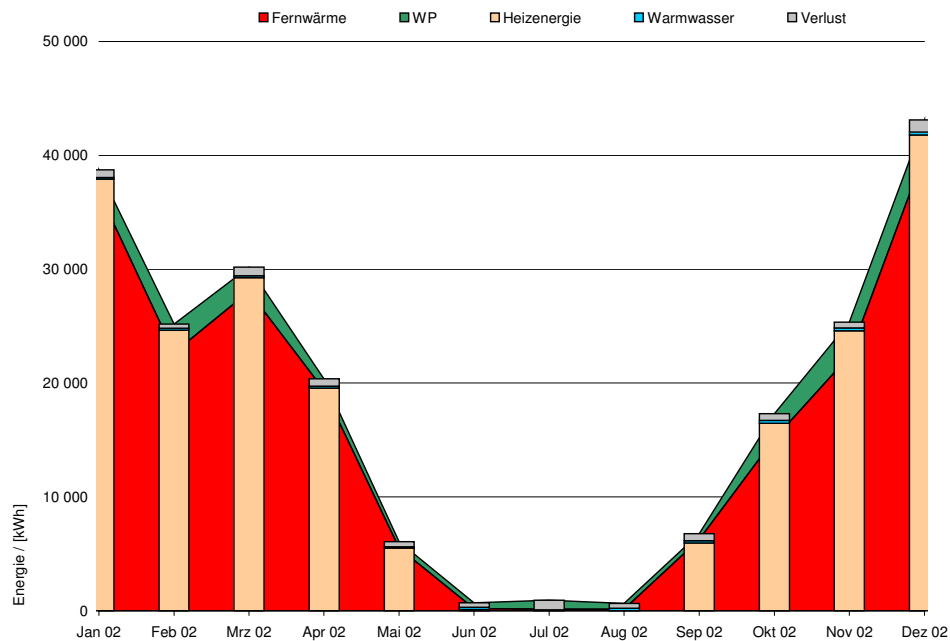


Abb. 10 Wärmeverbrauch und -Bereitstellung im Jahr 2002

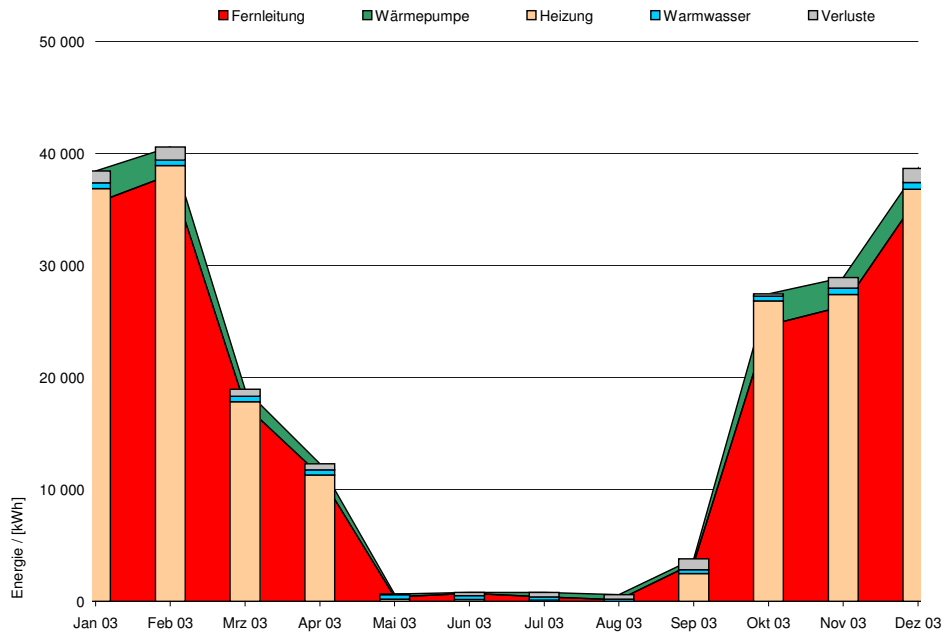


Abb. 11 Wärmeverbrauch und -Bereitstellung im Jahr 2003

Tab. 4 Energiebilanz aus den Messdaten für 2002 und 2003

	2002*		2003	
	MWh/a	kWh/m²a	MWh/a	kWh/m²a
Erzeugung				
Fernwärme	196,8	56,2	194,6	55,6
Wärmepumpe	18,5	5,3	17,3	5,0
Verbrauch				
Heizung				
Radiatorenheizung	143,0	40,1	129,8	37,1
Fußbodenheizung	67,6	19,3	54,8	15,7
Zulufheizregister Cafeteria	8,2	2,3	14,3	4,1
Warmwasser**	3,3	0,9	5,1	1,5
Verluste	6,2	1,8	7,8	2,2

* Werte für Januar, Februar aus Gradtagzahlen hochgerechnet

** Bedarf ist überschätzt, da Wärmemengenzähler für Warmwasser falsch eingebaut ist

Aus den Daten in Tab. 4 ist ersichtlich, dass die Wärmeversorgung maßgeblich über die Fernwärme erfolgt. Die Wärmepumpe trägt knapp 10% zur Versorgung bei.

Hauptverbrauch ist erwartungsgemäß die Heizung (Radiatoren, Fußbodenheizung sowie Luftheizregister für die Zuluft Cafeteria). Der Anteil der Warmwasserbereitung beträgt lediglich 2-3%, wobei zu beachten ist, dass die Messdaten für den Warmwasserverbrauch etwas zu hoch liegen, da der Temperaturfühler für die Warmwassertemperatur falsch eingebaut ist. Die Verluste von Speicher und Rohrleitungen liegen bei 3-4%.

Der Gesamtverbrauch verändert sich im Verlauf der beiden Jahre nur unwesentlich. Allerdings findet eine Verschiebung unter den Verbrauchern statt. Vor allem steigt Warmwasserverbrauch und der Heizenergiebedarf für das Zuluftheizregister der Cafeteria durch den durchgehenden Betrieb der Küche und Cafeteria in 2003 (Die Küche wurde erst Mitte 2002 in Betrieb genommen). Der geringere Verbrauch bei Radiatoren und Fußbodenheizung in 2003 wird unter dem Gesichtspunkt, dass der Bedarf für Januar und Februar 2003 aus Gradtagszahlen hochgerechnet werden musste nicht als besonders bewertet.

3.1.2 Strom

Beim Stromverbrauch werden verschiedene Verbrauchergruppen unterschieden. Tab. 5 gibt, die Gruppen wieder und evtl. Besonderheiten, die beim Projekt Pollmeier zu berücksichtigen sind.

Tab. 5 Verbrauchergruppen und deren Besonderheiten beim Projekt Pollmeier

Verbraucher- gruppe	typische Verbraucher	Besonderheit bei Projekt Pollmeier
Beleuchtung	alle Arten von Beleuchtungs-systemen	Die Außenbeleuchtung wurde bis Juli 2003 mit dem Verbrauch der Beleuchtung des EG Ost erfasst. Erst zu diesem Zeitpunkt kann der Verbrauch separiert werden. Der Verbrauch bis Juli 2003 wird aus den dann vorliegenden Messdaten abgeschätzt.
Arbeitsmittel	Computer, Drucker, Kopierer	An jedem Arbeitsplatz ist eine Arbeitsleuchte installiert, die eigentlich zur Gruppe „Beleuchtung“ zählt, deren Verbrauch jedoch mit dem der Arbeitsmittel erfasst wird. Weiterhin kann der Verbrauch der Arbeitsmittel nur als Differenz von Gesamtverbrauch für einen Bereich und dem Verbrauch für die Beleuchtung des selben Bereichs berechnet werden. Beim 2.OG West wird der Verbrauch einer elektrischen Begleitheizung für die Regenrinnen mit erfasst. Dieser Verbrauch wird über die Außentemperatur abgeschätzt und abgezogen.
zentrale Dienste / Serverraum	Server, USV, zentrale EDV	Es wird der Verbrauch der Rechner im EDV Raum im 2.OG erfasst.
Küche	Küchengeräte	Hier wird nur der Verbrauch der Küche ohne Großgeräte und Abluft erfasst.
Haustechnik	Pumpen, Ventilatoren, Regelung	Es werden alle Pumpen, Ventilatoren, die MSR und die Wärmepumpe erfasst.
Sonstiges	-	Der Verbrauch „Sonstiges“ umfasst beim Projekt Pollmeier alle Verbraucher, die nicht über separate Zähler erfasst werden bzw. deren Verbrauch sich nicht mit genügender Sicherheit abschätzen lässt. (Vor allem Küchengeräte)

Mit den beschriebenen Besonderheiten ergibt sich der in den folgenden beiden Abbildungen gezeigte Verlauf des Verbrauchs.

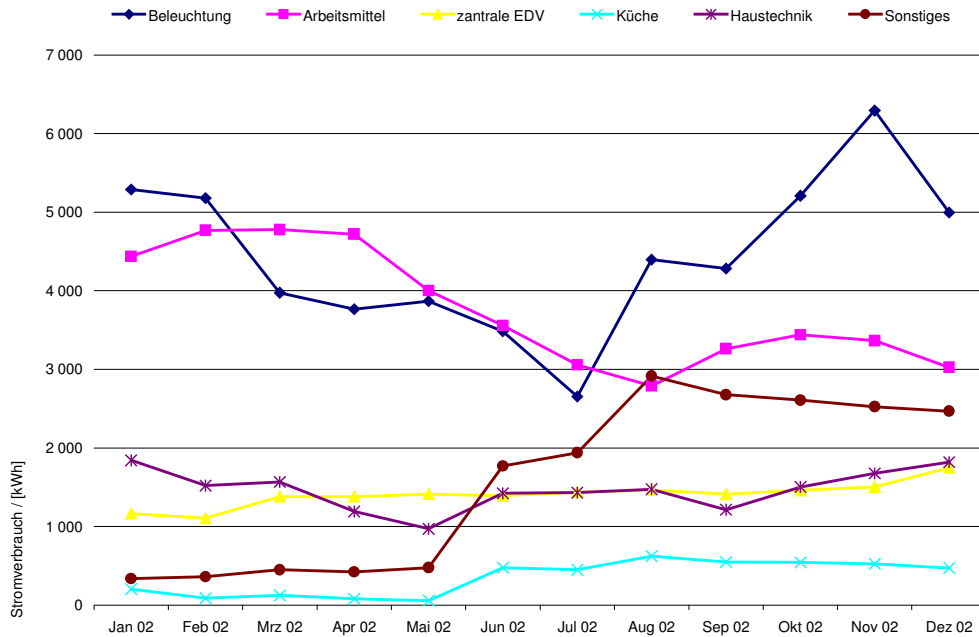


Abb. 12 Elektroenergieverbrauch im Jahr 2002, Außenbeleuchtung und Begleitheizung Regenrinnen

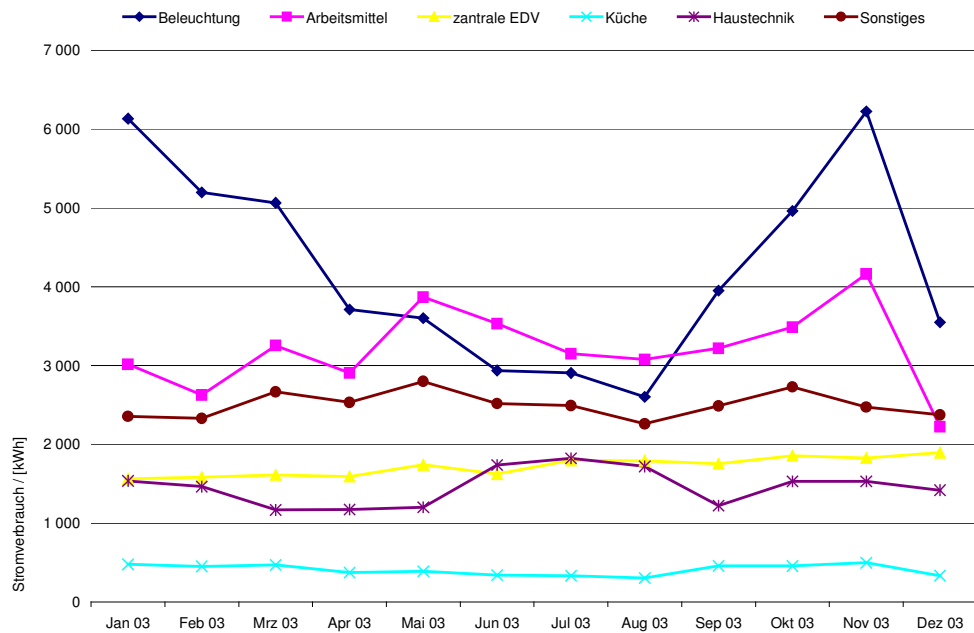


Abb. 13 Elektroenergieverbrauch im Jahr 2003, ohne Außenbeleuchtung und Begleitheizung Regenrinnen

Bemerkenswert am Verlauf der Last im Jahr 2002 ist vor allem der starke Anstieg der Verbrauchergruppe „Sonstiges“, der offensichtlich in der Inbetriebnahme der Küche begründet ist. Alle großen Küchengeräte werden nicht separat erfasst und tauchen so in dieser Verbrauchergruppe auf.

Der erhöhte Verbrauch der Gruppe „Arbeitsmittel“ zu Beginn von 2002 kann aus den vorliegenden Daten nicht schlüssig erläutert werden.

Der Verlauf der Last in 2003 zeigt insgesamt ein gleichmäßigeres und schlüssigeres Bild. Der Verbrauch von Küche, EDV, Sonstigem und Arbeitsmitteln verläuft über das Jahr relativ konstant. Der Einbruch des Verbrauchs bei Beleuchtung und Arbeitsmitteln im Dezember ist mit den Weihnachtsferien zu begründen.

Die Beleuchtung zeigt erwartungsgemäß im Winter wesentlich höhere Werte. Die Erhöhung des Verbrauchs der diversen Haustechnik im Sommer ist mit dem Betrieb der Nachtlüftung und der Umluftkühlung für den Serverraum zu erklären.

Die Gesamtbilanz des Stromverbrauchs ergibt sich entsprechend Tab. 6.

Tab. 6 Stromverbrauch in den Jahren 2002 und 2003 nach Verbrauchergruppen

	2002		2003	
	MWh	kWh/m²a	MWh	kWh/m²a
Verbrauchergruppe				
Beleuchtung	53,4	15,3	50,8	14,5
div. Haustechnik	17,6	5,0	17,5	5,0
Küche (ohne Geräte und Abluft)	4,2	1,2	4,9	1,4
Ertrag PV	-3,1	-0,9	-6,3	-1,8
Arbeitsmittel	45,2	12,9	38,5	11,0
zentrale EDV	16,9	4,8	20,6	5,9
Außenbeleuchtung	10,1*	2,9	10,1	2,9
Begleitheizung Regenrinnen	6,5	1,9	8,3	2,4
Sonstiges	18,9	5,4	30,0	8,6
Summe Sonstiges	169,7	48,5	174,7	49,9

* mangels Daten von 2003 übernommen

Der Stromverbrauch der beiden Jahre (ohne Berücksichtigung der Sonderanwendungen: Außenbeleuchtung, Begleitheizung Regenrinnen, Sonstiges) ist recht gleichbleibend. Es ist eine leichte Zunahme der

zentralen EDV festzustellen, was sicher mit der Zunahme der Zahl der Mitarbeiter und insgesamt der Aktivität im Gebäude zu erklären ist.

Zur Beurteilung des Stromverbrauchs scheinen dennoch die Daten aus dem Jahr 2003 geeigneter, da hier ein gleichmäßiger Betrieb erreicht zu sein scheint.

3.2 Vergleich der Messdaten mit der Planung

Tab. 7 Vergleich von Messwerten und Planung

	2003	Planung
	kWh/m ² a	kWh/m ² a
Verbrauch		
Heizung	56,9	36,4
Warmwasserbereitung	1,5	0,2
Verluste	2,2	3,0
Summe	60,6	39,6
Erzeugung		
Fernwärme	55,6	34,7
Wärmepumpe	5,0	4,9
Strom Haustechnik		
Beleuchtung	14,5	5,9
div. Haustechnik	5,0	5,6
Ertrag PV	-1,8	-1,8
Summe	17,7	9,7
Strom Arbeitshilfen und Sonstiges		
Arbeitsmittel	11,0	7,2
zentrale EDV	5,9	4,3
Küche (ohne Geräte und Abluft)	1,4	-
Außenbeleuchtung	2,9	-
Begleitheizung Regenrinnen	2,4	-
Sonstiges (hauptsächlich Küchengeräte)	8,6	-
Summe	32,2	11,5

Tab. 7 zeigt den Vergleich der Messwerte aus dem Jahr 2003 und den entsprechenden Werten aus der Planung bzw. dem Energiekonzept, soweit diese dort betrachtet wurden.

Es ist festzustellen, dass sowohl der gemessene Wärme-, als auch der Stromverbrauch deutlich über den Planungswerten liegen. Bei der Wärme liegt der Wert rund 50% über der Planung, beim Strom sind es knapp 100%.

Bei der Wärme ist die Heizenergie die entscheidende Größe. Der Warmwasserverbrauch spielt nur eine untergeordnete Rolle beim Mehrverbrauch gegenüber der Planung. Die Ursachen für den erhöhten Heizenergieverbrauch werden in Abschnitt 3.4 näher untersucht.

Beim Stromverbrauch der Haustechnik zeigt vor allem die Beleuchtung real sehr viel höhere Werte als in der Planung ermittelt. Dies ist hauptsächlich zurückzuführen auf zu optimistische Annahmen über die Betriebszeit. Trotz installierter Lichtsteuerung bzw. -Regelung werden sehr hohe Betriebszeiten erreicht. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Tageslichtversorgung der Arbeitsplätze nicht optimal ist. Das ist einerseits mit ihrer Lage in der Mitte des Raumes und zum anderen mit den relativ dunklen Umschließungsflächen und Einrichtungsgegenständen zu erklären (Abb. 14).



Abb. 14 Beispiel für die Lage der Arbeitsplätze und die Art der Inneneinrichtung auf den Bürogeschossen

Der Verbrauch der Arbeitsmittel wurde in der Planung leicht unterschätzt. Andere Verbraucher wie die Außenbeleuchtung, die Begleitheizung der Regenrinnen und die Küchengeräte waren zum Zeitpunkt der Planung entweder nicht bekannt oder zählen nicht direkt zum Gebäude. Trotzdem sei angemerkt, dass diese Verbraucher einen Anteil von knapp 30% des Gesamtstrombedarfs haben.

3.3 Vergleich der Messdaten mit den Vorgaben des Forschungsprogramms

Das Forschungsprogramm solarbau:MONITOR gibt Zielwerte für die Nutzenergie Wärme, die Summe Endenergie Wärme und elektrische Energie für Haustechnik und den damit korrespondierenden Primärenergiebedarf bzw. CO₂-Emissionen vor.

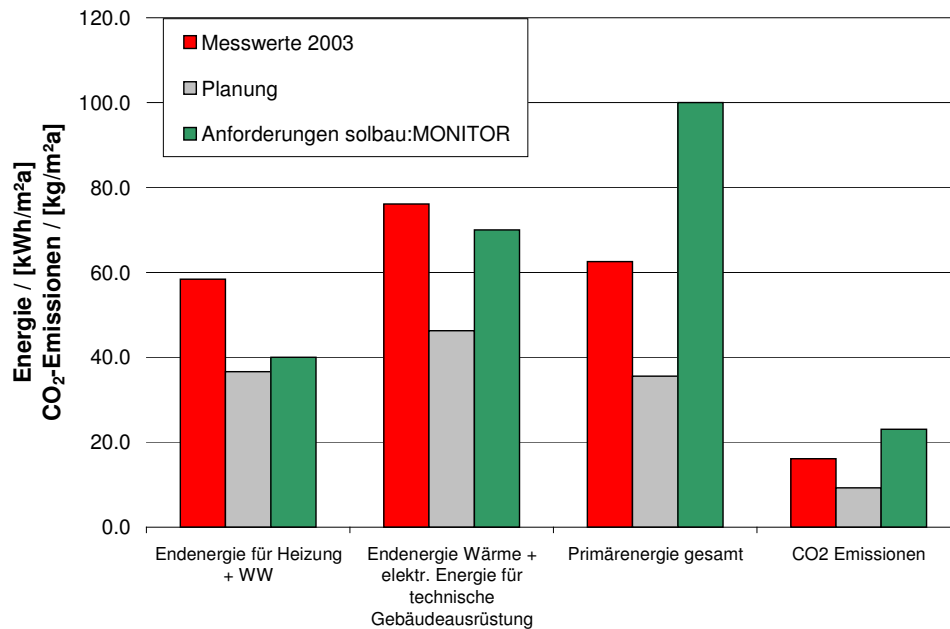


Abb. 15 Endenergie, Primärenergie, CO₂-Emissionen
Vergleich von Messwerten, Planung und Zielen des Forschungsprogramms

Tab. 8 Endenergie, Primärenergie, CO₂-Emissionen
Vergleich von Messwerten, Planung und Zielen des Forschungsprogramms

		2003	Planung	solarbau Monitor
Endenergie für Heizung + WW	kWh/m ² a	58,4	36,6	≤ 40
Endenergie Wärme + elektrische Energie für technische Gebäudeausrüstung	kWh/m ² a	78,3	49,3	≤ 70
Primärenergie gesamt*	kWh/m ² a	65,2	37,0	≤ 100
CO₂-Emissionen**	kg/m ² a	16,1	9,3	≤ 23

* Primärenergiefaktoren entsprechend EnEV, ** Emissionswerte entsprechend GEMIS 4

Die Anforderung für Endenergie Wärme und die Summe Endenergie Wärme und elektrische Energie für Haustechnik können vor allem aufgrund des erhöhten Heizenergiebedarfs nicht eingehalten werden.

Die Anforderungen an den Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen werden dank der Wärmeversorgung über den nachwachsenden Rohstoff Holz erfüllt.

3.4 Überarbeitung der Simulation

Der Heizenergiebedarf des Verwaltungsgebäudes wurde in der Planungsphase mit Hilfe des Simulations-Werkzeugs TRNSYS berechnet. Das dafür benötigte Gebäudemodell wurde in Bezug auf die Größe der Hüllflächen, den Aufbau der Bauteile und die Orientierung des Gebäudes möglichst realitätsgetreu nachgebildet. Für die dynamische Simulation wurde das Gebäude in 12 Zonen unterteilt. Dabei wurden jeweils Räume zu einer Zone zusammengefasst, die ähnlichen Nutzungs- und klimatischen Bedingungen ausgesetzt sind (siehe Anhang 2). Wetter- und Klimaeinflüsse am Standort Creuzburg sind mit dem Testreferenzjahr von Kassel berücksichtigt worden. Interne Einflüsse auf den Heizenergiebedarf durch die Gebäudenutzung, Heizung und Lüftung wurden in der Simulation einbezogen.

Die Messwerte erlauben nun eine Anpassung der Simulation an den realen Betrieb. Diese Anpassung wurde in mehreren Schritten durchgeführt, um jeweils den Effekt der einzelnen Schritte nachvollziehen zu können.

Aus den erfassten Messwerten lassen sich für die Simulation folgende Randbedingungen direkt entnehmen:

- **Klimadaten**
Es werden Außentemperatur, Einstrahlung und Außenfeuchte, die von der Wetterstation auf dem Dach erfasst werden übernommen.
- **Zeitprogramme Heizung, Lüftung, Belegung**
Die Zeitprogramme der Radiatoren- und Fußbodenheizung sowie für die Lüftung der einzelnen Zonen werden entsprechend den realen Betriebszeiten übernommen. Die realen Betriebszeiten umfassen dabei den normalen Tagbetrieb sowie gegebenenfalls den morgendlichen Aufheizbetrieb und den Frostschutzbetrieb. Da die Einstellungen für diese speziellen Betriebsweisen mehrfach über das Jahr geändert wurden, werden Heizung und Lüftung in der Simulation einfach dann betrieben, wenn real auch Betrieb war (unabhängig von der Parametern der GLT).
Die Anzahl der Personen wurde entsprechend den Aussagen des Bauherren verringert [11]. Die Anwesenheitszeiten der Mitarbeiter wurde entsprechend der Ergebnisse aus Abschnitt 4.1 angepasst.
- **Raumtemperaturen, Heizungsregelung**
Für die einzelnen Zonen im Gebäude wurden für jeden Tag des Jahres

die Tagesmitteltemperatur während der Anwesenheit bestimmt und der Simulation aufgeprägt. Gleichzeitig wurde die Heizungsregelung in der Simulation so geändert, dass statt der Raumlufftemperatur nun die operative Raumtemperatur als Regelgröße dient.

- **Luftvolumenströme**
Die Luftvolumenströme in der Simulation der Planungsphase errechnen sich für die Betriebszeit aus der Personenzahl der jeweiligen Zone und einem spezifischen Luftvolumenstrom von 40 m³/h pro Person. Nachts wird mit 2-fachem Luftwechsel gelüftet, wenn die Temperatur im 1. OG Atrium 25 °C überschreitet. Der Grundluftwechsel ist mit 0,1 h⁻¹ bestimmt. Für die Anpassung der Simulation werden die gemessenen Luftvolumenströme der Büroräume und der Cafeteria als Datenfile in die Berechnung eingelesen. Der Grundluftwechsel wird mit 0,1 h⁻¹ beibehalten.
- **Interne Lasten**
Die internen Lasten durch Arbeitsmittel und Beleuchtung und sonstige Kleinverbraucher können für die Bürozone und das Erdgeschoss (ohne Küche) direkt aus den Messdaten für die Simulation übernommen werden.
- **Sonnenschutz**
Die Bedienung und der aktuelle Zustand des Sonnenschutzes können zwar nicht aus den Messdaten abgelesen werden. Jedoch zeigen die Messdaten von Heizleistung und Solarstrahlung, dass die Heizleistung bei höherer Strahlung nicht nachweisbar sinkt (siehe Abschnitt 4.2). Offensichtlich wird der Sonnenschutz auch als Blendschutz verwendet. Die Simulation wurde daher so angepasst, dass der Sonnenschutz in Abhängigkeit der Strahlung auf die Fassade geschlossen wird. Dadurch ergeben sich im Winter und der Übergangszeit verringerte solare Gewinne.
- **Speicher- und Auskühlverluste**
Die Speicher- sowie Auskühlverluste des Heizungssystems werden in der Simulation nicht berücksichtigt. Diese Verluste wurden entsprechend Abschnitt 4.3 abgeschätzt, wobei die Speicher- und Verteilverluste nur mit 50% eingerechnet wurden.

Tab. 9 abgeschätzte Verluste

	[kWh/a]	[kWh/m ² _{NGFA}]
Speicher- und Verteilverluste (50%)	3.900	1,1
Auskühlung des Heizungssystems	7.300	2,1
Summe	11.200	3,2

Die Ergebnisse der überarbeiteten Simulation sind in Abb. 16 gezeigt.

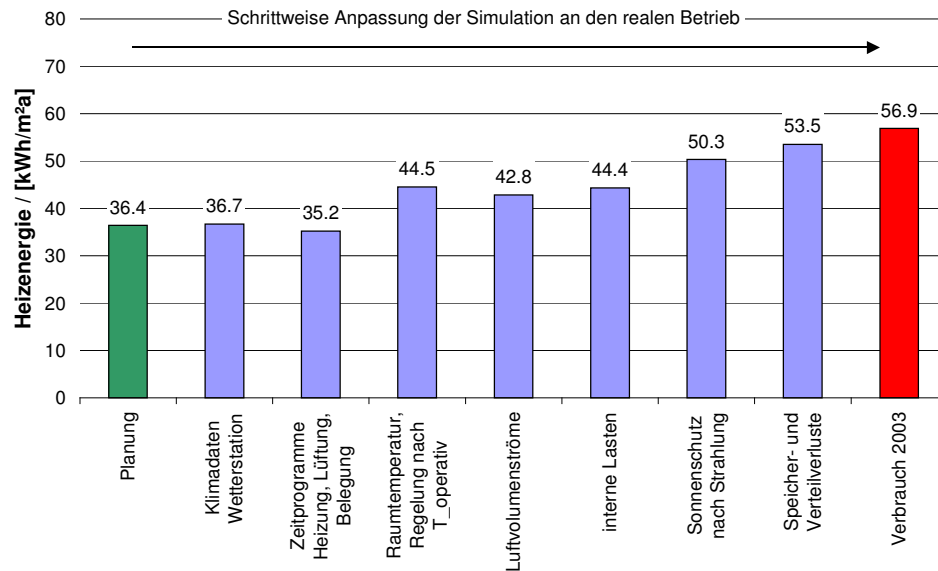


Abb. 16 Simulierter Heizenergiebedarf bei schrittweiser Anpassung der Simulation an den realen Betrieb

Tab. 10 Simulierter Heizenergiebedarf bei schrittweiser Anpassung der Simulation an den realen Betrieb

Variante	Q_h [MWh/a]	Q_h'' [kWh/m² _{NGFA}]
0 Simulation nach Planungsstand	127,4	36,4
1 Klimadaten der Wetterstation auf dem Gebäude	127,9	36,7
2 Personenbelegung, Betriebszeit, Zeitprogramme	122,7	35,2
3 Raumtemperatur, Heizungsregelung	155,4	44,5
4 Luftvolumenströme	149,3	42,8
5 interne Lasten	154,8	44,4
6 Sonnenschutzregelung nach Strahlung auf Fassade	175,6	50,3
7 zusätzliche Verluste (Speicher- und Auskühlverluste)	186,8	53,5
Messwerte 2003	199,0	56,9

Wie aus Tab. 10 und Abb. 16 ersichtlich, sind die Hauptursachen für den erhöhten Heizenergiebedarf die im Vergleich zur Planung erhöhten Raumtemperaturen und die Reduzierung der solaren Gewinne durch die Verwendung des Sonnenschutzes als Blendschutz. Die real vorhandenen Luftvolumenströme und internen Lasten führen in der Simulation zu keiner deutlichen Veränderung des Heizenergiebedarfs.

Es muss deutlich gesagt werden, dass die Annahmen zur Regelung des Sonnenschutzes nicht durch Messwerte gedeckt ist, da die Datenerfassung nicht genügend genau über den Zustand des Sonnenschutzes Auskunft gibt. Daher besteht hier eine relativ große Unsicherheit. Die Aussage, dass die Heizlast nicht maßgeblich von der Solarstrahlung beeinflusst wird, lässt sich jedoch klar nachweisen (Abschnitt 4.1).

Unter Berücksichtigung der zusätzlichen Speicher- und Auskühlverluste ergibt sich ein Heizenergiebedarf von rund 187 MWh/a. Die Abweichung zum realen Heizenergieverbrauch (199 MWh/a) beträgt so nur noch ca. 6%.

Die Ursachen für diese Abweichung können zum einen in ungenauen Messwerten oder mangelhafter Abbildung der entsprechenden Messdaten in der Simulation liegen. Zum anderen können in der Simulation eine Reihe von Größen bzw. Ereignissen nicht erfasst werden, z.B. Wärmebrücken, erhöhter Lüftungswärmeverlust durch Fensterlüftung und Wärmeverluste durch die Küchenabluftanlage.

Insgesamt scheint die Simulation jedoch ein geeignetes Mittel um das reale Verhalten des Gebäudes abzubilden und die Ursachen für den erhöhten Heizenergieverbrauch zu identifizieren.

4 Detailanalysen

4.1 Effizienz Lüftung

4.1.1 Spezifischer Stromverbrauch Abluft

Der spezifische Stromverbrauch der Abluft kann ausgedrückt werden durch die Menge an elektrischer Antriebsenergie, die je m^3 beförderter Luft verbraucht wird.

Die für die Berechnung notwendigen Daten können leider nicht direkt bzw. vollständig aus der Datenerfassung abgelesen werden. Der Stromverbrauch für die Lüftung liegt zwar vor, jedoch werden die dazugehörigen Luftvolumenströme nur z.T. erfasst. Es fehlen insbesondere die Abluftmengen der WC-Bereiche auf den Bürogeschossen.

Die gemessenen Luftvolumenströme machen jedoch über 80% des gesamten projektierten Volumenstroms aus. Wird der spezifische Stromverbrauch der Abluft mit den so gemessenen Volumenströmen berechnet, ergibt sich der monatliche Verlauf, der in Abb. 17 gezeigt ist.

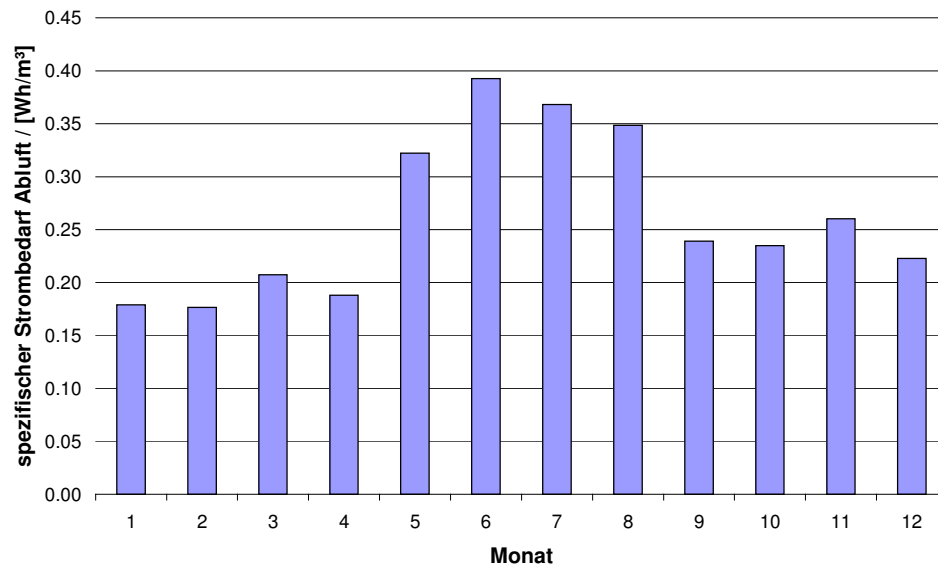


Abb. 17 monatliche Werte der Effizienz der Abluftanlage für 2003

Zunächst ist zu erkennen, dass der spezifische Stromverbrauch im Sommer schlechter liegt als im Winter. Dies ist auf den erhöhten Stromverbrauch für die Nachtlüftung zurückzuführen. Weiterhin werden die Planungswerte für den Winterbetrieb von ca. $0,15 \text{ Wh/m}^3$ nur knapp verfehlt. Dabei ist weiterhin zu beachten, dass die zur Berechnung

verwendeten Luftvolumina kleiner sind als die real vorhandenen. Daher liegt die Effizienz tatsächlich besser als in der Abbildung zu sehen.

Das der spezifische Stromverbrauch am Ende des Jahres höher liegt als zu Beginn von 2003, ist wahrscheinlich auf den Austausch des Abluftventilators auf dem Ostschacht zurückzuführen. Dieser war zu klein geliefert worden und musste gegen einen größeren Ventilator ausgewechselt werden, der nun deutlich höhere Luftmengen fördert.

4.1.2 Nachtlüftung

Das Zeitprogramm der Nachtlüftung ist im Jahr 2002 vom 27.05. bis 07.10 aktiviert. Das tägliche Zeitfenster ist bis zum 07.06.02 von 22 Uhr bis 6 Uhr, ab dem 07.06.02 von 20 Uhr bis 8 Uhr geöffnet und dauert 8 h bzw. 12 h. Die Randbedingungen für den Betrieb der Nachtlüftung sind neben dem Zeitschaltprogramm Raum- und Außentemperatur. Übersteigen die Raum- und Außentemperatur einen bestimmten Grenzwert, und ist die Differenz zwischen Raum- und Außentemperatur größer als ein bestimmter Wert, ist die Nachtlüftung aktiv. In der Gebäudeleittechnik sind die Grenzwerte der Außen- und der Raumtemperatur für die jeweiligen Büroräume einstellbar.

Beim Betrieb der Nachtlüftung ist die Bypassklappe bei den Volumenstromreglern im 1. und 2. OG normalerweise geöffnet. Ab dem 01.07.02 sind bei der Nachtlüftung die Bypassklappen im Abluftsystem West geschlossen. Das bedeutet, dass der dadurch erhöhte Luftwiderstand den Luftvolumenstrom reduziert.

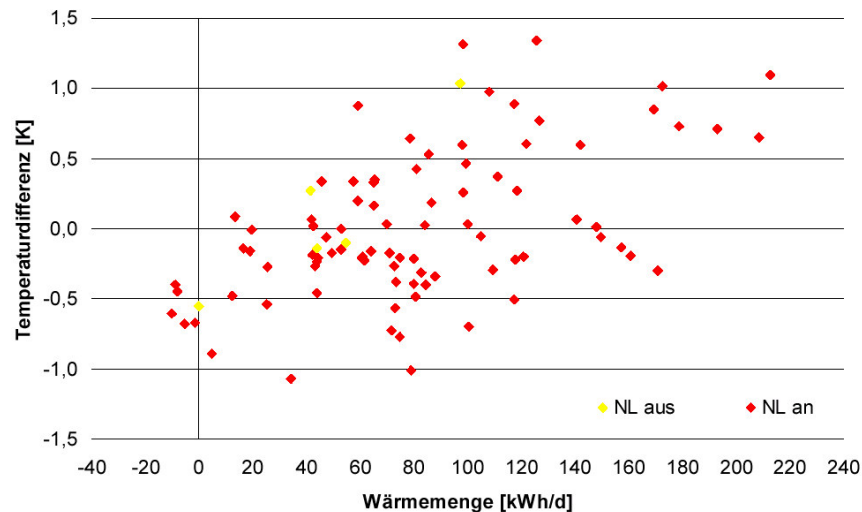
Die Nachtlüftung im Verwaltungsgebäude Pollmeier wurde im Rahmen der Diplomarbeit von Jeannette Wapler ausführlich untersucht. Die Ergebnisse der Analyse werden im folgenden zusammenfassend dargestellt [5]. Der Büroraum im 2. OG Süd dient als Referenzraum für die Untersuchungen. Der Zeitraum der Untersuchungen ist von 1. Juni bis 31. August. Der Zustand der Fensteröffnung ist in dieser Zeit teilweise bekannt.

Das Konzept der Nachtlüftung beruht darauf, die am Tag anfallenden Wärmelasten zu großen Teilen in der Gebäudekonstruktion zu speichern und in der Nacht die eingespeicherte Wärmemenge durch Lüftung mit kühler Außenluft aus den Speichermassen und damit aus dem Raum abzuführen.

Die Abluftventilatoren sind mit 100% Leistung in Betrieb und saugen kühle Außenluft über die Zuluftelemente in der Fassade durch das Gebäude. Je größer die Differenz zwischen der Temperatur der Außenluft und der Bauteile ist, desto mehr Wärme kann die durchströmende Luft aufnehmen. Die Druckdifferenzregelung des Ventilators ist dabei außer Kraft. Der Luftwechsel ist bestimmt vom Druckverlust entlang des gesamten Strömungsweges durch das Gebäude. Dieser ist zum einen von den Fensterstellungen, d. h. vom Nutzerverhalten abhängig und zum anderen von gegebenen Windverhältnissen, die das Einströmen der Luft in das Gebäude unterstützen oder verhindern können.

Die ein- bzw. ausgespeicherte Wärmemenge ist proportional zum Temperaturanstieg bzw. -abfall des Speichers während den Ein- bzw. Ausspeichervorganges. Aufgrund der thermischen Kopplung zwischen Speicher Oberfläche und Luft bewirkt dies ebenfalls eine Erhöhung der Raumlufttemperatur. Die Temperaturentwicklung im Vergleich zum Gesamtwärmeeintrag am Tag ist demnach ein Maß für die Wärmemenge, die mit der Nachtlüftung kompensiert werden kann, also für die Wirksamkeit der Nachtlüftung. Der Gesamtwärmeeintrag berechnet sich aus der Summe aller Wärmeströme am Tag, ausgenommen des Wärmestroms durch die Nachtlüftung.

Abb. 18 Änderung der Raumlufttemperatur im Verhältnis zur Tagessumme der eingebrachten Wärme [5]



In Abb. 18 ist die Änderung der Raumlufttemperatur über dem Gesamtwärmeeintrag aufgetragen. Die Änderung der Raumlufttemperatur lag an 61 Tagen bei weniger als $\pm 0,5$ K, an 7 Tagen bei mehr als ± 1 K. Es zeigt sich, dass die Wärmemengen, die mit der Nachtlüftung kompensiert werden können, sehr unterschiedlich sind. Dies ist einerseits auf die sehr unterschiedlichen Luftwechsel durch die Fensterstellung in der Nacht zurückzuführen. Andererseits wird die zu erreichende Leistung der Nachtlüftung von dem Temperaturunterschied zwischen der Außen- und der Raumluft bestimmt. Um die Luftwechsel an verschiedenen Tagen vergleichen zu können, muss das unterschiedliche Potential der Nachtlüftung (Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außenluft) berücksichtigt werden. In Abbildung 54 ist die Änderung der Raumlufttemperatur über dem Quotienten aus eingebrachter Energiemenge und Potential der Nachtlüftung dargestellt. Das Potential der Nachtlüftung ist hier definiert mit der Differenz vom Tagesminima der Außenlufttemperatur und der Raumlufttemperatur.

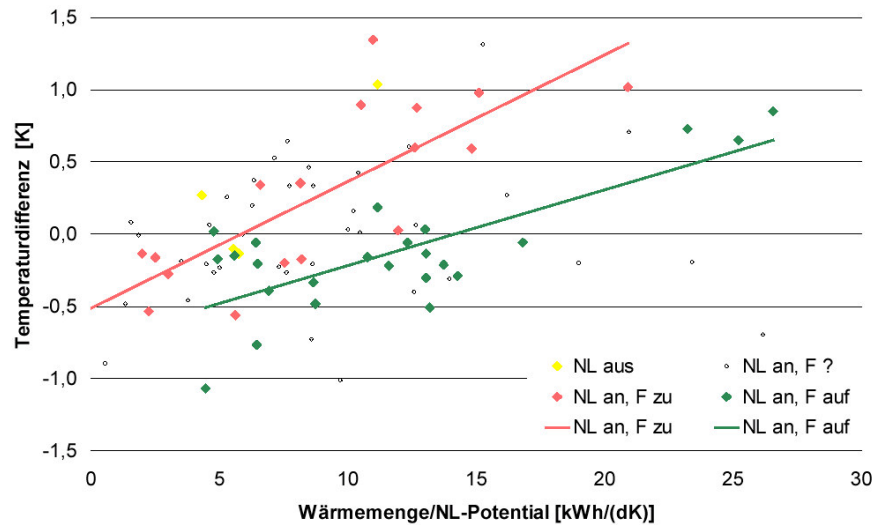


Abb. 19 Änderung der Raumlufttemperatur über dem Quotient von eingebrachter Energiemenge und Differenz der Tagesminima von Außenluft- und Raumlufttemperatur [5]

Durch die Öffnung der Fenster in der Nacht, kann die abgeführte Energiemenge deutlich erhöht werden. An Tagen mit gleichem Potential der Nachtlüftung kann bei geöffneten Fenstern der Anstieg der Raumlufttemperatur vermeiden oder verringert werden. An den meisten Tagen mit Temperaturanstieg, waren die Fenster in der Nacht geschlossen, oder die Fensterstellung ist nicht bekannt. Nur an den drei wärmsten Tagen kam es auch bei geöffneten Fenstern in der Nacht zu einem Anstieg der Raumlufttemperatur von über 0,5 K.

In wiefern die Nachtlüftung zur Verbesserung des sommerlichen Raumklimas beiträgt, machen Simulationsrechnungen deutlich, bei denen einmal mit und einmal ohne Nachtlüftung gerechnet wird. Die folgende Abb. 20 zeigt die Dauerlinien der berechneten Raumtemperaturen im Büroraum 1. OG Süd sowie die entsprechenden Messdaten.

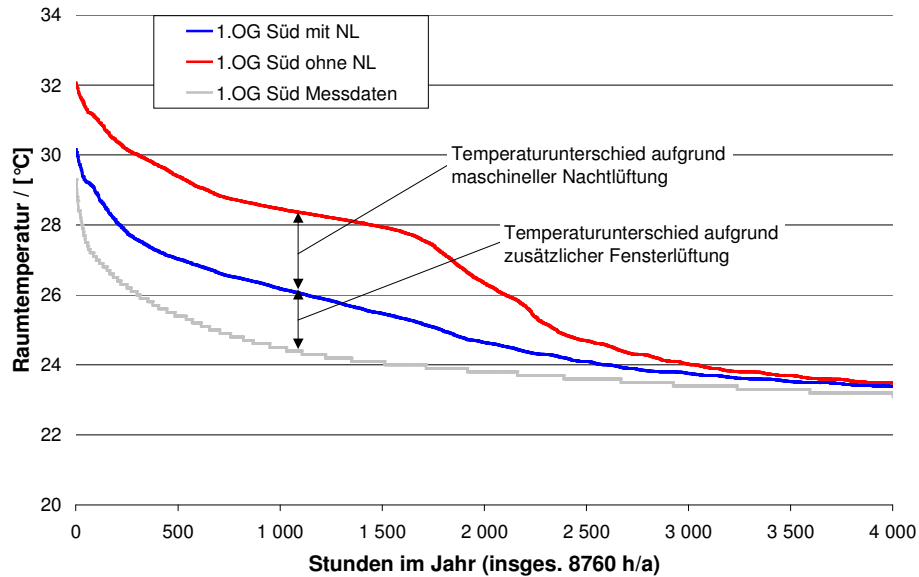


Abb. 20 Dauerlinien der Raumtemperaturen im Büroraum 1. OG Süd, simuliert mit und ohne Nachlüftung (NL) im Vergleich zu den Messdaten

Die Simulationsergebnisse zeigen zunächst den Einfluss der maschinellen Nachlüftung, so wie sie von der Datenerfassung aufgezeichnet wird. Es ist deutlich, dass durch die maschinelle Nahtlüftung sowohl die Maximaltemperatur, als auch die Anzahl der Stunden über 26°C deutlich abgesenkt werden kann.

Die gemessene Temperatur liegt noch einmal niedriger. Neben eventuellen Messfehlern oder anderen Einflüssen wird davon ausgegangen, dass sich in diesem Unterschied die zusätzliche Fensterlüftung widerspiegelt, die messtechnisch nicht erfasst wird und demnach nicht mit in die Simulation einbezogen werden kann.

Kriterium für die Energieeffizienz der Nachlüftung ist das Verhältnis von thermischer Energie, die dem Gebäude entzogen wird, zu dem elektrischen Energieverbrauch der Ventilatoren (auch COP, coefficient of performance).

In Abb. 21 ist der COP für 14 Nächte mit geschlossenen Fenstern in Abhängigkeit von dem Minimum der Außenlufttemperatur dargestellt. Je kälter die Außenluft in der Nacht ist, desto mehr Wärme kann abgeführt werden. Der COP liegt zwischen 24 in sehr kalten Nächten und 8 in sehr warmen Nächten.

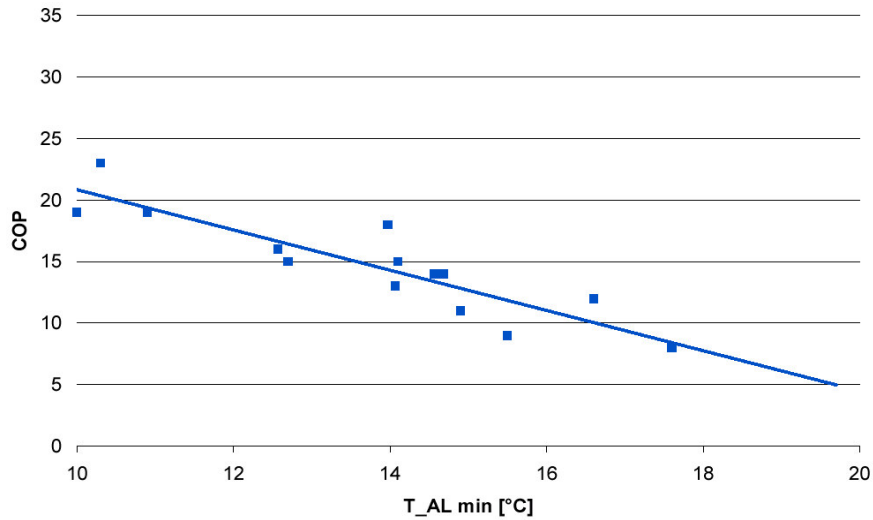


Abb. 21 COP der Nachtlüftung über der mittleren Außentemperatur [5]

Im Vergleich zu konventionellen Kühlsystemen liegt der COP damit sehr hoch. Insbesondere lässt sich der Einsatz elektrischer Antriebsenergie zum Betrieb der Nachtlüftung damit rechtfertigen.

4.2 Abhängigkeit Heizlast von Solarstrahlung

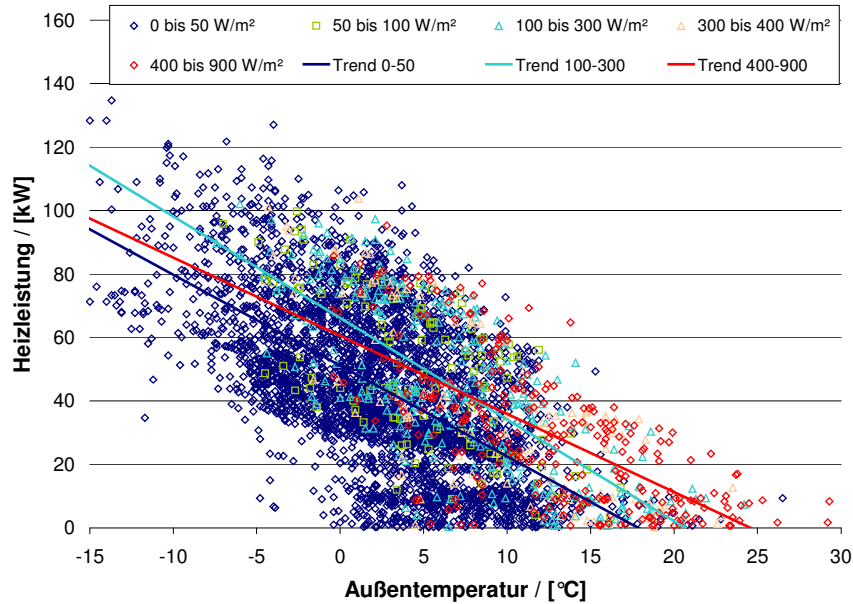


Abb. 22 Abhängigkeit der Heizleistung über der Außentemperatur nach Strahlungsklassen

Wie aus Abb. 22 ersichtlich, besteht keine eindeutige Abhängigkeit der Heizleistung von der Solarstrahlung. Die Trendlinien für höhere Strahlungsklassen zeigen keine geringeren Werte für die Heizleistung.

Offensichtlich kommen die solaren Gewinne bei höherer Einstrahlung dem Gebäude nicht zugute. Einerseits könnte dies mit dem Einsatz des Sonnenschutzes als Blendschutz erklärt werden. Andererseits wäre es auch denkbar, dass solare Gewinne durch zusätzliche Fensterlüftung ausgeglichen werden, so dass sie keinen merklichen Einfluss auf die Heizleistung haben.

Auch die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass die Solarstrahlung kaum Auswirkungen auf die Heizleistung hat.

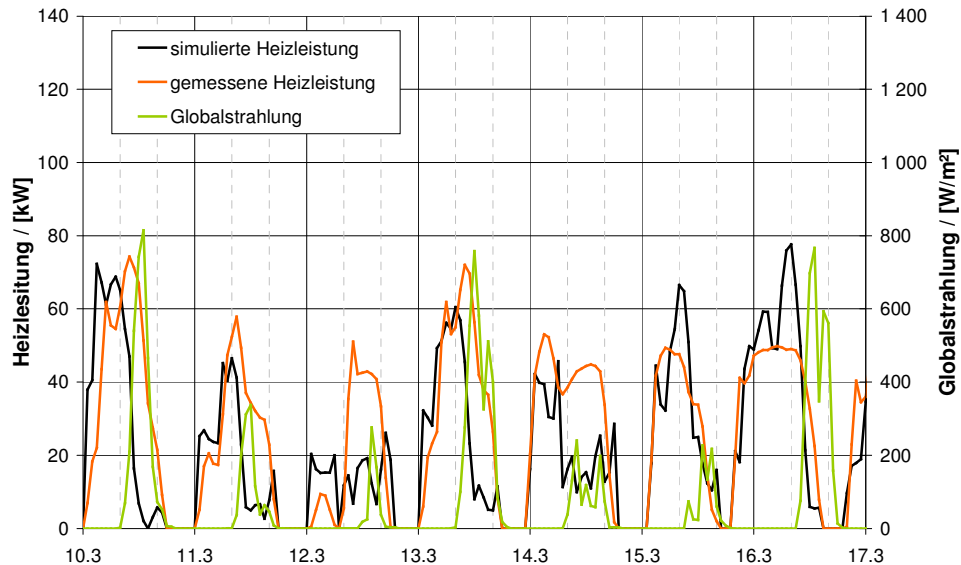


Abb. 23 Wochenverlauf von gemessener und simulierter Heizleistung und Globalstrahlung, in der Woche vom 10.03.03 bis 17.03.03.

Abb. 23 zeigt deutlich, wie die simulierte Heizleistung bei Sonneneinstrahlung abnimmt, während die gemessene Heizleistung kaum oder gar nicht absinkt.

Gegen die zusätzliche Fensterlüftung bei höherer Einstrahlung spricht jedoch, dass der Effekt auch bei sehr kalten Außentemperaturen auftritt, bei denen Fensterlüftung definitiv zu unangenehmen Zugserscheinungen führen würde. Es wird daher angenommen, dass der Haupteffekt durch den Sonnenschutz, der als Blendschutz verwendet wird auftritt.

4.3 Regelalgorithmen der Heizung

Die Heizungsfreigabe begrenzt die Heizperiode. Die Radiatoren und Fußbodenheizung sind außentemperaturabhängig geregelt. Erst wenn die jeweils eingestellte Heizgrenze von der Außentemperatur unterschritten wird, gehen die Heizsysteme in Betrieb. Regulär unterscheidet ein Zeitschaltprogramm zwischen Tag- und Nachtbetrieb.

Zusätzliche Funktionen sind die Schnellaufheizung zu Beginn eines Tages nach der Nachtausschaltung. Diese Funktion setzt ein, wenn eine bestimmte Außen- oder Raumtemperatur unterschritten wird. Weiterhin besteht eine Frostschutzfunktion zur Vermeidung von Frostschäden.

4.3.1 Frostschutz

Sinkt die Außentemperatur oder die Raumtemperatur unter die Frostschutzgrenze, wird der Frostschutz aktiviert. D.h. die Heizung wird mit den Vorgaben für den Nachtbetrieb geregelt. Der Frostschutz ist aktiv, wenn das Zeitfenster der Heizung geschlossen ist und die Außentemperatur kleiner 0°C bzw. 2°C ist (Einstellung wurde im Verlauf des Jahres geändert). Im Jahr 2002 wurde durch die Funktion des Frostschutzes 9,6 MWh Heizenergie verbraucht, das entspricht $2,8 \text{ kWh/m}^2_{\text{NGFA}}$.

Eine Besonderheit des Heizsystems ist die Einbindung des Heizregisters für die Zuluft der Cafeteria. Die Struktur des Verteilnetzes für die Radiatoren hat es nahegelegt das Heizregister an einen Strang dieses Verteilnetzes anzuschließen.

Allerdings hat sich gezeigt, dass dadurch für die Frostschutzfunktion ein energetischer Nachteil entsteht. Falls das Luftheizregister Frostschutzanforderung hat, muss zwangsläufig die gesamte Radiatorenheizung mit betrieben werden. Da das Luftheizregister aufgrund seiner Nähe zur Fassade bereits bei relativ moderaten Außentemperaturen auf Frostschutz schaltet, wurde so die Betriebszeit für die Radiatorenheizung erhöht. Es entstand dadurch ein unnötiger zusätzlicher Wärmeverbrauch, da die Vorlauftemperaturen selbst bei Frostschutz auf 50°C eingestellt war. Diese Funktion wurde mittlerweile dahingehend korrigiert, dass die Vorlauftemperatur im Frostschutzbetrieb des Zuluftheizregisters auf ein Mindestmaß (25°C) abgesenkt wurden. Der zusätzliche Heizenergieverbrauch wurde somit minimiert.

4.3.2 Auskühlverluste

Wie in Abschnitt 4.4 erläutert, ist werktags von einer Raumbelastung bis 19 Uhr auszugehen. Berücksichtigt man die Auskühlung des Heizsystems nach Abschalten der Heizung, gegebenenfalls unterstützt durch eine Nachlaufzeit der Heizungspumpe, kann das Zeitfenster der Radiatorenheizung auf jeden Fall vor 19 Uhr geschlossen werden. Eine Hochrechnung der Kapazität des Heizsystems (siehe Anhang 5) ergibt mit einer mittleren Auskühlung von 24 K eine freiwerdende Energiemenge von ca. 32,6 kWh am Tag. Das entspricht etwa 8% im Vergleich zum mittleren täglichen Heizenergieverbrauch. Mit 223 Heiztagen im Jahr 2002 berechnet sich der Auskühlverlust auf ca. 7,3 MWh/a, das entspricht $2,1 \text{ kWh/m}^2_{\text{NGFA}}$.

4.4 Betriebszeit

Der Stromverbrauch der Arbeitsmittel zeigt die Betriebszeit in den Büroräumen. Weil im 1.OG der Stromverbrauch der Arbeitsmittel, inkl. Arbeitsplatzbeleuchtung, ohne weitere Verbraucher erfasst wird, wird für

die Betrachtung der Betriebszeit der Büroraum im 1. OG Süd als Referenzraum verwendet.

Ab August 2002 sind die Messdaten des Elektrowandlers verfügbar. Die Abb. 24 zeigt für Werkzeuge den Mittelwert je Stunde für die Monate von August bis Dezember 2002.

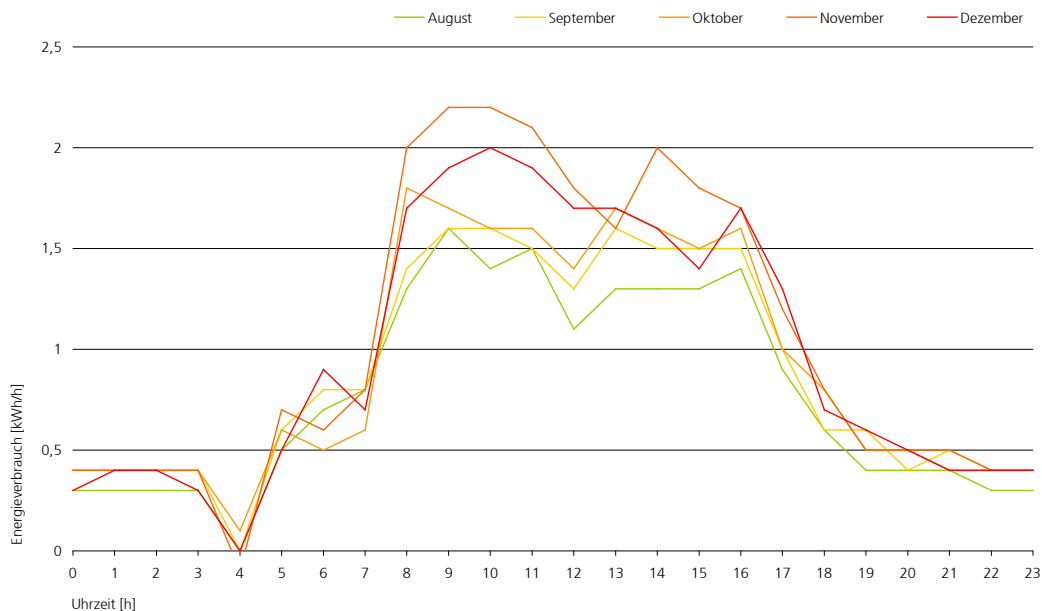


Abb. 24 Stromverbrauch der Arbeitsmittel im 1. OG Süd an Werktagen

Aus der Differenz zwischen dem gesamten Stromverbrauch im Büroraum und dem Stromverbrauch der Beleuchtung, errechnet sich der Stromverbrauch der Arbeitsmittel. Mit dem Eintreffen des Reinigungspersonals erhöht sich der Stromverbrauch der Beleuchtung um 4 Uhr morgens. Der Stromzähler der Beleuchtung zählt den Verbrauch in kleineren Schritten als der Stromzähler für den gesamten Büroraum. Die Verbrauch der Beleuchtung wird deshalb beim Zähler des gesamten Stromverbrauchs im Raum erst später erfasst. Daraus ergibt sich bei der Differenz der scheinbare Einbruch des Stromverbrauchs um 4 Uhr morgens, der nicht weiter beachtet wird. Ab 7 Uhr sind die Angestellten im Büro, der Stromverbrauch steigt auf den maximalen Wert am Tag. Bis 17 Uhr bleibt der Stromverbrauch auf einem hohen Niveau. Während der Mittagszeit ist nur ein leichter Rückgang des Stromverbrauchs festzustellen. Zwischen 17 Uhr und 19 Uhr geht der Stromverbrauch auf das Minimum zurück.

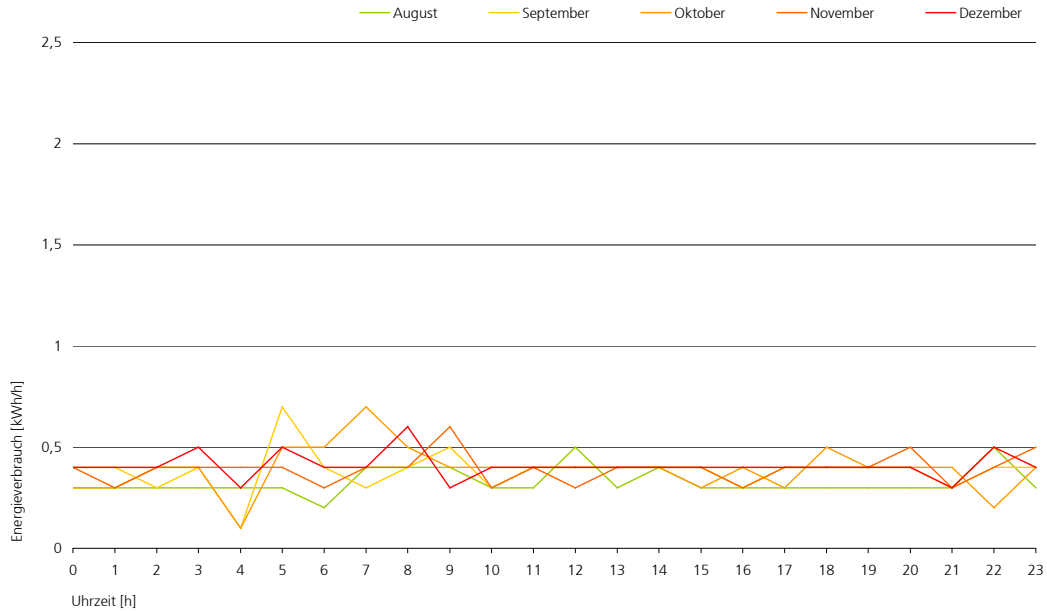


Abb. 25 Stromverbrauch der Arbeitsmittel im 1. OG Süd an Samstagen

Am Samstag zeigt sich ein minimaler Stromverbrauch zwischen 6 Uhr und 10 Uhr (siehe Abb. 21). Der Stromverbrauch je Stunde beträgt ca. 1/6 des maximalen Stromverbrauchs an Werktagen. Demnach ist davon auszugehen, dass nur eine sehr geringe Anzahl an Personen am Samstagmorgen im Büro ist.

Am Sonntag lässt sich kein erhöhter Stromverbrauch der Arbeitsmittel feststellen. Durchschnittlich werden 346 Wh/h elektrische Energie verbraucht, das ergibt eine Grundlast von ca. $0,63 \text{ W/m}^2_{\text{NGF}}$.

5 Thermische Behaglichkeit

5.1 Raumtemperaturen im Gebäude

Das Gebäude wird zur Betrachtung des thermischen Verhaltens in 3 Bereiche unterteilt: das Hauptaugenmerk liegt auf der Bürozone, als weitere werden das Erdgeschoss und das Atrium hinsichtlich des winterlichen und sommerlichen Raumklimas untersucht. In den einzelnen Zonen sind 3 bzw. 4 Temperaturfühler installiert. Auf Grund der Anordnung und Einbausituation sind die Messwerte kritisch zu betrachten. In der Bürozone gibt es in jedem Büroraum einen Fühler, der in einer Unterputzdose in einer Säule angebracht ist. Ein Vergleich dieser Messdaten mit der gemessenen Ablufttemperatur zeigt, dass die Fühler in den Räumen einen verzögerten und gedämpften, unterschiedlichen Temperaturverlauf erfassen. Durch den Einbauort wird der Messwert durch die Bauteiltemperatur beeinflusst und gibt ein unbekanntes Verhältnis von Luft- und Bauteiltemperatur wieder.

Im Erdgeschoss werden drei Temperaturwerte erfasst. Ein Fühler befindet sich im Showroom, mit Orientierung der Fensterfront nach Norden. Zentral im Erdgeschoss ist ein Fühler bei der Empfangstheke angebracht. Dieser ist in einer Unterputzdose in einer Schranktür montiert. Im Schrank befindet sich ein Computer, so dass der Temperaturfühler die Abwärme von diesem Gerät miterfasst und einen erhöhten Wert liefert. Im Bereich der Cafeteria ist der dritte Fühler an einer verschatteten Innenwand installiert. Das Atrium weist vier Temperaturfühler auf. Diese sind am Aufzugsschacht jeweils auf halber Stockwerkshöhe (EG, 1. und 2. OG) und direkt unter der Dachverglasung montiert.

Auf Grund fehlender exakter Messwerte der operativen Raumtemperatur als Vergleich zu den Daten der GLT, kann keine Korrekturgleichung ermittelt werden. Im Folgenden werden zur Betrachtung des thermischen Verhaltens des Gebäudes die Daten der GLT verwendet.

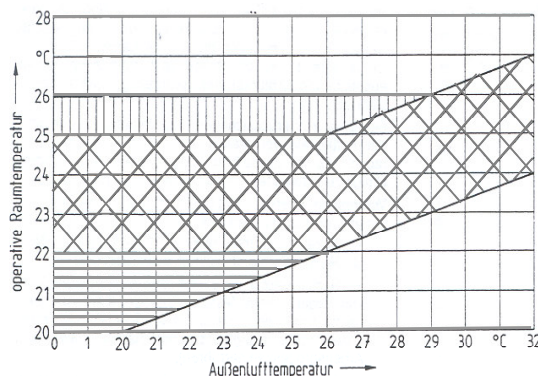


Abb. 26 Behaglichkeitsbereich nach DIN 1946-2 [7]

Für das Raumklima in Arbeitsräumen bestehen verschiedene Richtlinien bzw. Empfehlungen. Laut Arbeitsstättenrichtlinie [8] muss die Raumtemperatur in Büroräumen mindestens 20 °C betragen und soll 26 °C nicht überschreiten. Die DIN 1946-2 [7] gilt für Räume mit raumlufttechnischen Anlagen und gibt Grenztemperaturen der operativen Raumlufttemperatur in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur an. Bei sehr hohen Außentemperaturen kann die operative Raumtemperatur auf bis zu 27 °C ansteigen (siehe Abb. 26).

Bei der Untersuchung des Raumklimas wird als Kriterium ein akzeptabler Bereich der gemessenen Raumtemperatur zwischen 20 °C und 26 °C angesetzt, sowohl in den Büroräumen, als auch in den Aufenthaltsräumen im Erdgeschoss.

5.1.1 Bürogeschoss

Abb. 27 zeigt für das Jahr 2002 die mittlere Monatstemperatur in den Bürogeschossen, die mittlere Außentemperatur und die monatliche Strahlungssumme. Die Temperaturen schwanken zwischen 21,5 °C und 24,2 °C; die mittlere Temperatur in den Bürogeschossen über das ganze Jahr gesehen beträgt 22,8 °C.

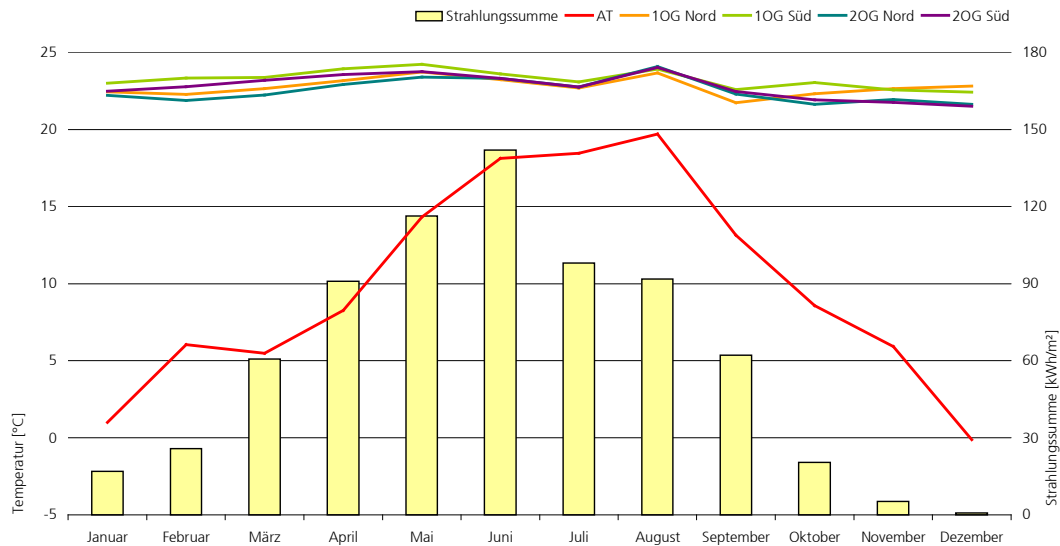


Abb. 27 Temperaturverlauf in den Bürogeschossen, Außentemperatur und Strahlungssumme für das Jahr 2002

Monatsmitteltemperaturen dienen einem groben Überblick, können jedoch nicht als Kriterium für das Raumklima herangezogen werden. Die folgende Abb. 28 zeigt die Stundenmittelwerte der Raumtemperatur in den Bürogeschossen über der Außentemperatur. Raumtemperaturen unter 20 °C werden durch die Heizung verhindert.

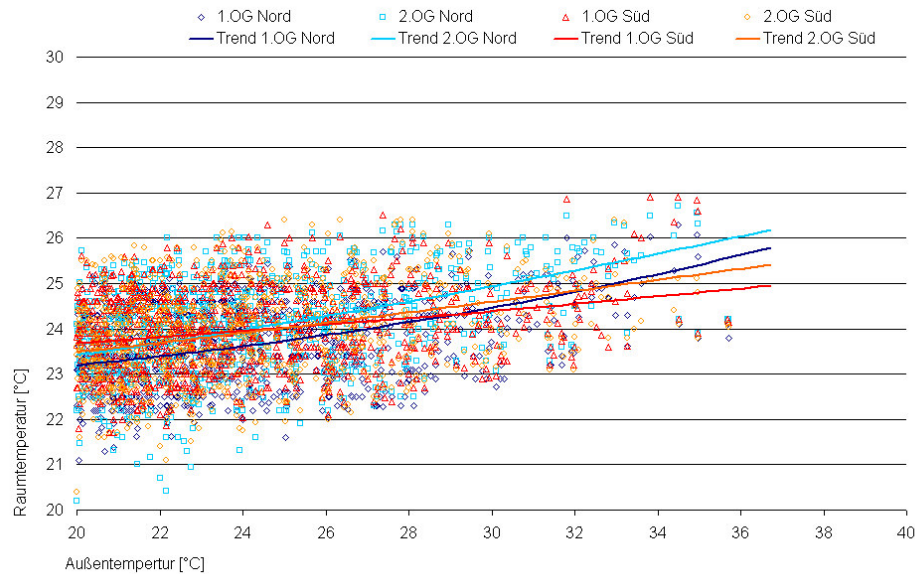


Abb. 28 Raumtemperatur in den Bürogeschossen über der Außentemperatur für das Jahr 2002

Insgesamt ergeben sich 69 Messwerte, die eine Temperatur über 26°C zeigen, 27°C werden dabei nicht überschritten. Diese Werte werden an 6 Tagen gemessen.

Am häufigsten wird im 2. OG Nord die Temperatur von 26°C überschritten. Auf Grund der Orientierung nach Norden, ist die Ursache hierfür bei den internen Lasten zu finden (siehe Kap. 5.1.4). Mit Ausnahme eines Tages wird die Temperatur von 26°C erst zwischen 15 Uhr und 17 Uhr überschritten, zum Teil noch später. Die Bürokernarbeitszeit ist also nur zum Teil durch die Überhitzung betroffen.

Die Betrachtung der Ablufttemperaturen ergibt ein ähnliches Ergebnis. Während 35 Stunden wird in beiden Abluftsystemen die Temperatur von 26°C überschritten. Im Abluftsystem Ost wird eine maximale Temperatur von 26,2°C und im Abluftsystem West eine maximale Temperatur von 27,0°C erreicht. Hierbei muss beachtet werden, dass die gemessene Ablufttemperatur ein nach Volumenstrom gewichteter Mittelwert der Lufttemperaturen in den einzelnen Stockwerken ist.

In Anbetracht der geringen Anzahl an Stunden, während denen 26°C Raumtemperatur überschritten werden und der absolut maximalen Raumtemperatur von 26,9°C bzw. 27,0°C Lufttemperatur ist das sommerliche Raumklima aus technischer Sicht als angenehm zu werten.

Für das Jahr 2003 ergibt sich trotz des sehr heißen Sommers ein ganz ähnliches Bild der Raumtemperaturen. Insgesamt ist die Streuung der Temperaturwerte jedoch höher. Insbesondere zeigt das 1. OG Süd höhere Werte, was laut Auskunft des Bauherren nicht auf eine höhere Belegung mit Personen zurückgeführt werden kann. Evtl. kann die Ursache auch in der Installation von Trennwänden in diesem Bereich liegen, so dass die Nachtlüftung hier behindert wird.

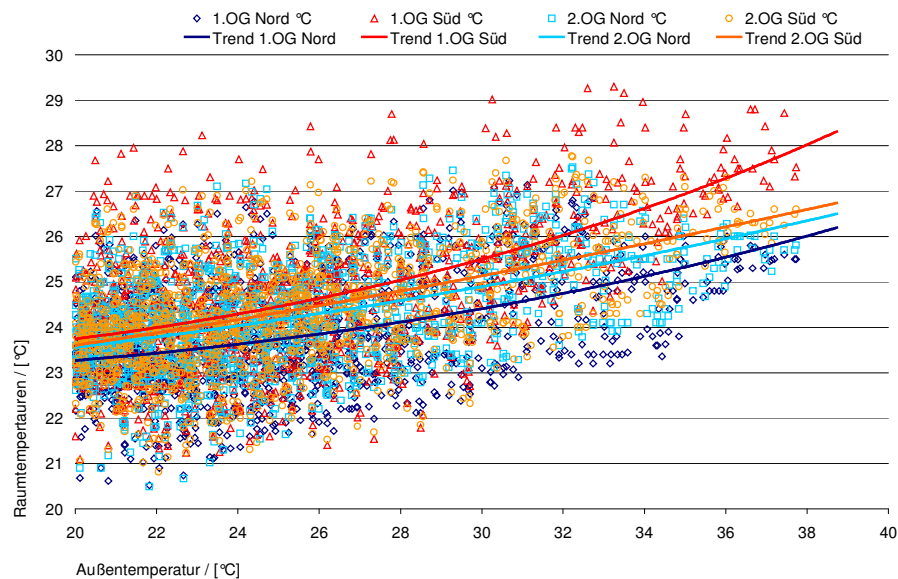


Abb. 29 Raumtemperatur in den Bürogeschossen über der Außentemperatur für das Jahr 2003

Der Mittelwert der Raumtemperaturen in den Wintermonaten von Oktober bis April beträgt in den Bürogeschossen für 22,5 °C (2002) bzw. 22,2 °C (2003). Während der Büroarbeitszeit liegen die Mitteltemperaturen noch einmal um ca. 0,5 °C höher. Damit liegen die realen Temperaturen 2 bis 3 °C höher als in der Planung angesetzt.

5.1.2 Erdgeschoss

Wie bereits erwähnt ist die Temperatur des Messfühlers im Bereich des Empfangs kritisch zu betrachten. In Abb. 30 zeigt sich vor allem im Bereich zwischen 22°C und 31°C Außentemperatur eine stetige Differenz von 1,5 K zwischen dem Trend der Temperaturen am Empfang und dem Trend der Temperaturen bei der Cafeteria. Die durchschnittlichen Temperaturen im Showroom sind im Mittel um 0,7 K unter der Temperatur bei der Cafeteria. Zu begründen ist dies durch die Orientierung des Showrooms nach Norden und der internen Last. Im Bereich der Cafeteria halten sich wesentlich mehr und länger Personen auf als im Showroom. Die Temperatur, die im Bereich der Cafeteria gemessen wird, ist für das Raumklima im EG am aussagekräftigsten.

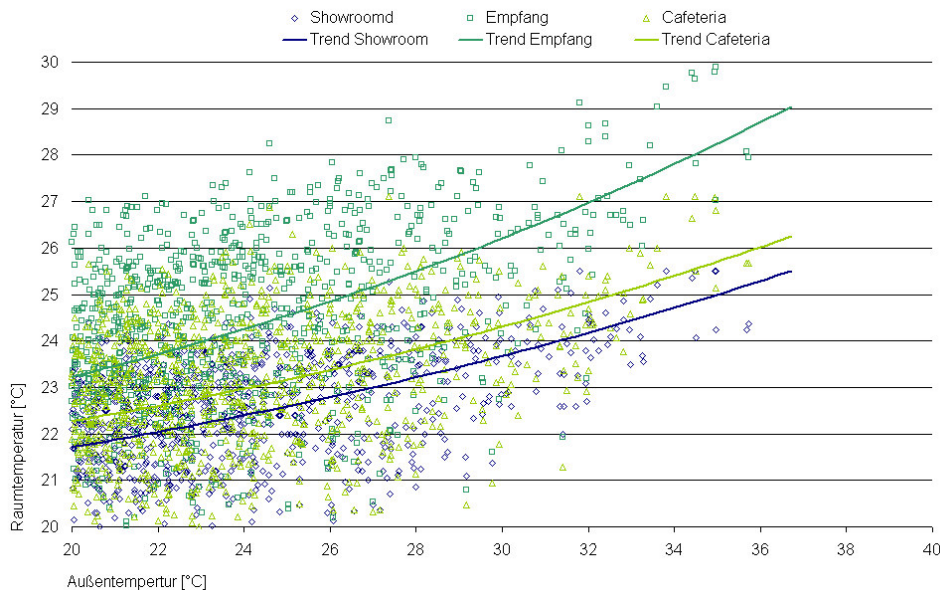


Abb. 30 Raumtemperatur und AT-bezogene Temperaturmittelwerte im Erdgeschoss über der Außentemperatur für 2002

In 2002 werden während 15 Stunden 26°C überschritten, davon sind 12 Stunden außerhalb der Bürokernarbeitszeit. Das sommerliche Raumklima im Erdgeschoss ist demnach sehr zufriedenstellend.

Im Winter 2002 berechnet sich der Mittelwert der Temperaturen in allen drei Bereichen über den Zeitraum von Oktober bis April zu 20,6°C.

Die Werte für das Jahr 2003 sind vergleichbar, das Temperaturverhalten identisch.

5.1.3 Atrium

Vom Atrium zählt nur der Bereich des Erdgeschosses zur Aufenthaltszone im Gebäude. Die Temperaturen im oberen Teil des Atriums sind für die Nutzer, mit Ausnahme des möglichen Wärmeüberganges von oder in die Bürogeschosse durch die Verglasung, unrelevant.

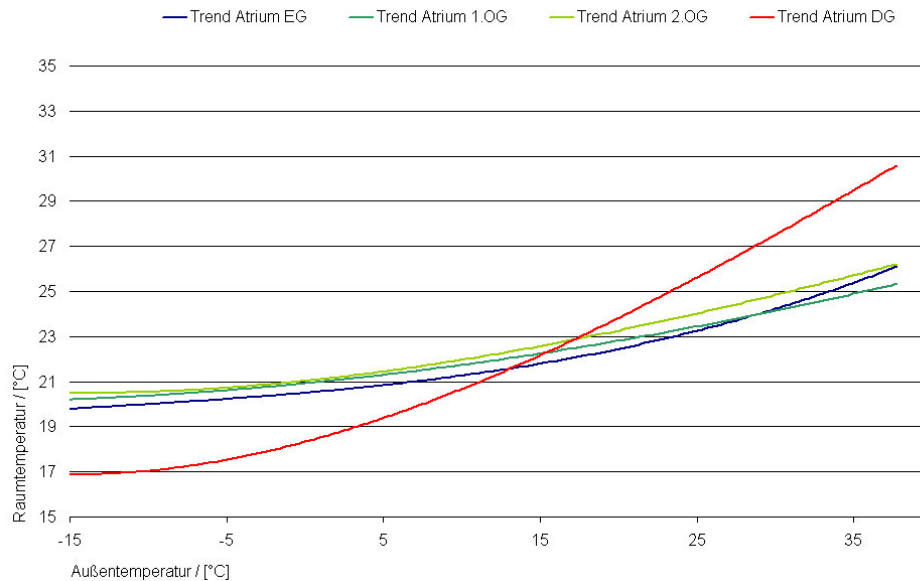


Abb. 31 Trendlinien der Temperaturen im Atrium über der Außentemperatur für das Jahr 2003

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in Abb. 31 nur die Trendlinien der Daten aufgetragen.

Die Temperaturen von EG bis 2.OG verlaufen sehr ähnlich mit maximalen Differenzen von 0,5 °C. Der sehr ähnlich Verlauf dieser drei Temperaturen zeigt die enge thermische Kopplung zwischen den Ebenen. Die Messwerte des Temperaturfühlers unter dem Dach heben sich erwartungsgemäß deutlich von den Werten der anderen drei Fühlern ab. Sowohl bei sehr kalten als auch bei sehr warmen Außentemperaturen ist die Differenz zu dem Temperaturfühler im obersten Geschoss mit ca. $\pm 3K$ am größten. Der Temperaturfühler wird durch die Außentemperatur, bzw. durch die Transmission durch die Dachverglasung stark beeinflusst. Wie dick das Wärmepolster im Sommer, bzw. das Kältepolster im Winter wird, lässt sich mit den vorhandenen Temperaturfühlern nicht genau ermitteln. Die Grenze ist aber deutlich vom Temperaturfühler des 2. OG entfernt. In der Aufenthaltszone des Atriums, dem Erdgeschoss, sinken die Temperaturen unter 20°C, bei Außentemperaturen unter -5°C. Ursache ist die Nachtabsenkung der Heizung. Am Tag steigt die Außentemperatur über -5°C und die Raumtemperatur wird auf über 20°C geheizt. Im Bereich

zwischen -5°C und $+5^{\circ}\text{C}$ Außentemperatur werden im Atrium ca. $20,5^{\circ}\text{C}$ gemessen; zwischen 6°C und 13°C Außentemperatur steigt die Raumtemperatur auf ca. 21°C . Mit steigender Außentemperatur über 13°C erhöht sich die Raumtemperatur um ca. $0,2\text{ K}$ je Grad Außentemperatur.

5.1.4 Einflussgrößen auf die Innentemperatur

Interne Lasten durch Arbeitsmittel, Beleuchtung und Personen, sowie solare Einstrahlung erhöhen die Raumtemperatur. Transmissions- und Lüftungsverluste wirken der Temperaturerhöhung entgegen (wenn die Außentemperatur unter der Raumtemperatur liegt).

Interne Lasten durch Arbeitsmittel und Beleuchtung werden erfasst durch den Stromverbrauch der Arbeitsmittel und der Beleuchtung. Dabei wird angenommen, dass der verbrauchte Strom im Raum zu 100% in Wärme umgesetzt wird.

Solare Strahlung, die durch die transparenten Bauteile in das Gebäude gelangt wird von den Bauteiloberflächen, auf die sie auftrifft absorbiert und zum Teil wieder reflektiert. Dies führt zur Erwärmung der Bauteile und durch die thermische Kopplung zur Erwärmung der Luft. Beeinträchtigt wird der Wärmeeintrag durch den Sonnenschutz.

Auf Grund fehlender Daten des Aktivierungszustandes des Sonnenschutzes, ist der Strahlungsanfall im Raum unbekannt. Interne Lasten durch Personen, und Lüftungswärmeverluste über Fensteröffnung sind ebenfalls Faktoren, die über die GLT nicht erfasst werden können.

Der Büroraum im 1. OG Süd wird für die Betrachtung der Innentemperatur in Abhängigkeit der internen und solaren Lasten als Referenzraum verwendet. Der Einfluss der solaren Strahlung ist im Raum mit Orientierung nach Süden stärker als in einem nördlich orientierten Raum und beim Stromverbrauch werden keine zusätzlichen Verbraucher erfasst, die sich nicht im Raum befinden. Die folgende Abbildung 17 zeigt die mittlere Raumtemperatur über der mittleren Außentemperatur an Werktagen. Die Datenreihen sind aufgeteilt nach Summe der internen Lasten pro Tag.

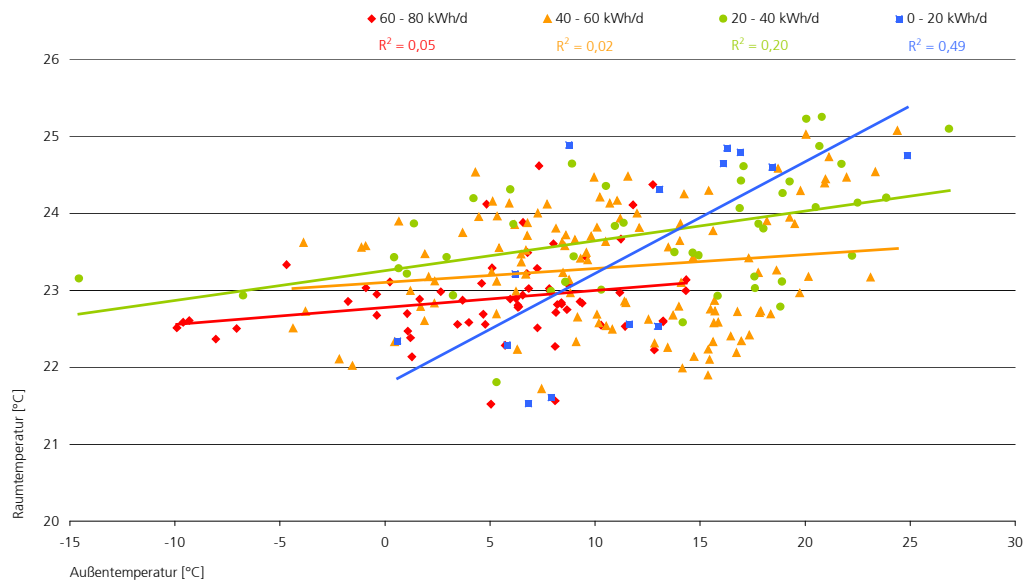


Abb. 32 Tagesmittelwerte der Raumtemperatur über dem Tagesmittelwert der Außentemperatur nach Klassen der internen Lasten (2002)

Die höchsten internen Lasten treten bei mittleren Außentemperaturen von -10°C bis 15°C auf. Wie in Abschnitt 3.1.2 gezeigt, ist die Summe der internen Lasten im Winter, aufgrund des erhöhten Verbrauchs der Beleuchtung, höher als im Sommer. Die erhöhte Raumtemperatur im Sommer ist also nicht maßgeblich auf interne Lasten zurückzuführen.

Insgesamt nimmt die Abhängigkeit der Raumtemperatur von der Außentemperatur aufgrund eben dieses Zusammenhangs mit steigender interner Last ab.

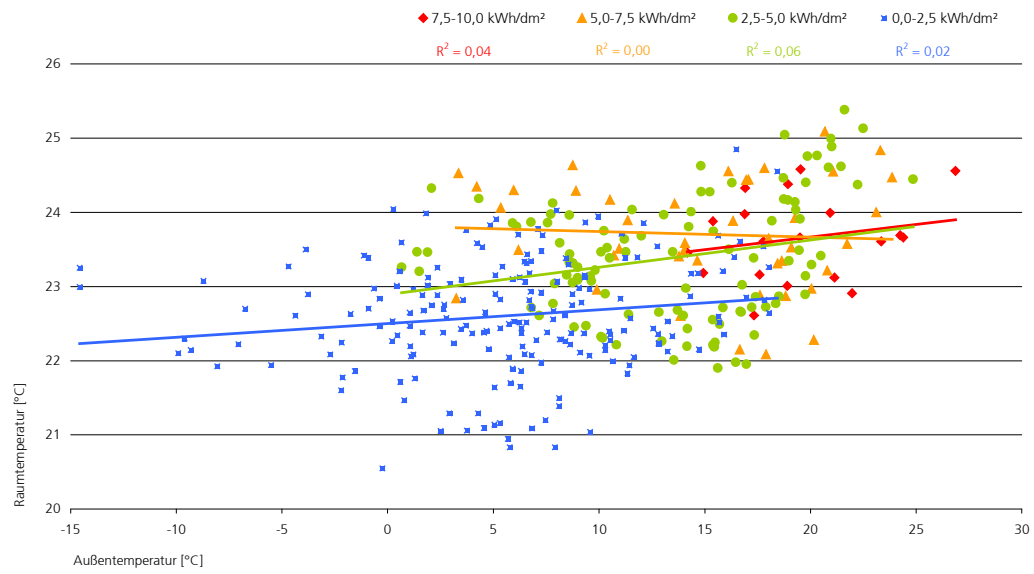


Abb. 33 mittlere Raumtemperatur über Außentemperatur nach Klassen der Strahlung

In

Abb. 33 ist die mittlere Raumtemperatur über der mittleren Außentemperatur je Tag in Klassen der äußeren solaren Strahlungssumme aufgetragen. Die höchsten Raumtemperaturen werden nicht bei höchster äußerer Strahlungssumme am Tag gemessen. Die Darstellung in Abb. 34 macht den Zusammenhang noch etwas deutlicher

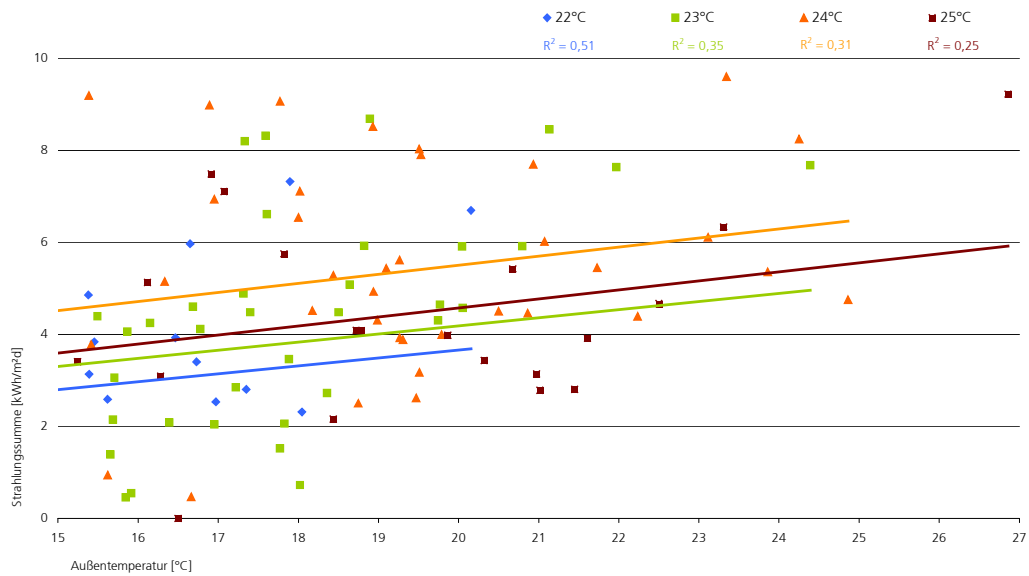


Abb. 34 Strahlungssumme über Außentemperatur nach Klassen der Raumtemperatur

Bei höchster Strahlungssumme wird nicht die höchste Raumtemperatur erreicht. D.h. der solare Gewinn des Gebäudes wird durch den Einsatz des Sonnenschutzes reduziert

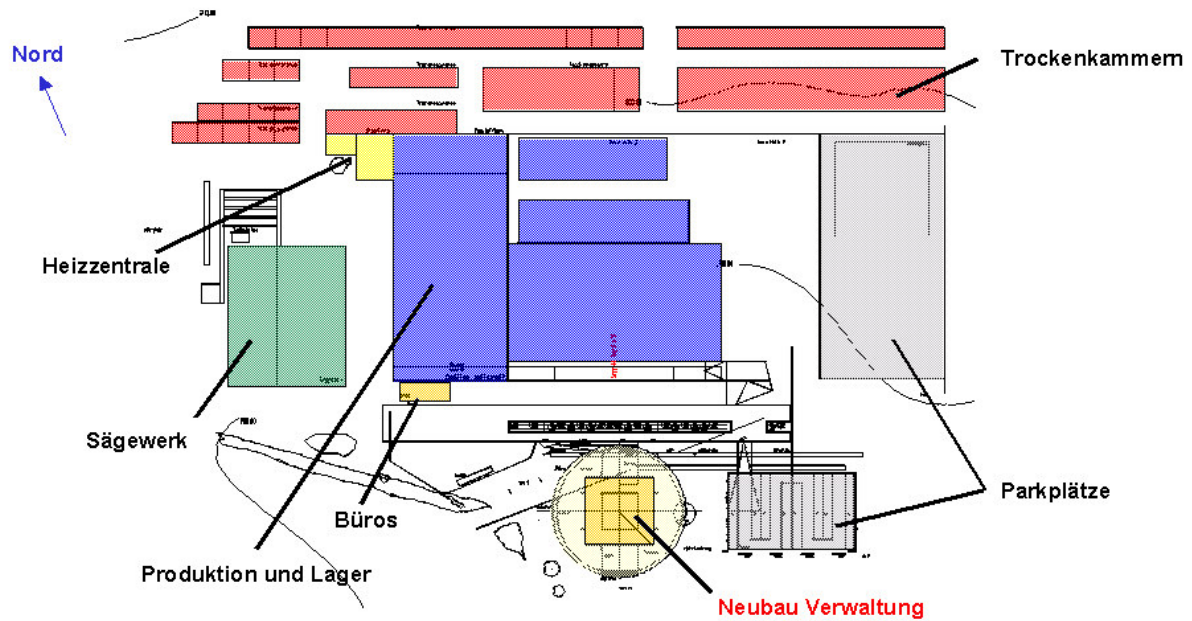
Quellennachweis

- [1] Voss, Karsten., Löhnert, Günter., Wagner, Andreas.:
Energieeffizienz und Solarenergienutzung im Nichtwohnungsbau,
Konzepte und Bauten. SolarBau:MONITOR, 1. Auflage, Januar
2001.
- [2] Voss, Karsten., Löhnert, Günter., Wagner, Andreas.:
Verwaltungsgebäude Pollmeier, Portrait Nr.13.
SolarBau:MONITOR, Stand 3/2002.
- [3] solares bauen GmbH.: Neubau Pollmeier Massivholz GmbH,
Schlussbericht Phase I, Mai 2002.
- [4] Pfafferott, Jens.: Verwaltungsgebäude Pollmeier Massivholz GmbH,
Nachtlüftung, ISE, Mai 2003.
- [5] Wapler, Jeannette.: Monitoring, Experimente und Datenanalyse für
die Nachtlüftung im Verwaltungsgebäude Pollmeier, Diplomarbeit,
Dezember 2002.
- [6] VDI 3807 Blatt 2. Energieverbrauchskennwerte für Gebäude,
Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte, VDI-Richtlinien, Juni
1998.
- [7] DIN 1946 Teil 2. Gesundheitstechnische Anforderungen, VDI-
Lüftungsregeln, Januar 1994.
- [8] Arbeitsstättenrichtlinie ASR 6/1,3. Raumtemperatur, April 2001.
- [9] Leitfaden Elektrischer Energie. Impuls Programm Hessen,
Darmstadt.
- [10] BINE Informationsdienst.: Gebäudelüftung mit Luftqualitäts-
Regelung, Projektinfo 1/01,ISSN 0937-8367
- [11] Informationsauskunft von Frau Zeise, Angestellte der Firma
Pollmeier Massivholz GmbH
- [12] Informationsauskunft von Jeannette Wapler
- [13] Clage.: Produktinformation, Klein- Durchlauferhitzer MDH 4, Clage
GmbH, Lüneburg.
- [14] Reven.: Produktinformation, Induktions-Dunstabzugshauben, RCJ-
W, Rentschler Reven GmbH, Sersheim.
- [15] Stulz.: Produktinformation, Umluft- Kühlgerät, COM-AIR CAF 51A,
Stulz GmbH, Hamburg.

Anhang

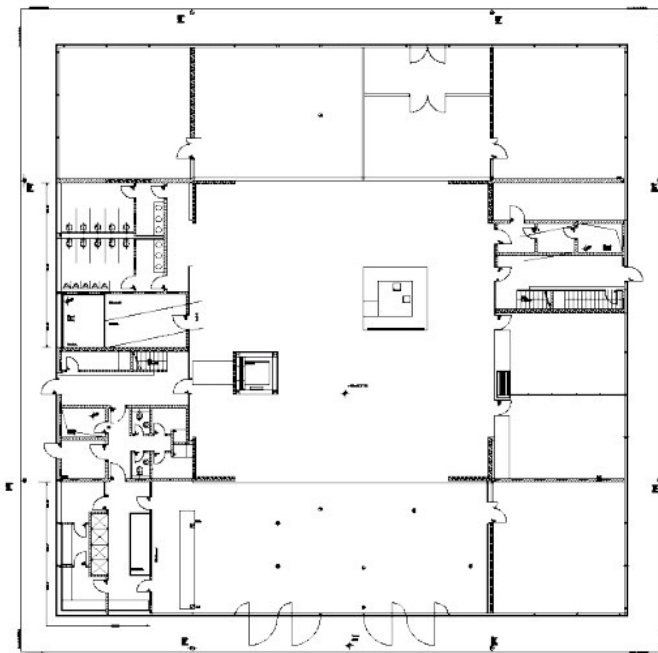
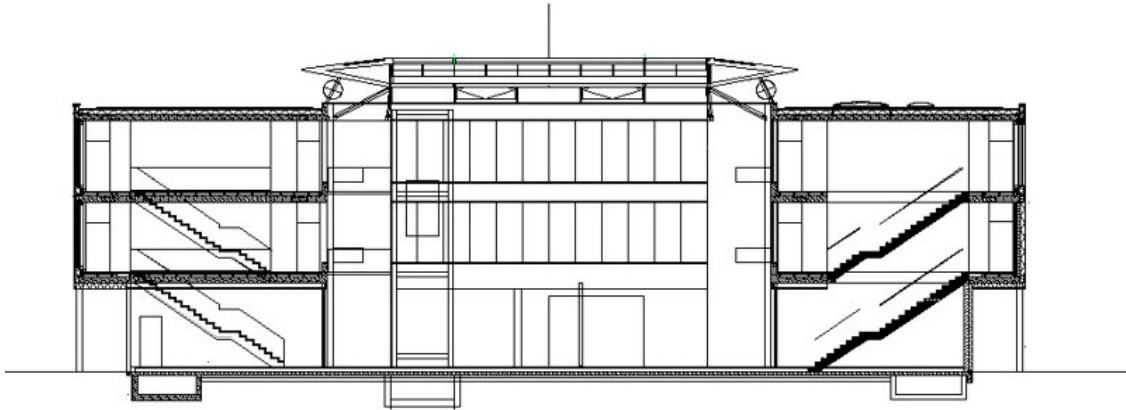
Anhang 1

Lageplan und Grundrisse

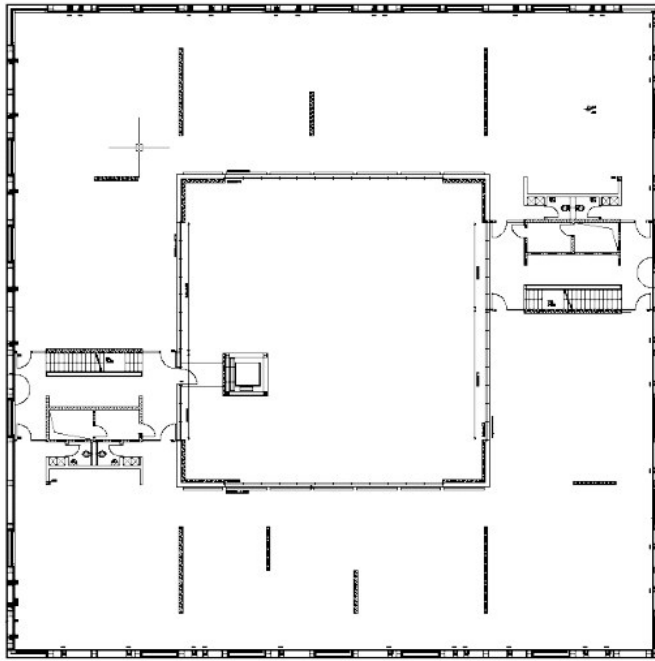


Anhang Abb. 1 Lageplan

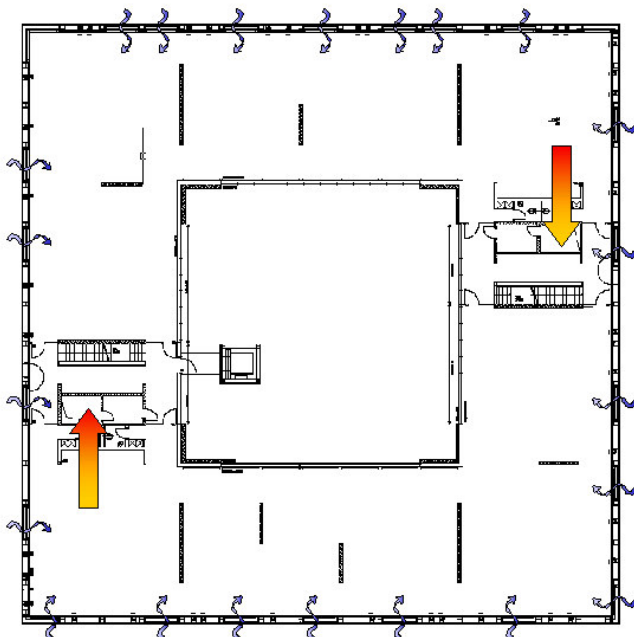
Anhang Abb. 2 Schnitt Ost-West



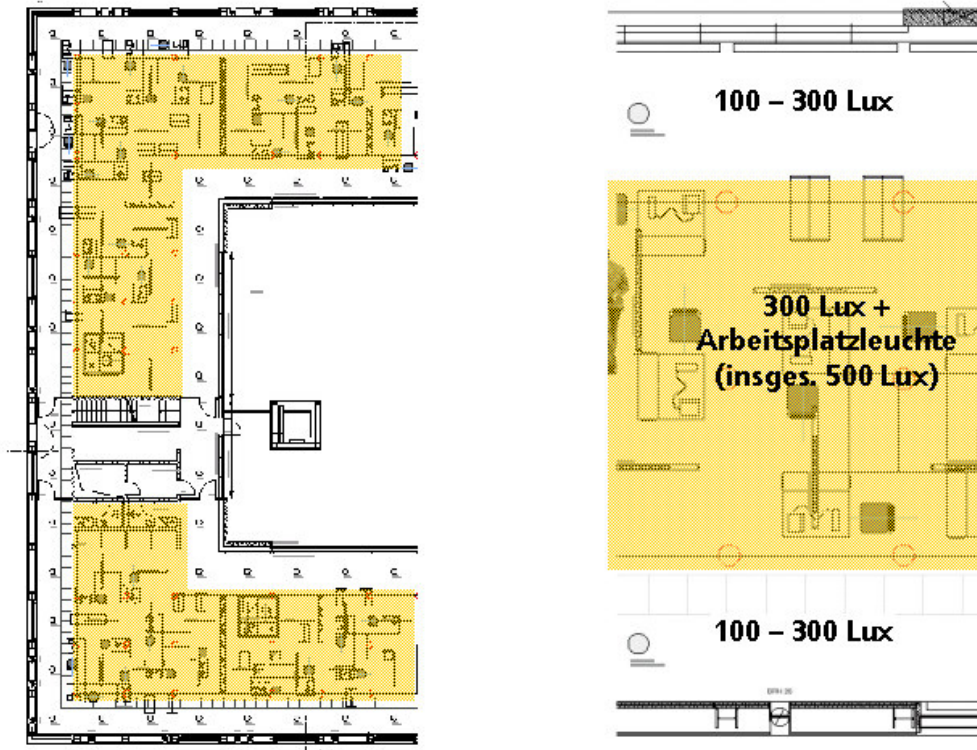
Anhang Abb. 3 Erdgeschoss



Anhang Abb. 4 Obergeschoss



Anhang Abb. 5 schematische Darstellung der Luftströmung in den Obergeschossen

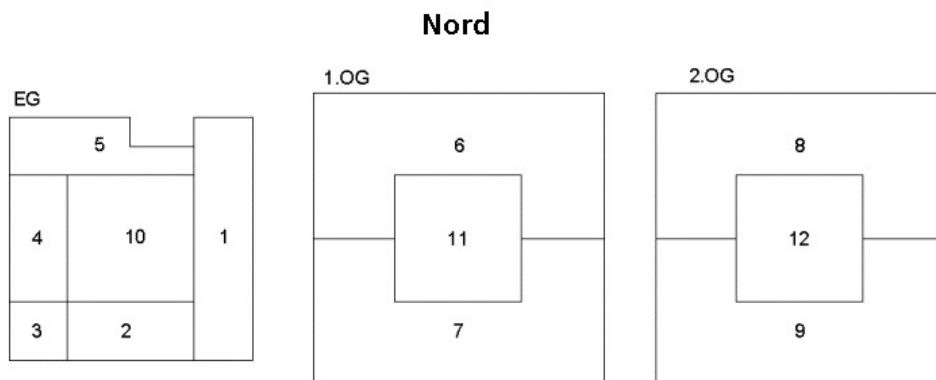


Anhang Abb. 6 Teilgrundriss mit markierter Arbeitsplatzzone

Anhang 2

Zonierung der Simulation

Für die dynamische Simulation wurde das Gebäude in 12 Zonen unterteilt. Dabei wurden jeweils Räume zu einer Zone zusammengefasst, die ähnlichen Nutzungs- und klimatischen Bedingungen ausgesetzt sind.



1 Besprechung, 2 Café, 3 Küche, 4 Garderobe / WC, 5 Besprechung / Ausstellung, 6 Büro Nord1, 7 Büro Süd1, 8 Büro Nord2, 9 Büro Süd2, 10 Atrium EG, 11 Atrium 1.OG, Atrium 2.OG

Anhang Abb. 7 Schematischer Grundriss EG bis 2.OG

Anhang 3

Berechnung der Kapazität der Radiatorenheizung

Die Massen zur Berechnung der Kapazität sind aus den Planungsunterlagen entnommen.

Die Temperaturdifferenz ergibt sich aus der Betrachtung der Vorlauftemperaturen zum Zeitpunkt des Ausschaltens der Heizung am Abend und zum Zeitpunkt vor dem Einschalten der Heizung am Morgen.

Anhang Tab.9 Berechnung der Kapazität des Heizungssystems

	Kapazität Wasser Wh/K	Kapazität Material Wh/K	Gesamt Wh/K	Temp.- differenz K	Energie Wasser kWh/d	Energie Material kWh/d	Energie Gesamt kWh/d
Heizkörper	291,3	292,2	583,5	23,6	6,87	6,90	13,77
Rohrleitung	573,9	224,6	798,5	23,6	13,54	5,30	18,84
Summe					20,42	12,20	32,61

Heiztage:	223 d/a
Energieverlust	7.273 kWh/a
bez. auf NGF	2,1 kWh/m²a